



**DÜZCE
ÜNİVERSİTESİ**

**BİLİM ve TEKNOLOJİ
DERGİSİ**

Düzce University
Journal of
Science & Technology

e-ISSN: 2148-2446

Cilt
Volume

9

Sayı
Issue

3

Mayıs/May
2021

Düzce Üniversitesi
BİLİM ve TEKNOLOJİ DERGİSİ
DÜBİTED

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



Düzce University
JOURNAL of SCIENCE & TECHNOLOGY
DUBİTED

<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)

Editörler

Editors

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

3

Mayıs/May
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

Mayıs 2021

May 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**

226- 261 Nikel'in Brokoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*)
Tohumlarının Çimlenmesi ve Fide Gelişimi Üzerine Etkileri
The Effects of Nickel on Seed Germination and Seedling
Development in Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*)
Çiğdem ÇİNGİL BARIŞ, Muammer ÜNAL

474- 481 Bazı Karayosunu Türlerinin *In Vitro* Antimikrobiyal
Aktivitelerinin Belirlenmesi
Determination Of In Vitro Antimicrobial Activities Of Some
Moss Species
**Atakan BENEK, Merve ŞENTURAN, Özcan ŞİMŞEK, Kerem CANLI,
Ergin Murat ALTUNER**

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 24-33 A Theoretical Study on the Mechanical Significance of Mineralized Collagen Fibril Orientation in Osteonal Lamellar Bone
Osteonal Lamellar Kemikte Mineralize Kolajen Fibril Yönlendirmesinin Mekanik Önemi Üzerine Teorik Çalışma
Feride Şermin UTKU
- 545-555 Metal-Ion Assisted Imprinted Hydrogels For Recognition Of Lysozyme
Lizozim Tanımada Metal İyon Destekli Baskılanmış Hidrojeller
Kemal ÇETİN

BİLGİSAYAR / YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 8-23 COVID-19 Diagnosis Using Deep Learning
Derin Öğrenme Yöntemleri ile COVID-19 Teşhisi
Gür Emre GÜRAKSIN, Sezin BARIN, Esra ÖZGÜL, Furkan KAYA
- 172-191 Telekomünikasyon Sektörü için Veri Madenciliği ve Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Ayrılan Müşteri Analizi
Churn Analysis for Telecommunication Sector with Data Mining and Machine Learning
Furkan UYANIK, Mustafa Cem KASAPBAŞI

ELEKTRİK/ELEKTRONİK / ELEKTRİK ELEKTRONİK/ ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 34-47 3D Electromagnetic Analysis and Optimization of Metamaterial Constructed by SRR Using the MOGA Algorithm for Performance Improvement
Meta-malzeme Yapılı Ayrık Halka Rezonatörün Performans İyileştirmesi için MOGA Algoritması Kullanılarak Üç Boyutlu Elektromanyetik Analizi ve Optimizasyonu
Ismail TOPALOĞLU

- 96-105 Çeşitli Yük Durumlarında Faz Kaydırıcı Transformatörlerin Güç Sistemine Etkileri
Effects of Phase Shifting Transformers on Power System in Various Load Situations
Salih TOSUN, Ali ÖZTÜRK, Beytullah BOZALİ
- 106-120 Bankacılık Performans Sistemleri için Karar Destek Sistemi: R Dilinde Veri Zarflama Analizi ve Malmquist Endeks Uygulaması
Decision Support System for Banking Performance Systems: Data Envelopment Analysis and Malmquist Index Application in R
Mustafa İsa DOĞAN, Onur ONAN
- 121-129 Manyetik Sıvı Hipertermi İçin Parametrik Olarak Üretilen Gradyan Örüntülerinin Haritalanması
Mapping Parametrically Generated Gradient Patterns for Magnetic Fluid Hyperthermia
Serhat KÜÇÜKDERMENCİ
- 130-144 Conformable Fractional Order PI Controller Design and Optimization for Permanent Magnet Synchronous Motor Speed Tracking System
Sürekli Miknatıslı Senkron Motorun Hız Takip Sistemi için Uygun Kesirli PI Kontrolör Tasarımı ve Optimizasyonu
Erdem İLTEN
- 446- 460 Finansal Piyasalarda Hisse Fiyatlarının Derin Öğrenme ve Yapay Sinir Ağı Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi; S&P 500 Endeksi Örneği
Deep Learning and Artificial Neural Network Estimation of Stock Prices in Financial Markets; S&P 500 Index Application
Ali İsa TAŞ, Pelin GÜLÜM, Gökalp TULUM

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ / MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 61-68 Pürüzlülük Katsayısının Açık Kanal Akımına Etkisinin İncelenmesi
Investigation of the Roughness Coefficient Effect on Open Channel Flow
Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN

- 81-95 Çelik Gömmeli Kompozit Kolonların Sonlu Elemanlar Analizi ile Sayısal Karşılaştırılması
Numerical Comparison of Concrete Encased Steel Composite Columns with Finite Element Analysis
Kıvanç TAŞKIN, Fethullah USLU
- 306 -320 Yüksek Fırın Cürufu, Bazalt ve Üleksit Katkılı Beton Örneklerin Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Özelliklerinin İncelenmesi
Investigation of Properties of Plast Furnace Slag, Basalt and Ulexite Added Concrete Samples Under The Influence of High Temperature
Mustafa EKEN, Ela GÖRÜR
- 520 - 529 Risk Analysis Application in Highway Projects
Otoyol Projelerinde Risk Analizi Uygulaması
Ali Erkan KARAMAN, Eray KÖSEOĞLU

KİMYA / FİZİK

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 262 – 272 ZnO-TiO₂ Hetero Nanoyapılarının Sentezi ve Güneş Pilleri için Fotoelektrokimyasal Performansı
Synthesis of ZnO-TiO₂ Hetero Nanostructures and Photoelectrochemical Performance for Solar Cells
Mustafa BİÇER
- 273 - 279 Investigation of the Effects of Diazinon and Carbaryl Pesticides on Lipase Under *In vitro* Conditions
Diazinon ve Karbaril Pestisitlerinin Lipaz enzimi Üzerine Etkisinin *In vitro* Koşullarda İncelenmesi
Hatice PALÜZAR
- 461- 473 13 Atomlu Cu-Ag-Au Üçlü Nanoalaşımların Kimyasal Sıralama ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi
Investigation of The Chemical Ordering and Structural Properties of 13 Atom Cu-Ag-Au Ternary Nanoalloys
Hüseyin YILDIRIM

- 482 - 499 İnsan serum albümin nanopartikül/surfaktant polimer temelli sensör ile metil paratyonun enzimsiz elektroanalizi
Human serum albumin nanoparticles/surfactant polymer based sensor for the non-enzymatic electroanalysis of methyl parathion
Gülçin BOLAT

Derleme Makale / Review Article

- 158-171 Perovskit Güneş Pilleri ve Kararsızlık Problemleri Üzerine Bir Araştırma
A Review on Perovskite Solar Cells and Their Instability Problems
Cevahir TARHAN, Berces KURT

MAKİNE / MEKATRONİK / MALZEME / ENDÜSTRİ / İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 208-214 Ostenitleme Sıcaklığının Bor Alaşımli 30MnB5 Çeliğinin Sertlik ve Tokluk Özelliklerine Etkisi
The Effect of Austenitizing Temperature on the Hardness and Toughness Properties of Boron Alloyed 30MnB5 Steel
Candan ŞEN ELKOCA
- 215-225 Classification of Human and Vehicles with The Deep Learning Based on Transfer Learning Method
Derin Öğrenme Tabanlı Transfer Öğrenme Yöntemiyle İnsan ve Araçların Sınıflandırılması
Enes CENGİZ, Cemal YILMAZ, Hamdi Tolga KAHRAMAN
- 280-297 Twitter'da Duygu Analizi Yöntemi Kullanılarak Bitcoin Değer Tahminlemesi
Bitcoin Price Prediction Using Sentiment Analysis on Twitter
Burak KÖKSAL, Gözde ERDEM, Cansu TÜRKELİ, Zehra KAMIŞLI ÖZTÜRK
- 500- 519 Analysis of Energy Supply, Installed Power and Renewable Capacity in the World, the EU and Turkey
Dünya, Avrupa Birliği ve Türkiye'nin Enerji Arz, Kurulu Güç ve Yenilenebilir Kapasitelerinin Analizi
Ali Naci ÇELİK

Derleme Makale / Review Article

- 192-207 Titanium Alaşımlarının Mikroyapı ve Şekillendirilebilirliğine Sıcaklığın Etkileri
The Effects of Temperature on Microstructure and Formability of Titanium Alloys
Mehmet Yasin DEMİREL, İbrahim KARAAĞAÇ

MATEMATİK

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1-7 Encryption and Decryption of the Data by Using the Terms of the Lucas Series
Lucas Dizisinin Terimleri Kullanılarak Verinin Şifrelenmesi ve Şifrenin Çözölmesi
Mehmet DUMAN, Merve GÜNEY DUMAN
- 145-157 Düzensiz Ölçekli Sierpinski Üçgeni Üzerindeki İçsel Metrik
The Intrinsic Metric of the Scale Irregular Sierpinski Triangle
Fatma Diğdem KOPARAL, Yunus ÖZDEMİR

MİMARLIK / PEYZAJ MİMARLIğI / ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 530- 544 Türkiye Mimarlar Odasının 1990-2005 Dönemi “Mimarlık Politikaları”
The Chamber of Architects of Turkey 1990-2005 Period “Policies for Architecture”
Hasan Tahsin SELÇUK

ORMAN MÜHENDİSLİğİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 48-60 Examining Seed Germination Rate and Seedlings Gas Exchange Performances of Some Turkish Red Pine Provenances Under Water Stress
Su Stresi Altındaki Bazı Kızılçam Kaynaklarının Tohum Çimlenme Oranı ve Fidelerin Gaz Değişim Performanslarının İncelenmesi
İsmail KOÇ

- 69-80 Orman Mühendisliği Meslek Alanında Yayımlanan Orman Mühendisliği ve Yeşil Dünya Dergilerinin İncelenmesi
Review of Forest Engineering and Green World Journals Published in the Forest Engineering Profession
Ayşe Tuğçe BULUT, Yaşar Selman GÜLTEKİN
- 298-305 Kağıt ve Kağıt Ürünleri Sanayinde Tobin Q Oranı İle Performans Ölçümü
Performance Measurement with Tobin Q Ratio in Paper and Paper Products Industry
Kadri Cemil AKYÜZ, İbrahim YILDIRIM



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Encryption and Decryption of the Data by Using the Terms of the Lucas Series

 Mehmet DUMAN^{a,*},  Merve GÜNEY DUMAN^b

^a Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Eng., Düzce University, Düzce, TURKEY

^b School of Eng. and Natural Sciences, Department of Basic Sciences, Altınbaş University, İstanbul, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: mehmetduman@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.825315

ABSTRACT

The sequence, whose initial condition is 2 and 1, obtained by summing the two terms preceding it, is called the Lucas sequence. The terms of this series continue as 2, 1, 3, 4, 7, 11, 18, 29, ... respectively. The features of the Lucas sequence have been studied in many projects in the literature and many studies have been done on Lucas series in applied sciences. Cryptology is the science that deals with encrypting data, transferring it securely from one point to another, and converting the encrypted data to the previous one. It includes cryptography and cryptoanalysis. Different encryption-decryption methods have been developed to ensure the security of the data from the past to the present. Some of these are Caesar, Affine, Vigenere and RSA. There are two types of encryption systems in cryptology. The first one is symmetric (secret key) encryption and the another one is asymmetric (public key) encryption. In this study; using the features of the Lucas sequence, studies on cryptology, which deals with the correct encryption, transfer and decryption of data, have been carried out and an example of cryptology algorithm has been given. With Lucas cipher, the letters in the alphabet and the space character are each mapped to the terms of the Lucas sequence. Later, starting from the first term of the Lucas sequence, the encryption was strengthened by adding Lucas terms. As a result, the text to be encrypted has been turned into a symbolic representation of the numbers. Then, the necessary information for deciphering the text which is encrypted with numbers is given.

Keywords: Lucas numbers, Cryptology, Information security, Cryptography

Lucas Dizisinin Terimleri Kullanılarak Verinin Şifrelenmesi ve Şifrenin Çözülmesi

ÖZET

Başlangıç şartı 2 ve 1 olan ve sonraki terimleri kendinden önceki iki terimin toplanmasıyla elde edilen diziye Lucas dizisi denir. Uygulamalı bilimlerde Lucas dizisi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Kriptoloji; verinin şifrelenmesi, güvenli bir şekilde bir noktadan başka bir noktaya transfer edilmesi ve şifrelenen verinin birbir önceki haline getirilmesi ile ilgilenen bilim dalıdır. Kriptoloji; kriptografi ve kriptanalizi içerir. Geçmişten bugüne kadar verinin güvenliğini sağlamak amacıyla farklı kriptolama yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları Sezar (Caesar), Affin, Vigenere ve RSA algoritmalarıdır. Kriptolojide iki çeşit şifreleme sistemi vardır. Birincisi simetrik (gizli anahtarlı) şifreleme diğeri ise asimetrik (açık anahtarlı) şifrelemedir. Bu çalışmada; Fibonacci dizisinin terimlerinden yararlanarak yeni bir şifreleme metodu geliştirildi. Bu şifreleme ile alfabemizdeki harflerin her biri Fibonacci dizisinin terimleri ile eşleştirildi. Böylece, şifrelenmek istenen metin, sayıların sembolik gösterimi haline getirildi. Şifreli metin oluşturulurken küçük harfler dikkate alındı. Daha sonra da sayılarla şifrelenmiş metnin deşifre edilmesi için gerekli olan dönüşüm hakkında bilgiler verildi.

Anahtar kelimeler: Lucas sayıları, Kriptoloji, Bilgi güvenliği, Kriptografi

I. INTRODUCTION

It has been very important to ensure the security of data from past to present and its importance is increasing day by day. New studies are constantly being made to ensure data security. Encryption methods are used in many fields such as military, engineering and health in order to counterwork the information from falling into the hands of black hackers. As the risk increases, more tight precautions are taken to protect important information. For this, many different encryption techniques have been developed. Even the course of history has changed with some encryption techniques used in history. Therefore; cryptology has been popular since its inception. In the future, it will continue to be a very important issue.

The first known cryptological document BC is the Rosetta tablet that was estimated to be written in 1900 [1]. The Enigma device used by the Germans during World War II between 1940 and 1944 gave the Germans superiority in the military field. It is thought that the course of the war changed after the password of Enigma was broken.

There are two types of encryption systems. The first is symmetric (secret key) encryption and the other is asymmetric (public key) encryption. Although the key is known in encryption with public keys, it is not possible to crack the password without performing a complex mathematical operation. It requires a lot of processing. In private key ciphers, the key is directly decrypted when it is received by hackers. So it must be protected very well.

Different encryption methods have been developed to ensure the security of the data from the past to the present. Some of these are Caesar (Caesar), Affin, Vigenere, block encryption and RSA. While some of the ciphers are simple enough to be deciphered with paper and pencil, some ciphers can only be analyzed analytically.

In 1553, the Vigenere cipher is known to be developed by Bellaso. This cipher is a method of encrypting alphabetic text by using a keyword. The encryption method used in is called multi-alphabet encryption. A keyword is selected. Each letter of the text to be encrypted is shifted by the number equivalent of the letter in the keyword. Then, it is arranged, if necessary, according to the modular arithmetic. For more information on cryptology, refer to references [1-11].

In 1202, Fibonacci published his modern decimal number system, known as Arab-Indian numbers, in his book "Liber Abaci". Moreover, in this book, the increase problem of a rabbit family in a closed environment is mentioned. The number sequence that shows the increase in the population of this rabbit family is called Fibonacci [12-16]. Later, Lucas sequences were initiated by changing only the initial conditions with a similar way.

Many studies have been done in different fields related to Lucas and Fibonacci numbers. For more information on Lucas, refer to references [17-21].

II. DEFINITIONS, THEOREMS AND METHODS

Lucas series

$$L_0 = 2, L_1 = 1 \text{ and } n \geq 2; L_n = L_{n-1} + L_{n-2} \quad (1)$$

is defined by the recurrence relation. L_n number is called n . Lucas number. The terms of this series are 2, 1, 3, 4, 7, 11, 18, 29, ... respectively.

Let's improve our method:

A. FOR ENCRYPTION (E)

E1) Space character is numbered 26. All letters in the alphabet are numbered from 0 to 25, respectively. The number equivalent of the letters is given in Table 1.

Table 1. Numbered letters starting at 2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	24	24	25

E2) Lucas numbers, corresponding to the numbers in which the letters of the alphabet match, are obtained. The equivalent of the Lucas number of letters is given in Table 2, each with 6 digits.

Table 2. Matching letters and space char. with Lucas numbers

A	B	C	D	E	F	G	H	I
L_0	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8
000002	000001	000003	000004	000007	000011	000018	000029	000047
J	K	L	M	N	O	P	Q	R
L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}	L_{13}	L_{14}	L_{15}	L_{16}	L_{17}
000076	000123	000199	000322	000521	000843	001364	002207	003571
S	T	U	V	W	X	Y	Z	Space
L_{18}	L_{19}	L_{20}	L_{21}	L_{22}	L_{23}	L_{24}	L_{25}	L_{26}
005778	009349	015127	024476	039603	064079	103682	167761	271443

We wrote the numbers in this encryption model as 6 digits. Because the largest number of Lucas to be used is the 6-digit $L_{26} = 271443$ number. Therefore, a maximum number of $6n$ digits correspond to a text with the letter n . We can show this encryption as Lucas-6. However, at least 7-digit numbers may occur when Lucas numbers are added to the text to be encrypted that contains more than 28 characters, similar to Vigenere encryption. In this case, if each letter is not written with more digits, an error occurs. So the model can be named Lucas-x to show the number of digits where x is required. For example, if each character has 8 digits, it can be shown as Lucas-8.

E3) Lucas numbers are added similar to Vigenere encryption. Lucas number of each letter and space chac. are obtained. Later, the number of Lucas is added to each character, starting with L_0 .

E4) The resulting numbers are combined.

E5) After removing the zeros from the left of the number, the text is encrypted with the numbers and encryption is completed. For example; let's encrypt the 5-letter word "LUCAS" with Lucas-6. Since the text to be encrypted has 5 letters, Table 2 is used.

For example;

E1) According to Table 1, the letters of the word "LUCAS" correspond to the numbers "11, 20, 2, 0, 18", respectively.

E2) Lucas numbers that should be calculated are " $L_{11}, L_{20}, L_2, L_0, L_{18}$ ". Then, according to Table 2, it is in the format of "000199, 015127, 000003, 000002, 005778", respectively.

E3) The first 5 Lucas numbers are added to each character, starting from the left and L_0 , respectively. Thus, "000201, 015128, 000006, 000006, 005785" is found.

Table 3. Numerical representation of letters with the help of continued fractions.

Text	L	U	C	A	S
New Lucas number	L_{11}	L_{20}	L_2	L_0	L_{18}
Number	000199	015127	000003	000002	005778
Number of Lucas to be added	$L_0 = 2$	$L_1 = 1$	$L_2 = 3$	$L_3 = 4$	$L_4 = 7$
Final state	000201	015128	000006	000006	005785

E4) If the values found are combined, “000201015128000006000006005785” is found.

E5) Finally, if the zeros on the left are removed, the word “LUCAS” is encrypted with the number “201015128000006000006005785”.

B. FOR DECRYPTION (D)

The encryption method is reversed to Lucas-x decipher the encrypted words. To divide numbers correctly, x, which is the digit number of each character, must be given.

D1) Zeros are added to the left of the encrypted number which will be the exact number of digits given. So x must be an integer multiple.

D2) The encrypted number is divided into sections according to the number of digits given.

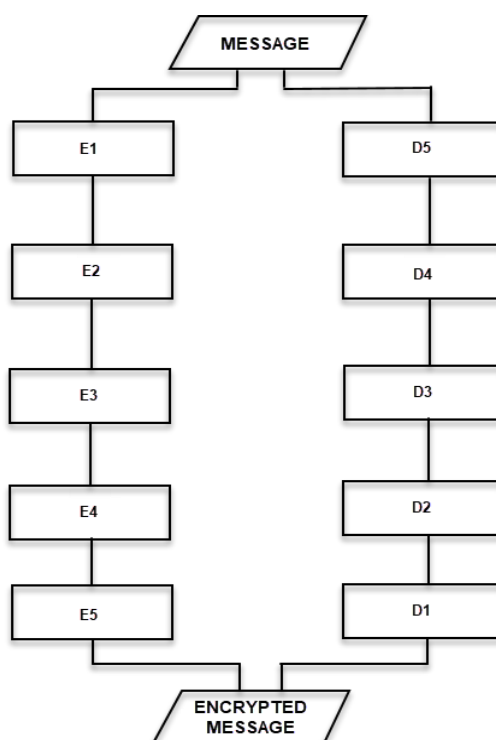
D3) Starting from the left and L_0 , Lucas numbers are subtracted from each segmented number.

D4) It is found the number obtained corresponds to which Lucas number.

D5) Finally, letters corresponding to these numbers are found and combined. Table 1 can also be used for this process.

Thus, the numbers are deciphered.

Figure 1. Flow chart of encryption and decryption



For example;

Let's decipher the number of "201015128000006000006005785" to be Lucas-6. Here the encrypted number is 27 digits and $x = 6$. Since $x = 6$, Table 2 can be used.

D1) So we should write our encrypted number as 30 digits. So, we have to add 3 zeros to the left side. Thus, it is regulated as "000201015128000006000006005785".

D2) Now let's divide the series of numbers into 6 digits. Then, there are the numbers "000201, 015128, 000006, 000006, 005785".

D3) Now, starting from the left and L_0 , Lucas numbers are subtracted. Then, there are the numbers "000199, 015127, 000003, 000002, 005776".

D4) The letters equivalent of the numbers obtained are found as "L, U, C, A, S" according to Table 2.

D5) If the found characters are combined, the word "LUCAS" is formed.

Thus, deciphering is completed as Table 4.

Table 4. Deciphering example

Encrypted number	000201	015128	000006	000006	005785
Number of Lucas to be subtracted	$L_0 = 2$	$L_1 = 1$	$L_2 = 3$	$L_3 = 4$	$L_4 = 7$
New number	000199	015127	000003	000002	005776
New Lucas number	L_{11}	L_{20}	L_2	L_0	L_{18}
Found Letter	L	U	C	A	S

III. FINDINGS AND DISCUSSION

In this encryption model, texts were encrypted by being translated into numbers. (But it can also be used by converting to text if desired.) Here, the number equivalent of each text is unique. Deciphering the data in one way is as important as hiding the data by encrypting it. Some arrangements have been made on this subject. Since the encrypted text is written in blocks, it is necessary to know how to separate the blocks so that it can be deciphered in one way. The letters are numbered from 0 to 25, and the space character is numbered with 26 and the number L_{26} is a 6-digit number. For this reason, the Lucas number that all letters match is written in 6 digits. However, if the length of the text to be encrypted is more than 28, it may exceed the digit number used. For this reason, it was preferred to use the Lucas- x notation where x is the length of each block. If a high-security encryption is to be made, then the x number must be very well protected and unauthorized persons must be prevented. Because if x is unknown, the longer the length of the text given, the harder it is to crack the password. When trying to decipher through trial and error, first of all, it should be checked whether the length of the ciphered text is a multiple of 6. If the length of the ciphertext is not a multiple of 6, then zeros had deleted from the left or the length of the text is more than twenty-eight. If the length of the ciphertext is not a multiple of 6, processes become more complicated. In this case, encryption and decryption steps should be controlled in multiple ways. If length of ciphertext is the multiple of 6, then it is divided into 6-digit blocks. After following the steps given before, it is checked whether the Lucas sequence gives its terms. If yes, the deciphering process is completed. If not, the result is reached by trying a higher number of digits in order. Of course, this means a lot of time and cost. It is important that the file size of the data is also small so that the storage cost is minimal. In order to reduce the storage cost in the designed encryption, unnecessary zeros in the encrypted text were deleted and the size of the text was reduced. In fact, encryption got stronger while the cost decreased. Because when deciphering it became unclear how many zeros would be added to the

encrypted text. Therefore, first, it must be checked the number of digits in order to avoid deleting zeros causing problems in deciphering. If it is missing, deciphering should be started after the necessary additions are made. In fact, while the storage cost decreases, the total cost and time increase as the processes to be applied for decryption increases. In summary, determining the number of zeros deleted from the ciphertext and the number of digits of the block (i.e. x) is important for correct deciphering in this encryption.

IV. CONCLUSION AND SUGGESTIONS

As a result, in this study; after matching the terms of the Lucas sequence with the letters of the alphabet, these terms were strengthened with a Vigenere encryption method. Thus, a new cryptology method was developed. This created technique can be used in encryptions that require simple security. By means of this system, since the words are converted to numbers, encryption is possible only using the numerical keyboard. Encrypted numbers can be deciphered and converted back into words, so they can be uniquely reverted.

This encryption using the terms of the Lucas sequence can be done similarly for other specific number sequences. Even new cryptology techniques can be developed by using with other cryptology techniques. For example; new cryptology techniques can be developed using the Fibonacci, Pell-Lucas sequence and Pell sequence.

V. REFERENCES

- [1] D. Kahn, *The Codebreakers*, rev. sub. ed., New York, USA: Scribner Publishing, 1996.
- [2] S. Yılmaz, O. Salcan, *Siber Uzayda Güvenlik ve Türkiye*, 1st ed., İstanbul, Turkey: Milenyum Publishing, 2008.
- [3] *National Research Institute of Electronics and Cryptology*, TÜBİTAK, [Online]. Available: <https://uekae.bilgem.tubitak.gov.tr/tr/kurumsal/tarihce> Accessed: 1 May, 2020,
- [4] H. Kodaz, F. M. Botsalı, “Simetrik ve asimetrik şifreleme algoritmalarının karşılaştırılması,” *Journal of Selcuk-Technic*, vol. 9, pp. 10 – 23, 2010.
- [5] E. Yeşilbaş, “Cebirsel kriptoloji yöntemleri ve bazı uygulamaları,” MSc Thesis, Department of Mathematics, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, Turkey, 2016.
- [6] J. S. Kraft, L. C. Washington, *An Introduction to Number Theory with Cryptography*, 2nd ed., Broken Sound Parkway, Northwestern United States: Chapman and Hall/CRC Press, Taylor & Francis Group, 2018.
- [7] D. R. Stinson, *Cryptography Theory and Practise*, 3rd ed., London, UK: Chapman & Hall/CRC Press Taylor & Francis Group, 2006.
- [8] D. R. Stinson, *Cryptography Theory and Practice*, New York, USA: Chapman & Hall / CRC, 2002.
- [9] *Data Encryption Standard*, Federal Information Processing Standards Publication 46-1, National Institute of Standards and Technology 1988.
- [10] R. A. Mollin, *An Introduction to Cryptography*, Boca Raton, New York, London, Chapman and Hall/CRC, 2006

- [12] R. A. Dunlap, *The Golden Ratio and Fibonacci Numbers*, 1st ed., 5 Toh Tuck Link, Singapore: World Scientific Publishing, 1997.
- [13] S. Vajda, *Fibonacci & Lucas Numbers, and the Golden Section, Theory and Applications*, Chichester, UK: Ellis Horwood Ltd. Pub., 1989.
- [14] T. Koshy, *Fibonacci and Lucas Numbers with Applications*, New York, USA, Toronto, Canada: John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [15] P. Ribenboim, W. L. McDaniel, *My Numbers, My Friends*, New York, USA: Springer – Verlag Publishing, 2000.
- [16] T. Nagell, *Introduction to Number Theory*, 2nd ed., New York, USA: W. C. Brown Publisher, 1989.
- [17] M. Basu, B. Prasad, “The Generalized Relations Among the Code Elements for Fibonacci Coding Theory,” *Chaos Solitons Fractals*, vol. 41, no. 5, pp. 2517-2525, 2019.
- [18] S. Prajapat, A. Jain, R. S. Thakur, “A Novel Approach for Information Security with Automatic Variable Key Using Fibonacci Q-Matrix,” *IJCCT*, vol. 3, no. 3, pp. 54–57, 2012.
- [19] B. Prasad, “Coding Theory on Lucas p Numbers,” *Discrete Mathematics, Algorithms and Applications*, vol. 8, no. 4, 2016.
- [20] A. Stakhov, V. Massingue, A. Sluchenkov, “Introduction into Fibonacci Coding and Cryptography”, Osnova, Kharkov, 1999.
- [21] P. Stakhov, “Fibonacci Matrices, a Generalization of the Cassini Formula and a New Coding Theory,” *Chaos Solitons Fractals*, vol. 30, no. 1, pp. 56–66, 2006.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

COVID-19 Diagnosis Using Deep Learning

 Gür Emre GÜRAKSIN^a,  Sezin BARIN^{b,*},  Esra ÖZGÜL^c,  Furkan KAYA^c

^a Computer Engineering Department, Engineering Faculty, Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, TURKEY

^b Biomedical Engineering Department, Engineering Faculty, Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, TURKEY

^c Radiology Department, Faculty of Medicine, Afyonkarahisar Health Sciences University, Afyonkarahisar, TURKEY

* Corresponding Author's email address: sbarin@aku.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.866124

ABSTRACT

The coronavirus, which appeared in Wuhan city of China and named COVID-19, spread rapidly and caused the death of many people. Early diagnosis is very important to prevent or slow the spread. The first preferred method by clinicians is real-time reverse transcription-polymerase chain reaction (RT-PCR). However, expected accuracy values cannot be obtained in the diagnosis of patients in the incubation period. Therefore, common lung devastation in COVID-19 patients were considered and radiological lung images were used to diagnose. In this study, automatic COVID-19 diagnosis was made from posteroanterior (PA) chest X-Ray images by deep learning method. In the study, using two different deep learning methods, classification was made with different dataset combinations consisting of healthy, COVID, bacterial pneumonia and viral pneumonia X-ray images. The results show that the proposed deep learning-based system can be used in the clinical setting as a supplement to RT-PCR test for early diagnosis

Anahtar Kelimeler: Deep Learning, COVID-19, GoogleNet, AlexNet, X-ray Imaging

Derin Öğrenme Yöntemleri ile COVID-19 Teşhisi

ÖZET

Çin'in Wuhan şehrinde ortaya çıkan ve COVID-19 olarak adlandırılan koronavirüsü dünyanın çok büyük bir kısmını etkisi altına alarak hızla yayılmış ve birçok insanın ölümüne yol açmıştır. Yayılmanın önlenmesi veya yavaşlatılması için erken teşhis oldukça önemlidir. Klinisyenler tarafından ilk tercih edilen yöntem gerçek zamanlı ters transkripsiyon-polimeraz zincir reaksiyonu (RT-PCR) olmaktadır. Ancak kuluçka dönemindeki hastaların teşhisinde beklenen doğruluk değerleri elde edilememektedir. Bu nedenle COVID-19 hastalarında ortak olarak görülen akciğer hasarları göz önüne alınmış ve radyolojik akciğer görüntüleri teşhis koymak için kullanılmıştır. Bu çalışmada posteroanterior (PA) göğüs X-Ray görüntülerinden derin öğrenme yöntemi ile otomatik COVID-19 teşhisi yapılmıştır. Çalışmada iki farklı derin öğrenme yöntemi kullanılarak, sağlıklı, covid, bacterial pneumonia ve viral pneumonia X-ray görüntüleri bulunan sınıflardan oluşan farklı veriseti kombinasyonları ile sınıflandırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar önerilen derin öğrenme tabanlı sistemin erken teşhis için RT-PCR testini destekleyici olarak klinik ortamda kullanılabileceğini göstermektedir.

Keywords: Derin Öğrenme, COVID-19, GoogleNet, AlexNet, X-ray Görüntüleme

I. INTRODUCTION

Coronavirus belongs to a large family of viruses that cause disease in animals or humans [1]. Many different types of coronaviruses have occurred in humans that cause either colds or severe respiratory infections, including Middle East Respiratory Syndrome (MERS) and Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS). On December 31, 2019, a pneumonia diagnosis with an unknown cause was identified in Wuhan, China, and subsequently reported to the World Health Organization (WHO). As a result of the analyzes, the presence of a new type of coronavirus was detected [1]–[4]. This virus, called COVID-19 by WHO on February 11, 2020, has rapidly spread worldwide in a short time and caused many deaths, such that a Public Health Emergency of International Concern was announced on January 30, 2020 [1], [3], [4]. The known mild symptoms of COVID-19 are fever, fatigue, dry cough, pain, nasal congestion, runny nose, sore throat, and diarrhea. However, 1 out of 6 people reportedly has high fever, intense cough, difficulty breathing, and require medical assistance[1]–[4]. Decreasing the spreading rate of COVID-19, which currently has no cure, is the most basic measure that can be taken until an acceptable treatment method becomes available. Early diagnosis is crucial in reducing the rate of spread. However, RT-PCR method, which is the first choice in diagnosing the disease, does not show the expected performance in diagnosing patients who are in the incubation period[5], [6]. This has prompted researchers to look for different methods for early diagnosis.

In a study published by Huang et al.[7] , the clinical findings of 41 patients diagnosed with COVID-19 and hospitalized in Wuhan until January 2, 2020 were reported. In the article, all patients were reported to have pneumonia with abnormal findings in their thorax CT. In another study conducted by Song et al.[8], in the thorax CT of 51 patients, pure ground-glass opacities (GGO) were present in 77% of the patients, GGOs with interstitial and/or interlobular septal thickening in was visible in 75% of the patients, whereas 59% of the patients had GGOs with consolidation. Xie et al.[6] used 167 patient data in their study. While 5 (3%) of these patients had negative RT-PCR in the beginning, a positive thorax CT with a pattern compatible with viral pneumonia was identified. Similarly, while the RT-PCR test was positive for seven patients (4%), their CT diagnosis was initially negative. For the remaining 155 patients (93%), both RT-PCR and CT were positive for COVID-19. These results have increased the importance of studies on thorax CT and chest x-ray images for early diagnosis and diagnosis of COVID-19.

Deep learning has recently become the first-choice method for medical image processing due to its high success rate. This is a widely used method for several tasks with an increasingly high medical diagnosis application due to the successful classification and segmentation of medical images. There has been a surge in studies involving deep learning methods for the classification of CT and X-ray images for the diagnosis of COVID-19 in the literature. Abbas et al. [9] collated data from two sources: 105 COVID-19, and 11 SARS chest x-ray images from the dataset created by Cohen et al.[10] and 80 normal chest x-ray images taken from the Japanese Society of Radiological Technology (JSRT). Due to the low number of images in the dataset, the authors employed data augmentation operations, including up/down and right/left flipping, translation, and rotation methods from 5 different angles, to obtain a total of 1764 images. The Convolutional Neural Network (CNN) based transfer learning method with Decompose Transfer and Compose (DeTraC) was used to classify the images in their dataset. ResNet-18 was preferred at the Transfer stage of the DeTraC method. In a study conducted by Wang et al. [11], the Chest X-Ray Images (Pneumonia)[12] available on the Kaggle public dataset site was selected for binary classification. This data set comprised 4273 pneumonia and 1583 normal images. In order to resolve the data imbalance, various data augmentation methods including rescaling, rotations, shifts, zooms and flips were applied. CNN-based transfer learning methods including VGG16, VGG19, DenseNet201, Inception_ResNet_V2, Inception_V3, Resnet50, MobileNet_V2, and Xception deep learning architectures were selected for the classification task. The authors reported that the Resnet50, MobileNet_V2, and Inception_Resnet_V2 architectures gave more successful results. The remarkable aspect of this study is the fact that no original COVID-19 images were used. The study was based on the diagnosis of pneumonia in chest X-ray images of patients diagnosed with COVID-19. In a study conducted by Alqudah et al.[5], the authors selected the publicly available [ieee8023/covid-chestxray-](https://www.kaggle.com/ieee8023/covid-chestxray)

dataset[10] (which was created using Chest X-Ray Images (Pneumonia)[12]). They employed data augmentation techniques to produce the Augmented COVID-19 X-ray Images Dataset [13], which they employed for their studies. In their study, the authors carried out binary classification of COVID-19 and No-COVID-19 using Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF), and Convolutional Neural Network (CNN). In another study by Xu et al.[14], 219 COVID-19, 224 Influenza-A, and 175 normal 618 CT images were used for classification experiments. The study consisted of image preprocessing, segmentation, and classification stages. The VNET-based VNET-IR-RPN segmentation model was used for segmentation. For classification experiments, they selected the CNN-based ResNet-18 model and created other CNN models based on the architecture of the ResNet-18 model. The study by Chowdhury et al.[15] employed a dataset that was created by combining four different data sets[10], [12], [16], [17]. They applied data augmentation techniques, including rotation, scaling, and translation. They investigated binary classification (Normal/COVID-19) and multi-classification (Normal / COVID-19 / Viral Pneumonia) problems using AlexNet, ResNet18, DenseNet201 and SqueezeNet deep learning architectures. Hemdan et al.[18] investigated binary classification using 25 normal and 25 COVID-19 chest X-ray images taken from the public dataset [10]. They employed transfer learning models including VGG19, DenseNet201, InceptionV3, ResNetV2, InceptionResNetV2, Xception, and MobileNetV2 deep neural network architectures. Ghoshal and Tucker[19] studied multi-classification for normal/COVID-19/viral pneumonia/bacterial pneumonia using images obtained from two public databases[10], [12]. Since COVID-19 images were less than other images, the authors applied data augmentation to these images and carried out classification experiments using ResNet50V2 deep neural network architecture. Narin et al.[20] explored binary classification with ResNet50, InceptionV3 and InceptionResNetV2 architectures using 50 COVID-19 and 50 normal images from data sets[10], [12]. Nigam et al.[21] created a dataset of 16634 CT images in total, consisting of 6000 normal, 5634 COVID, and 5000 other viral infections or diseases from hospitals in the Maharashtra and Indore regions of India. In their classification studies using VGG16, DenseNet121, Xception, NASNet, and EfficientNet deep learning architectures achieved an accuracy of 79.01%, 89.96%, 88.03%, 85.03%, and 93.48%, respectively. Serte and Demirel[22] proposed a ResNet-50-based deep learning architecture to diagnose COVID-19 from 3D-CT images. They created a binary classification study using the Mosmed-1110 data set, which obtained 96% AUC, 84% accuracy, 100% sensitivity, and 80% specificity. As mentioned above, the literature's main deficiency is the absence of a sufficiently labeled COVID-19 image dataset.

In this study, which was carried out using two different deep learning methods, posteroanterior (PA) chest X-ray images in 2 public data sets[10], [12] were combined. Thus, 500 normal, 500 bacteria pneumonia and 500 viral pneumonia images from[12] and 160 COVID-19 PA chest X-ray images from[10] were combined into a dataset. Next, the images in the created dataset were pre-examined by two radiologists. GoogleNet and AlexNet deep learning methods were used to classify these data sets. The details of the study and obtained results are reported in the subsequent sections.

The outline of this paper is as follows. In Section II, The details of the data set used are explained. The preprocesses applied to the images are presented, and the deep learning architectures and training parameters involved in the study are mentioned. In Section III, the studies' results are given, the results obtained are interpreted and compared with other studies in the literature. Finally, the work is briefly summarized in chapter 4, Conclusion.

II. METHOD

The study aims to diagnose COVID-19 using the transfer learning method for high accuracy. For this purpose, AlexNet and GoogleNet architectures, which are among the most common using deep learning architectures, were preferred. For the training and testing, images taken from 2 different open source datasets were combined to create a dataset consisting of 1670 chest X-Ray images. Details are explained in the following of the study.

A. DATASET

The dataset used in the study contains 160 COVID-19, 500 normal, 500 bacteria pneumonia, 500 viral pneumonia, thus a total of 1670 chest X-ray images. The 160 COVID-19 images were taken from Cohen et. al.[10] and comprised posteroanterior (PA) chest X-ray and CT images of patients with acute respiratory distress syndrome (ARDS), COVID-19, and MERS were taken from the open-source GitHub site. The 500 normal, 500 bacteria pneumonia and 500 viral pneumonia images were taken from the "Chest X-Ray Images (Pneumonia)"[12] dataset on the open-source Kaggle site. This primary database comprised 1583 normal, 2786 bacterial pneumonia, and 1504 viral pneumonia chest X-ray images. In order to avoid too much imbalance in the study dataset, 500 images were taken from each class. A sample image for each category in the dataset is shown in Figure 1. The created datasets were pre-examined by two radiologists. Figure 3 presents how different classification problems that were investigated using the created dataset.

A 10-fold cross-validation experiment was implemented in this study; thus 10% of the data is used for testing, whereas the remaining 90% for training the model.

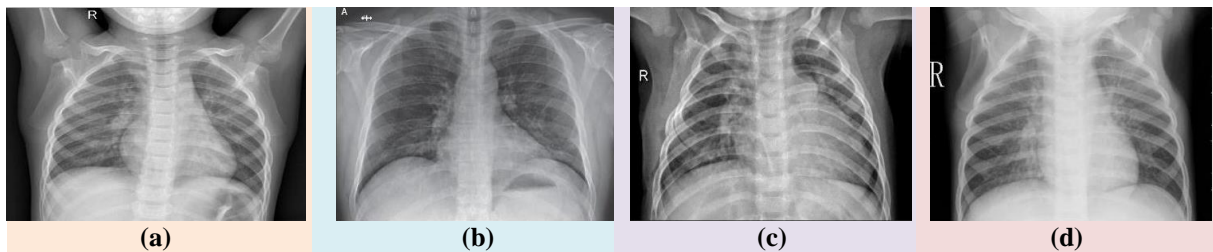


Figure 1. Sample images for each class in the dataset (a) Healthy, (b) COVID-19, (c) Bacterial Pneumonia, (d) Viral Pneumonia [10], [12]

B. IMAGE PREPROCESSING

The images used in the study were resized in accordance with the requirements of the input layer of the deep convolutional neural network architecture selected for transfer learning application. Accordingly, the images were resized into 224x224x3 and 227x227x3 for the GoogleNet[23] and AlexNet[24] architectures, respectively.

C. APPLICATION OF DEEP LEARNING METHOD

Deep learning, a sub-branch of machine learning inspired by the brain's hierarchical structure, has become an active research area in the literature. Deep artificial neural network architectures contain multi-layers and even layers within layers. They have been effectively employed in image processing methods and eliminates the need for restrictive feature extraction methods. The emergence of advanced computer hardware has also permitted this method to achieve high success and implementations in wide application areas. Deep learning methods, which have seen an increased application in the medical field due to their high achievements, have recently been employed in many areas such as lesion detection, segmentation, and classification of medical images. Figure 2. demonstrates the increasing popularity of deep learning methods in the medical field over the past ten years. This rapid increase can easily be associated with their higher success rates in disease diagnosis and the advancement in the latest technological methods that offer time- and cost-savings [25].

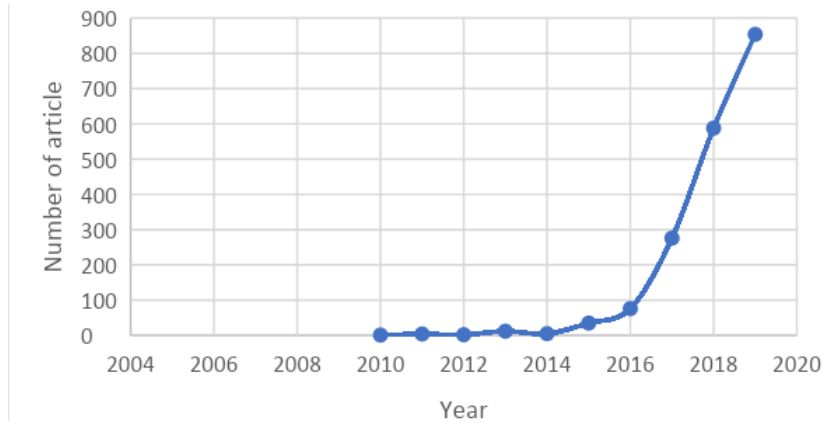


Figure 2. Number of studies employed for medical imaging publications using deep learning method within the last 10 years [25]

In this study, 2 CNN-based deep neural network models, trained with ImageNet[26], and purposely developed for object classification and detection, were used. These deep CNN architectures were used to diagnose patients with COVID-19 using the transfer learning method. A transfer learning method provides faster training time and better performance than CNN architectures trained from scratch. The preferred 2 deep neural network architectures for transfer learning in the study are AlexNet and GoogleNet.

D. APPLICATION OF TRANSFER LEARNING

Transfer learning is a deep learning technique that uses the earlier acquired knowledge of a neural network trained for a task and applies it to another related task. In this study, two convoluted neural networks which were trained with ImageNet[26], one of the largest image databases, was employed for the identification of chest X-ray images of patients with COVID-19 disease (PA). These conventional neural networks are AlexNet and GoogleNet. These two architectures were used for different classification processes. In the first classification process involving 4 categories, images are classified as either COVID-19, healthy, bacteria pneumonia or viral pneumonia. The second classification task involved a COVID-19 / healthy / pneumonia classification problem. In the third classification process, the images that were first classified as diseased / healthy were subsequently classified as COVID-19 / pneumonia if diseased diagnosis was predicted. If the images classified as diseased / healthy are diseased, they are again classified as COVID-19 / bacterial pneumonia / viral pneumonia. Inspired by the classification of viral pneumonia / COVID-19 / healthy images carried out by Chowdhury et. al.[15], the limits of the study were extended to carry out viral pneumonia / COVID-19 / healthy and bacteria pneumonia / COVID-19 / healthy classification experiments. The applied classification studies can be easily seen with the flow diagrams shown in Figure 3.

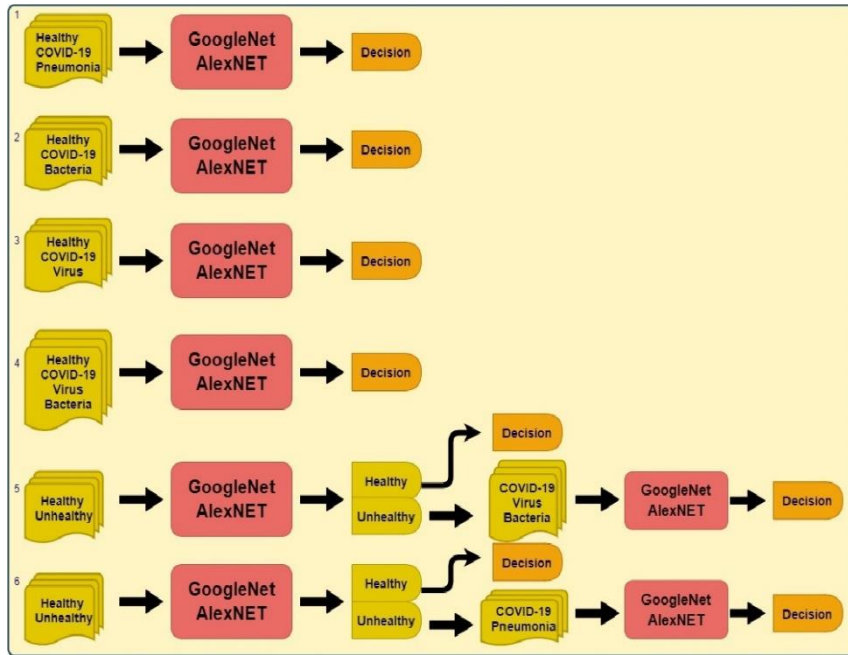


Figure 3. Flow chart of the study

D. 1. AlexNet [24]

AlexNet is a CNN architecture designed by Krizhevsky et al.[24]. This model was adjudged the first position in the ImageNet ILSVRC contest in 2012, with 15.3% top-5 best error rate. The 8-layered artificial neural network architecture, which includes three fully connected layers and five convolution layers followed by a maximum pooling layer, ends with the 1000 connected softmax layer. The input layer accepts images with size of $227 \times 227 \times 3$. The architecture of the artificial neural network is given in Figure 4.

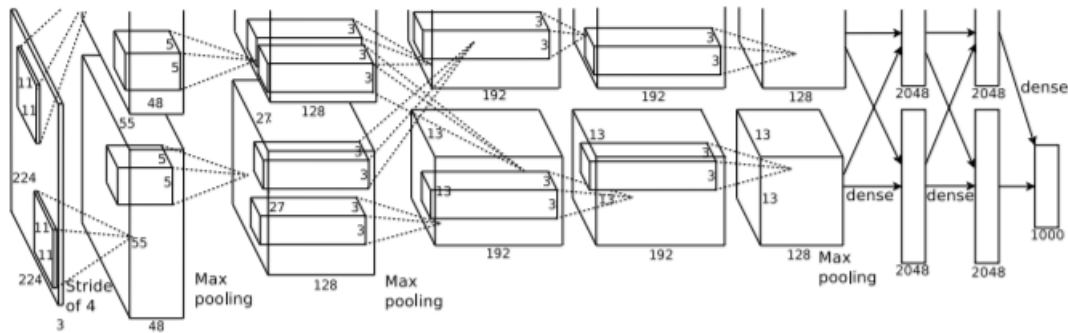


Figure 4. AlexNet Architecture [24]

The training parameters of the AlexNet model in the study are the adam optimization function with an initial learning rate of 0.0001, maximum epoch size of 20, and minibatch size of 32.

D. 2. GoogleNet

GoogleNet, also known as Inception-V1[23], is another CNN-based deep learning architecture presented by Szegedy et al.. It was ranked 1st with an error rate of 6.7% in the ImageNet ILSVRC competition held in 2014. Although GoogleNet consists of 22 layers, it reduces the 60 million parameters in AlexNet to 4 million due to the incorporation of an inception module. The input layer accepts images with dimensions $224 \times 224 \times 3$. The authors created a network with modules called deep neural network

Inception. Each module consists of differently sized convolution and max-pooling layers. The graphical representation of the architecture of GoogleNet is given in Figure 5.

For a fair comparison of the GoogleNet model with the Alex net model, the same training parameters (Adam optimization function with an initial learning rate of 0.0001, maximum epoch size of 20 and minibatch size of 32) were used.

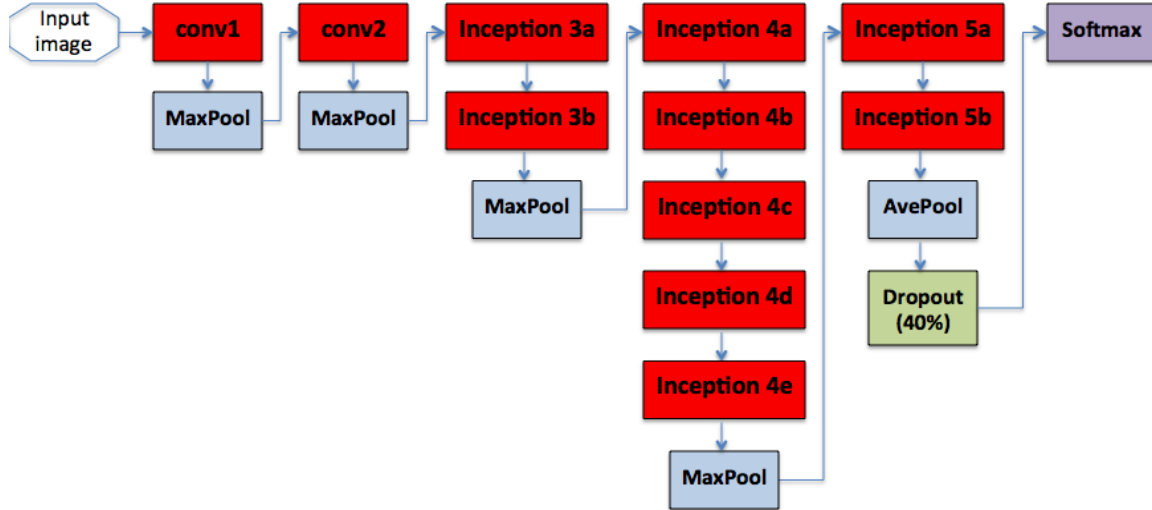


Figure 5. GoogleNet Architecture [23], [27]

The representation of the inception module indicated in Figure 5 can be seen thoroughly in Figure 6. The inception module operates convolutions with different kernel filter sizes simultaneously, providing a solution for the mathematical computation cost and overfitting problem in deep architectures. As can be seen in Figure 6, calculations are made simultaneously in convolution layers with 1x1, 3x3 and 5x5 filter sizes in the inception module at the same time. In this way, large-scale and small-scale features in images can be analyzed.

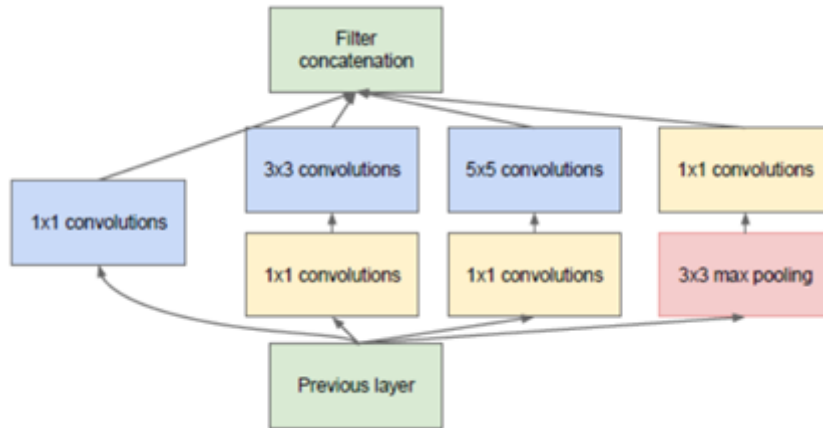


Figure 6. Inception size-reduction module [23]

III. RESULTS AND DISCUSSION

The results of six different experiments (with details presented above), created by combining different classification scenarios, are given in Table 1 for the GoogleNet and AlexNet models. The 10-fold cross-validation method was applied in the study. Therefore, the reported results are the average metrics of the ten folds experiments of each model. Accuracy (mathematical expression in Equation1), Specificity

(Equation 2), Sensitivity (Equation 3), and Precision (Equation 4) are the performance evaluation metrics used to measure the success of the study.

$$ACC = \left(\frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \right) * 100 \quad (1)$$

$$SPEC = \left(\frac{TN}{TN+FP} \right) * 100 \quad (2)$$

$$SENS = \left(\frac{TP}{TP+FN} \right) * 100 \quad (3)$$

$$PREC = \left(\frac{TP}{TP+FP} \right) * 100 \quad (4)$$

The True Positive (TP) value represents the classification of the patient case as a patient, whereas the False Positive (FP) value represents the classification of a healthy case as a patient. The True Negative (TN) value represents the classification of a healthy case as healthy, whereas False Negative (FN) represents the classification of a healthy case as a sick case. Accuracy is the ratio of correctly tagged images relative to all images, whereas Precision represents a situation that assesses whether the image really belongs to the class it was tagged in. Specificity is the correct tagging rate of the images of each class, while the correct tagging rate of the images belonging to the class other than the healthy class is termed sensitivity. The previously mentioned AlexNet and GoogleNet deep learning models were applied to the chest X-ray images created from different classes, and the values obtained from the classification experiments are presented in Table 1. The confusion matrices of the results from the 10-fold cross-validation experiments for AlexNet and GoogleNet are presented in Figures 7 and 8, respectively.

Table 1. Study results

		AlexNet		GoogleNet				AlexNet		GoogleNet				
Normal	Pneumonia	COVID-19	Accuracy	98.54	<u>98.83</u>	COVID-19	Virus	Bacteria	Accuracy	87.74	<u>89.06</u>			
			Sensitivity	99.24	99.36				Sensitivity	92.23	94.08			
			Specificity	99.10	99.49				Healthy	Unhealthy	Specificity	94.38	94.39	
			Precision	98.04	98.73						Precision	91.49	92.46	
Normal	COVID-19	Bacteria	Accuracy	<u>98.77</u>	98.59	Healthy	Unhealthy	COVID-19	Pneumonia	Accuracy	98.06	<u>98.41</u>		
			Sensitivity	98.88	98.68					Sensitivity	97.46	96.85		
			Specificity	99.76	99.76					Healthy	Unhealthy	Specificity	98.27	99.23
			Precision	99.69	99.47							Precision	96.30	96.66
Normal	COVID-19	Virus	Accuracy	97.56	<u>97.80</u>	COVID-19	Pneumonia	COVID-19	Pneumonia	Accuracy	98.06	<u>98.41</u>		
			Sensitivity	99.04	99.73					Sensitivity	97.46	96.85		
			Specificity	98.48	98.32					Healthy	Unhealthy	Specificity	98.27	99.23
			Precision	97.24	97.42							Precision	96.30	96.66
Normal	COVID-19	Virus	Accuracy	<u>91.38</u>	90.0	Healthy	Unhealthy	COVID-19	Pneumonia	Accuracy	98.06	<u>98.41</u>		
			Sensitivity	93.49	89.56					Sensitivity	97.46	96.85		
			Specificity	97.03	97.9					Healthy	Unhealthy	Specificity	98.27	99.23
			Precision	93.32	94.37							Precision	96.30	96.66

When the data given in Table 1 are examined, all classification evaluations except the accuracy values of the 5th model are over 90%. It shows that the used deep learning architectures can distinguish CT images of COVID-19 patients from healthy and pneumonia patients with an essential accuracy of 98.83%. Also, the height of the sensitivity value indicates that the images belonging to each class are labeled with an accuracy of 99.36%. The specificity value indicates that the images belonging to each class are not labeled with another class label with an accuracy of 99.49%. While the CT images of COVID-19, bacterial pneumonia, and healthy individuals can be classified with an accuracy value of 98.77%, a value loss of 0.93% was observed in 'CT images' classification of healthy, COVID-19 and, viral pneumonia individuals. There is a serious decrease in the performance of model number 4. This situation shows that the separation of Bacteria and Virus pneumonia images decreases the success. On the other hand, systems numbers 5 and 6, realized in 2 parts, did not show the expected success.

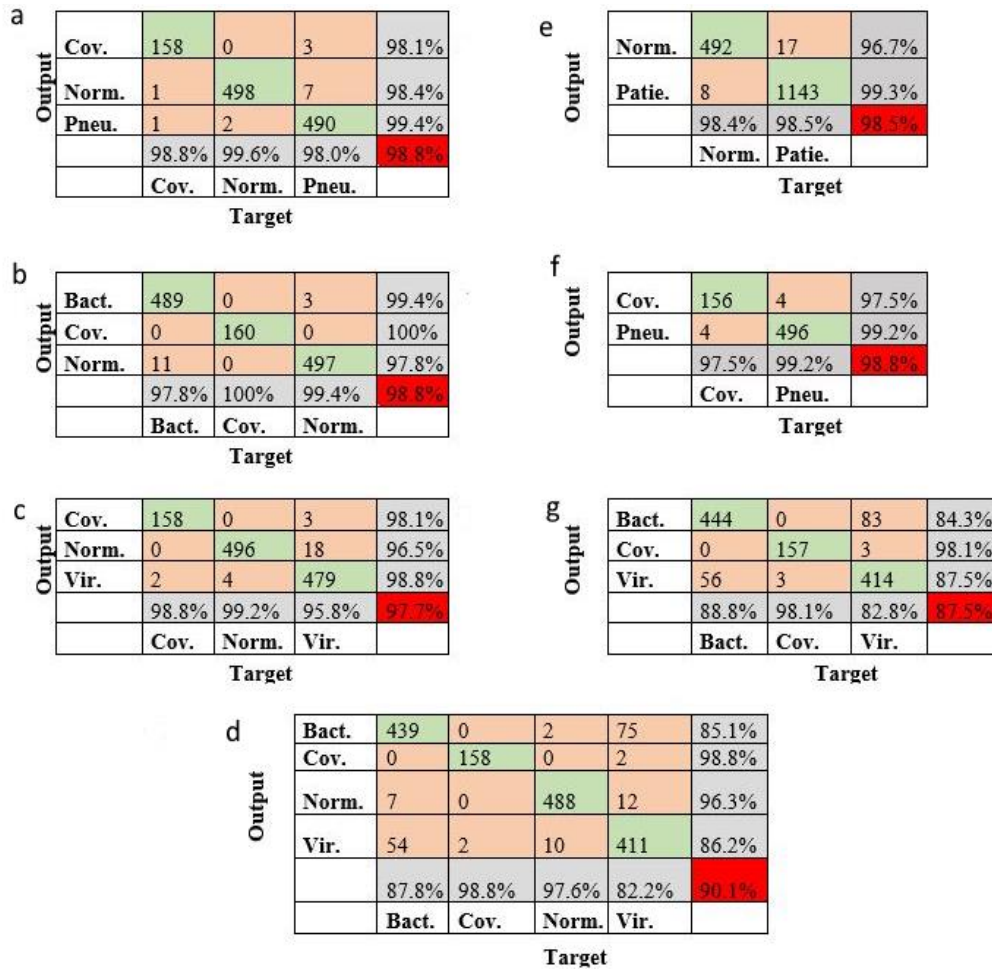


Figure 7. The confusion matrices from the 10-Fold cross-validation experiments of AlexNet; (a) COVID-19, Normal, Pneumonia, (b) COVID-19, Normal, Bacteria, (c) COVID-19, Normal, Virus, (d) COVID-19, Normal, Virus, Bacteria, (e) Normal, Patient, (f) COVID-19, Pneumonia, (g) COVID-19, Virus, Bacteria,

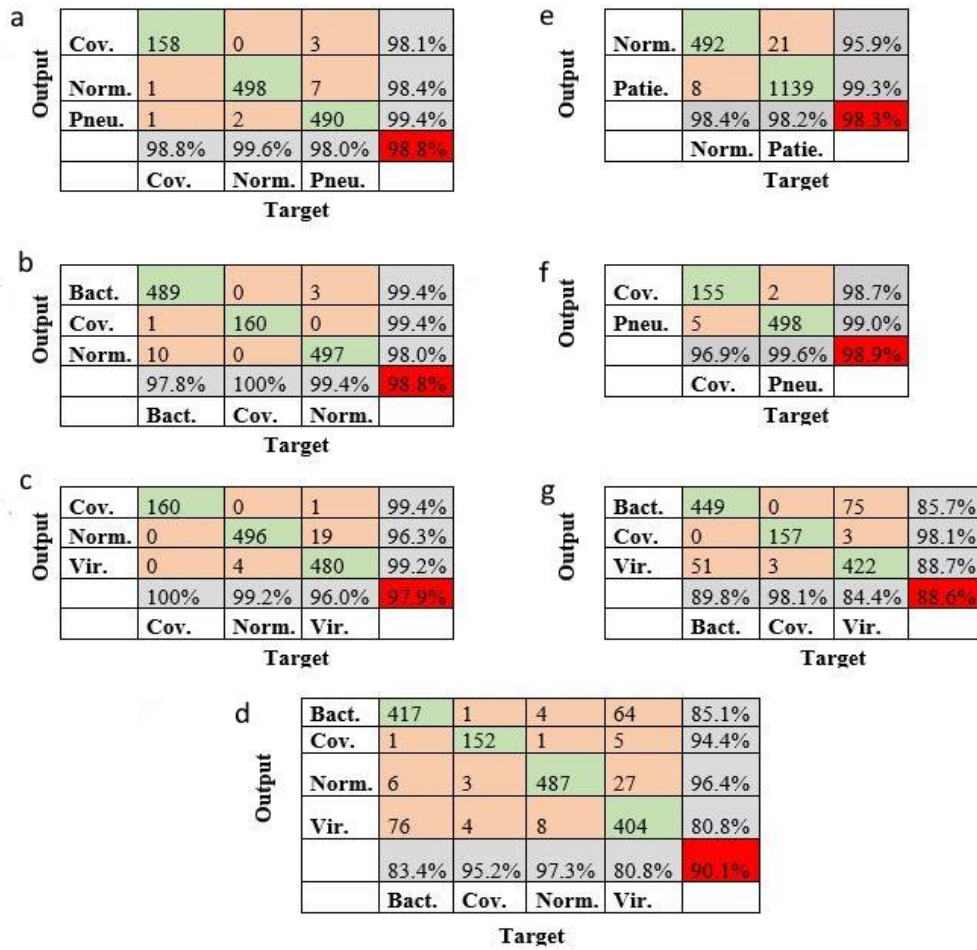


Figure 8. The confusion matrices from the 10-Fold cross-validation experiments of GoogleNet; (a) COVID-19, Normal, Pneumonia, (b) COVID-19, Normal, Bacteria, (c) COVID-19, Normal, Virus, (d) COVID-19, Normal, Virus, Bacteria, (e) Normal, Patient, (f) COVID-19, Pneumonia, (g) COVID-19, Virus, Bacteria,

Considering the results of the study, the cases of pneumonia, COVID-19, and healthy patients are predicted with a high success of 98.83%. However, when the viral pneumonia images are separated, and a subsequent classification carried out, there is a 1.03% decrease in success rate. This can be attributed to the similar features between COVID-19 and viral pneumonia patients. An increase in the number of classification tasks to 4 classes leads to a success rate of 90% as the image similarities increased. However, an examination of the confusion matrices of the four classes in Figures 7 and 8 shows a decrease in the success rate of healthy subjects and a high successful classification of patients with COVID-19 is due to the classification inaccuracies of the viral and bacterial images. The high classification performance of Covid19 / Pneumonia / Healthy images confirms this observation.

As mentioned earlier, the study consisted of two main classification objectives. In this stage, the expected performance could not be achieved as a low classification performance was recorded. The X-ray images of 1160 patients versus 500 healthy X-ray images created an imbalance in the dataset and subsequently affected the first stage of the classification experiments. This issue could be resolved using data augmentation methods, as implemented in other studies in the literature. But this current study did not make such implementations to ensure a fair comparison with classification experiments in the earlier stage.

It is possible to increase the performance of the architectures. The selection of images from different datasets and different hospitals significantly affects the performance of the developed system. But the diversity in the dataset allows wider usability of the developed system. Additionally, increasing the size of the data set can lead to an increase in performance and produce more successful results.

Table 2. Literature studies and results

References	Dataset	Method	Output Size	Evaluation Metrics					
				Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	Recall	F1 Score
Abbas et. al.[9]	<ul style="list-style-type: none"> • COVID-19 Image Data Collection [10] • JSRT 	<ul style="list-style-type: none"> • eTraC-ResNet-18 	<ul style="list-style-type: none"> • Normal • COVID-19 • SARS 	95.12%	97.91%	91.87%	93.36%	-	-
Wang et. al.[11]	<ul style="list-style-type: none"> • the Chest X-Ray Images (Pneumonia)[12] 	<ul style="list-style-type: none"> • VGG16 • VGG19 • DenseNet201 • Inception_ResNet_V2 • Inception_V3 • Resnet50 • MobileNet_V2 • Xception 	<ul style="list-style-type: none"> • Normal • Pneumonia 	83%	84%	80.5%	-	-	-
Alqudah et. al. [5]	<ul style="list-style-type: none"> • COVID-19 Image Data Collection[10] • the Chest X-Ray Images (Pneumonia)[12] 	<ul style="list-style-type: none"> • SVM • Random Forest • CNN 	<ul style="list-style-type: none"> • COVID-19 • No-COVID-19 	95.2%	93.3%	100%	100%	-	-
Xu et. al.[14]	<ul style="list-style-type: none"> • Dataset Collected from the First Affiliated Hospital, College of Medicine, Zhejiang University; Wenzhou Central Hospital; and the First People's Hospital of Wenling 	<ul style="list-style-type: none"> • VNET-IR-RPN • ResNet • CNN 	<ul style="list-style-type: none"> • COVID-19 • No-Infected • Influenza-A 	86.7%	-	-	81.3%	86.7%	83.9%

Table 2. (continuation) Literature studies and results

Chowdhury et. al.[15]	<ul style="list-style-type: none"> • COVID-19 Image Data Collection[10] 		<ul style="list-style-type: none"> • Normal • COVID-19 	98.3%	96.7%	100%	100%	-	-
	<ul style="list-style-type: none"> • the Chest X-Ray Images (Pneumonia)[12] • SIRM[16] • Novel Corona Virus 2019 Dataset[17] 	<ul style="list-style-type: none"> • AlexNet • ResNet18 • DenseNet201 • SqueezeNet 	<ul style="list-style-type: none"> • Normal • COVID-19 • Viral Pneumonia 	98.3%	96.7%	99%	100%	-	-
Hemdan et. al.[18]	<ul style="list-style-type: none"> • COVID-19 Image Data Collection[10] 	<ul style="list-style-type: none"> • VGG19 • DenseNet201 • InceptionV3 • ResNetV2 • InceptionResNetV2 • Xception • MobileNetV2 	<ul style="list-style-type: none"> • COVID-19 • Normal 	90%	-	-	83%	100%	91%
Narin et.al.[20]	<ul style="list-style-type: none"> • COVID-19 Image Data Collection[10] • the Chest X-Ray Images (Pneumonia)[12] 	<ul style="list-style-type: none"> • ResNet50 • InceptionV3 • InceptionResNetV2 	<ul style="list-style-type: none"> • Normal • COVID-19 	98%	-	-	100%	96%	98%
Nigam et.al.[21]	<ul style="list-style-type: none"> • Dataset Collected from Hospitals in the Maharashtra and Indore regions of India[21] 	<ul style="list-style-type: none"> • VGG16 • DenseNet121 • Xception • NASNet • EfficientNet 	<ul style="list-style-type: none"> • Normal • COVID-19 • Other 	93.48%			93%	93%	93%
Serte et. Al.[22]	<ul style="list-style-type: none"> • Mosmed-1110 	<ul style="list-style-type: none"> • ResNet-50 based architecture 	<ul style="list-style-type: none"> • Normal • COVID-19 	0.96 AUC 84% accuracy	100%	80%			

Table 2. (continuation) Literature studies and results

Proposed Method	<ul style="list-style-type: none"> • COVID-19 Image Data Collection[10] • the Chest X-Ray Images (Pneumonia)[12] 	<ul style="list-style-type: none"> • AlexNet • GoogleNet 	•Normal							
			•COVID-19	98.83%	99.36%	99.49%	98.73%	-	-	
			•Pneumonia	<hr/>						
			•Normal							
			•COVID-19	97.80%	99.73%	98.32%	97.42%	-	-	
			•Viral Pneumonia	<hr/>						
			•Normal							
			•COVID-19	98.77%	98.88%	99.76%	99.69%	-	-	
			•Bacteria Pneumonia	<hr/>						
			•Normal	•COVID-19	98.41%	96.85%	99.23%	96.66%	-	-
•Patient	•Pneumonia	<hr/>								
Normal	• COVID-19									
•Patient	• Viral Pneumonia	89.06 %	94.08 %	94.39 %	92.46 %	-	-			
	• Bacteria Pneumonia	<hr/>								
	•Normal									
	•COVID-19	91.38%	93.49%	97.03%	93.32%	-	-			
	•Viral Pneumonia									
	•Bacteria Pneumonia									

A comparison of the study with other published works in the literature given in Table 2 confirms the proposed method outperforms existing methods. In the Literature studies shown in Table 2, it is seen that most of them use deep learning architectures and similar datasets. Also, In Table 2, Deeper architectures are used than the architectures we use, except for the work done by Alqudah et al. However, our performance values are the best result with 98.83% accuracy and among the best results with 99.36% sensitivity, 99.49% specificity, 98.73% precision. The simpler architecture we use provides performance gain while reducing the computational cost. Also, several published works investigated the classification of images into two categories: COVID-19 and No-COVID-19. There is only one study that distinguishes COVID -19 from Pneumonia. However, it is crucial to identify whether a patient's medical condition is caused by viral or bacterial infection. For this reason, this study included various different combinations of classification experiments so as to offer a reference study in the literature and contribute to the medical field.

IV. CONCLUSION

COVID-19 is rapidly spreading worldwide and has caused the death of many people. Early diagnosis has an important role in reducing this spreading rate. A new method is needed to support the accuracy of the RT-PCR test to establish a more successful diagnosis of COVID-19 since the RT-PCR test does not show the accuracy required. Thorax CT has high sensitivity in diagnosis, but its disadvantage of high dose ionizing radiation makes it a less preferable solution. PA lung X-ray radiography, which contains much less radiation, should be used in diagnosis and follow-ups due to the necessity of taking radiological images during the follow-up examination of the patients. PA lung X-ray CT shows insufficient traced ground-glass infiltration. Therefore, PA X-ray is a radiological imaging method with low diagnosis rate of viral pneumonia. It is insufficient to diagnose COVID-19 alone without using deep learning methods. Our study showed that the incorporation of deep learning produced a higher accuracy rate of 98%. Therefore, it can be used in the diagnosis and follow-up examination of the disease.

The symptoms common to all chest X-ray images of all COVID-19 patients are well suited for use in this method. Therefore, in this study, a system was designed to distinguish the images of pneumonia diseases, from healthy patients, as well as the diagnosis of COVID-19 using chest X-ray images. In this system, CNN architectures, GoogleNet and AlexNet architectures, previously trained with a large data set such as ImageNet, are used. A higher performance is expected from the GoogleNet architecture, but it did not perform better than the AlexNet architecture, which even produced better classifications in some instances. An examination of the results shows that more than 98% accuracy was obtained in the diagnosis of COVID-19 disease. However, there is a need to make improvement in distinguishing between viral and bacterial pneumonia patients.

The study created a dataset with images from different sources which impedes a highly successful classification experiment. However, these images taken from different sources rather increased the usage area of the system.

In summary, the proposed deep learning method has the potential to easily overcome difficulties in diagnosing COVID-19 patients in the clinical setting when it is used as an emergency diagnostic tool since it records a high success rate. However, there is a need to train a system with a larger data set and dataset from a single source, which will contribute to increased performance. Thus, an important stage will be achieved for the initial early-stage diagnosis problem of COVID-19.

For future studies, We planned to be expanded with the IoT system, as in similar healthcare-studies in the literature[28]–[30]. In this way, while the patients can be diagnosed remotely, the specialists' increasing workload will be reduced due to the increasing COVID-19 cases. Also, thanks to the data collected through the IoT system, it is possible to overcome the previously mentioned data deficiency problem.

V. REFERENCES

- [1] “Q&A on coronaviruses (COVID-19).” [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/q-a-coronaviruses> (accessed Apr. 09, 2020).
- [2] J. Guarner, “Three Emerging Coronaviruses in Two Decades,” *Am. J. Clin. Pathol.*, vol. 153, no. 4, pp. 420–421, 2020, doi: 10.1093/ajcp/aqaa029.
- [3] N. N. Chathappady House, S. Palissery, and H. Sebastian, “Corona Viruses: A Review on SARS, MERS and COVID-19,” *Microbiol. Insights*, vol. 14, pp. 1–8, 2021, doi: 10.1177/11786361211002481.
- [4] J. Xiao, M. Fang, Q. Chen, and B. He, “SARS, MERS and COVID-19 among healthcare workers: A narrative review,” *J. Infect. Public Health*, 2020, doi: 10.1016/j.jiph.2020.05.019.
- [5] A. Alqudah, S. Qazan, H. Alquran, and I. Qasmieh, “Covid-2019 detection using x-ray images and artificial intelligence hybrid systems,” *Biomed. Signal Image Anal. Proj. Biomed. Signal Image Anal. Mach. Learn. Lab Boca Raton, FL, USA.*, doi: 10.5455/jjee.204-158531224.
- [6] X. Xie, Z. Zhong, W. Zhao, C. Zheng, F. Wang, and J. Liu, “Chest CT for Typical 2019-nCoV Pneumonia: Relationship to Negative RT-PCR Testing,” *Radiology*, 2020, doi: 10.1148/radiol.2020200343.
- [7] C. Huang *et al.*, “Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China,” *Lancet*, vol. 395, no. 10223, pp. 497–506, 2020, doi: 10.1016/S0140-6736(20)30183-5.
- [8] F. Song *et al.*, “Emerging 2019 Novel Coronavirus (2019-nCoV) Pneumonia,” *Radiology*, vol. 295, no. 1, pp. 210–217, 2020, doi: 10.1148/radiol.2020200274.
- [9] A. Abbas, M. M. Abdelsamea, and M. M. Gaber, “Classification of COVID-19 in chest X-ray images using DeTraC deep convolutional neural network,” *Appl. Intell.*, vol. 51, no. 2, pp. 854–864, 2021, doi: 10.1007/s10489-020-01829-7.
- [10] J. P. Cohen, P. Morrison, and L. Dao, “COVID-19 Image Data Collection,” *arXiv*, Mar. 2020.
- [11] S. Wang *et al.*, “A deep learning algorithm using CT images to screen for Corona virus disease (COVID-19),” *Eur. Radiol.*, pp. 1–9, 2021, doi: 10.1007/s00330-021-07715-1.
- [12] “Chest X-Ray Images (Pneumonia) | Kaggle.” [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia> (Accessed Apr. 12, 2020).
- [13] A. M. Alqudah and S. Qazan, “Augmented COVID-19 X-ray Images Dataset,” *Mendeley Data*, vol. 4, 2020, doi: 10.17632/2FXZ4PX6D8.4.
- [14] X. Xu *et al.*, “A Deep Learning System to Screen Novel Coronavirus Disease 2019 Pneumonia,” *Engineering*, vol. 6, no. 10, pp. 1122–1129, 2020, doi: 10.1016/j.eng.2020.04.010.
- [15] M. E. H. Chowdhury *et al.*, “Can AI Help in Screening Viral and COVID-19 Pneumonia?,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 132665–132676, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3010287.
- [16] “SIRM | Italian Society of Radiology.” [Online]. Available: <https://www.sirm.org/en/> (Accessed Apr. 12, 2020).
- [17] “Novel Corona Virus 2019 Dataset | Kaggle.” [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/sudalairajkumar/novel-corona-virus-2019-dataset/kernels> (accessed Apr. 12,

2020).


- [18] E. E.-D. Hemdan, M. A. Shouman, and M. E. Karar, "COVIDX-Net: A Framework of Deep Learning Classifiers to Diagnose COVID-19 in X-Ray Images," *arXiv*, 2020.
- [19] B. Ghoshal and A. Tucker, "Estimating Uncertainty and Interpretability in Deep Learning for Coronavirus (COVID-19) Detection," *arXiv*, 2020.
- [20] A. Narin, C. Kaya, and Z. Pamuk, "Automatic Detection of Coronavirus Disease (COVID-19) Using X-ray Images and Deep Convolutional Neural Networks," *arXiv*, 2020.
- [21] B. Nigam, A. Nigam, R. Jain, S. Dodia, N. Arora, and A. B, "COVID-19: Automatic Detection from X-ray images by utilizing Deep Learning Methods," *Expert Syst. Appl.*, 2021, doi: 10.1016/j.eswa.2021.114883.
- [22] S. Serte and H. Demirel, "Deep Learning for Diagnosis of COVID-19 using 3D CT Scans," *Comput. Biol. Med.*, 2021, doi: 10.1016/j.combiomed.2021.104306.
- [23] C. Szegedy *et al.*, "Going Deeper with Convolutions," in *In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2015, pp. 1–9, doi: 10.1109/CVPR.2015.7298594.
- [24] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks," *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, vol. 25, pp. 1097–1105, 2012, doi: 10.1145/3065386.
- [25] "Web of Science [v.5.34] - Web of Science Core Collection Results." <http://proxy.afyon.deep-knowledge.net/MuseSessionID=0210h3diw/MuseProtocol=http/MuseHost=apps.webofknowledge.com> (Accessed Mar. 31, 2020).
- [26] "ImageNet." [Online]. Available: <http://www.image-net.org/> (Accessed Mar. 31, 2020).
- [27] P. Pawara, E. Okafor, O. Surinta, L. Schomaker, and M. Wiering, "Comparing Local Descriptors and Bags of Visual Words to Deep Convolutional Neural Networks for Plant Recognition," *Int. Conf. Pattern Recognit. Appl. Methods*, vol. 2, pp. 479–486, 2017, doi: 10.5220/0006196204790486.
- [28] C. M. J. M. Dourado, S. P. P. da Silva, R. V. M. da Nóbrega, A. C. Antonio, P. P. R. Filho, and V. H. C. de Albuquerque, "Deep learning IoT system for online stroke detection in skull computed tomography images," *Comput. Networks*, vol. 152, pp. 25–39, 2019, doi: 10.1016/j.comnet.2019.01.019.
- [29] D. N. Le, V. S. Parvathy, D. Gupta, A. Khanna, J. J. P. C. Rodrigues, and K. Shankar, "IoT enabled depthwise separable convolution neural network with deep support vector machine for COVID-19 diagnosis and classification," *Int. J. Mach. Learn. Cybern.*, pp. 1–14, 2021, doi: 10.1007/s13042-020-01248-7.
- [30] R. M. Sarmiento, F. F. X. Vasconcelos, P. P. R. Filho, and V. H. C. de Albuquerque, "An IoT platform for the analysis of brain CT images based on Parzen analysis," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 105, pp. 135–147, 2020, doi: 10.1016/j.future.2019.11.033.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

A Theoretical Study on the Mechanical Significance of Mineralized Collagen Fibril Orientation in Osteonal Lamellar Bone

 Feride Şermin UTKU^{a,*}

^a Department of Biomedical Engineering, Faculty of Engineering, Yeditepe University, İstanbul, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: sermin.utku@yeditepe.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.761512

ABSTRACT

In this study, the effect of orientation of mineralized collagen fibrils on bone mechanical properties relating to bone anisotropy was studied using data obtained from rehydrated lamellar bone samples. The dehydration-rehydration based and experimentally determined contraction, observed in orientations parallel and perpendicular to the osteonal axis was used to calculate bone anisotropy. The sublamellar bone model, with the layered mineralized collagen fibrils rotating at 5° was used. Following this model, the mineralized collagen layers were transformed at 5° relative to the orthogonal axes using a transform matrix. With dehydration, fibril diameter was reduced towards the mineral, forming contraction vectors. The x , y and z intercepts for these vectors were then calculated to give the u , v and w displacements, which gave anisotropy ratios ranging from 0.15266 to 6.55054. Compared with the experimental nanoindentation findings in the literature, there may be an indication of a correlation with the results of sublamellar arrangement at 20° angles. As the lateral indentation used in the anisotropy experiments may involve varying amounts of u and v displacements, the aspect angle of lateral indentation was evaluated in relation to the structural features of the model. This evaluation indicated the larger contribution of v displacement and thus relatively much smaller contribution of u displacement to lateral contraction. These findings indicate the significant effect of the mineralized collagen fibril arrangement on bone anisotropy.

Keywords: Transformation Matrix, Contraction vector, Anisotropy, Mineralized Collagen Fibril Orientation.

Osteonal Lamellar Kemikte Mineralize Kolajen Fibril Yönlenmesinin Mekanik Önemi Üzerine Teorik Çalışma

ÖZET

Bu çalışmada, dehidrasyon-rehidrasyon sonrasında lameler kemik örneklerinden elde edilen veriler kullanılarak, mineralize kolajen fibril yönlenmesinin kemiğin mekanik özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Dehidrasyon-rehidrasyon sonrasında kemiğin osteonal eksenine paralel olan ve dik kesen yönlerde deneysel olarak gelişen çekme kullanılarak, kemiğin anizotropik özellikleri hesaplanmıştır. Sublameller kemik modelinde mineralize kolajen fibrilleri katmanlar halinde ve 5 derecelik açılarla rotasyon yapacak şekilde modellenmiştir. Bu modele göre, mineralize kolajen tabakaları, transformasyon matrisi kullanılarak ortogonal eksenlere 5° açı yapacak şekilde dönüştürülmüştür. Dehidrasyon sonucunda fibril çapı mineral doğrultusunda daralmış, çekmeye bağlı bir deplasman vektörü oluşturmuştur. Vektörlerin x , y ve z eksenlerindeki izdüşümleri, u , v ve w deplasmanları hesaplanarak, 0,15266-6,55054 aralığında anizotropi oranları bulunmuştur. Literatürdeki deneysel nanoindentasyon verileriyle kıyaslandığında, sonuçlar, sublamellerin yaklaşık 20 derecelik açılarla düzenlenmiş olabileceğini göstermiştir. Anizotropi deneylerinin bir unsuru olan lateral indentasyon farklı oranlarda u ve v deplasmanları içerebileceğinden, lateral indentasyon açısı modelin yapısal özellikleri bağlamında

değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin sonucunda, v deplasmanının lateral çekmeye u deplasmanından daha fazla katkıda bulunduğu görülmektedir. Bulgular, mineralize kolajen fibrillerinin sublamellar düzenlenmesinin kemiğin anizotropisine olan önemli katkısını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Transformasyon Matrisi, Büzülme vektörü, Anizotropi, Mineralize Kolajen Fibril Yönlenmesi.

I. INTRODUCTION

As a hierarchical, anisotropic, fiber-reinforced composite, composed of organic and inorganic components within a hydrating medium [1]-[9], bone structure and the lamellar organization of collagen fibrils have been studied using various indentation techniques at different levels of scale [10].

At the most basic level, the bone mineral and the collagen fibril associate with each other and form the higher organized, hierarchical structures ranging from the sublamellae to lamellae, osteons and other higher lamellar structures. The bone lamella (6-8 μm thick) (Fig. 1) consists of 2-3 μm thick sublamellae [9] organized in a fanning arrangement [9],[11]. The collagen fibrils rotate in relation to the lamellar front in 2D, and the mineral planes [9],[11] rotate in relation to both the collagen fibrils and the lamellar front in 3D [12]-[15]. The 23 wt% collagen fibrils and the 65 wt% mineral are hydrated by 12 wt% bone fluid [5],[12],[16]-[20], present in the gaps within the fibril, between the fibrils and the fibers [13],[21]-[26]. The collagenous layers [8],[2],[23], the level of mineralization as well as the mineral plate orientation [27]-[28] determine bone mechanical behavior as displayed in the nanoindentation studies [29]-[31].

The dehydration caused dimensional changes in bone have been studied in the environmental scanning electron microscope (ESEM) as wet, dry and rehydrated samples [8]. The results of that study have indicated that in the longitudinal (Plane 2 in Fig. 1) and transverse (Plane 1 in Fig. 1) cross-sections of bone, if the specified length of a given segment is measured perpendicular and parallel to the lamellae before and after dehydration, the difference in length varies as a function of the orientation of that segment. In the longitudinal cross-sections exposing Plane 2 in Fig. 1, radially $1.19\pm 0.78\%$ and axially $-0.12\pm 0.75\%$, and in the transverse cross-sections exposing Plane 1 in Fig. 1, radially $1.39\pm 0.87\%$ and tangentially $1.41\pm 0.57\%$ change in dimension has been observed at 28% relative humidity under the ESEM [8]. The axial contraction results have displayed a high standard deviation and a wide range (-4.64% to 4.52%).

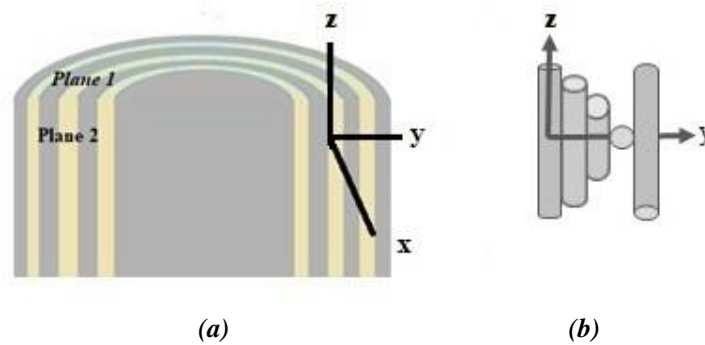


Figure 1. (a) Osteonal bone lamellae are displayed as striped layers, with each stripe (designating a lamella) containing the sublamellae of mineralized collagen fibrils [11]. As a result of dehydration, contraction in the organic content is displayed as axial displacement, where w is axially oriented along the long shaft of bone (along the z axis), displacement v is radially oriented (along the y axis), and displacement u is tangentially oriented (along the x axis). Plane 1 indicates the transverse surface cut of the long axis of bone and Plane 2 indicates the surface exposed by the longitudinal cut along the long bone. (b) depiction of the sublamellae within the lamella given in (a) as yellow or gray stripes.

In that study, the change in dimension was considered to be due to loss of water in the organic component (Fig. 2a). Therefore, in this study, with dehydration, the soft organic component of the mineralized collagen fibril (MCF) is assumed to contract towards the hard inorganic component (Fig. 2b); thus, creating a directional contraction, which is termed as a contraction vector.

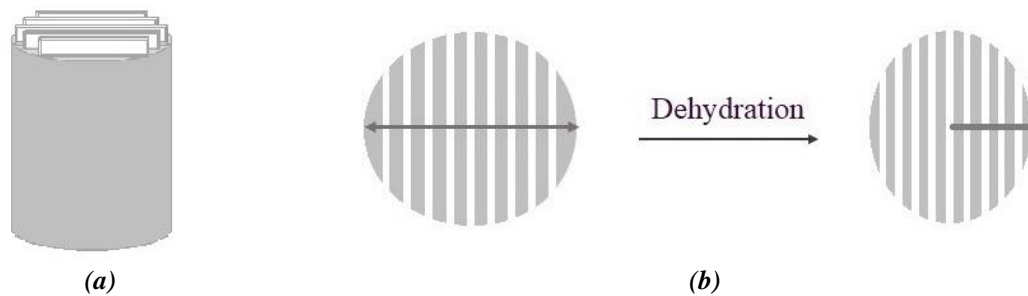


Figure 2. (a) The MCF depicting the mineral plates within the collagen fibril, which associates with water through hydrogen bonds. (b) The collagen fibril depicted as wet (left) and dry (right) where the plates approach each other having lost the water within and between the collagen fibrils and the plates. As the reduction in diameter is guided by the mineral plate and is directional, it is named as the contraction vector. The organic matrix in each MCF contracts (loses dimension) towards the mineral plate contained within that fibril. Here, the direction of contraction, termed as the contraction vector, is marked with an arrow.

Using the basic osteonal lamellar bone model of rotated plywood collagen fibrils [11], the indirect effect of water on bone mechanical properties was theoretically studied at the lamellar length scale. This was carried out by studying the percent change in dimension taking place between dehydrated and rehydrated osteonal lamellar bone models with collagen fibrils oriented at various angles. The results obtained here were compared with the literature [10],[29]-[31] on dimensional changes that occur in the osteonal lamellar bone with dehydration and rehydration.

II. MATERIALS AND METHODS

A. MATERIALS

The working model considered here, i.e. the rotated plywood model, is a single lamella of an osteonal long bone with the axially, tangentially and radially oriented MCFs (with the main orientation being axial (z-axis) and tangential (x-axis)) [2,15]. Radial (y-axis) orientation of fibrils is observed mainly along the canaliculi and Volkman's canals [4]. According to this model, the collagen fibrils are stacked radially rotating at about 30° angles and the mineral plates within each collagen fibril rotating at 30° angles about themselves [11].

B. METHODS

B. 1. Modification of the Model

Here, the standard rotated plywood model of osteonal bone was modified to consist of twenty-five sublamellae (S), with collagen fibrils (S-0 to S-24) stacked about the y-axis at 5° angles on the x-z plane. The axially oriented collagen fibrils of 0° sublamella (S-0, along the z-axis [001]), rotated about the y-axis at 5° rotation steps through the 90° sublamellae (S-18, along the y-axis [100]) and up to S-24 at 120° (Fig. 3a).

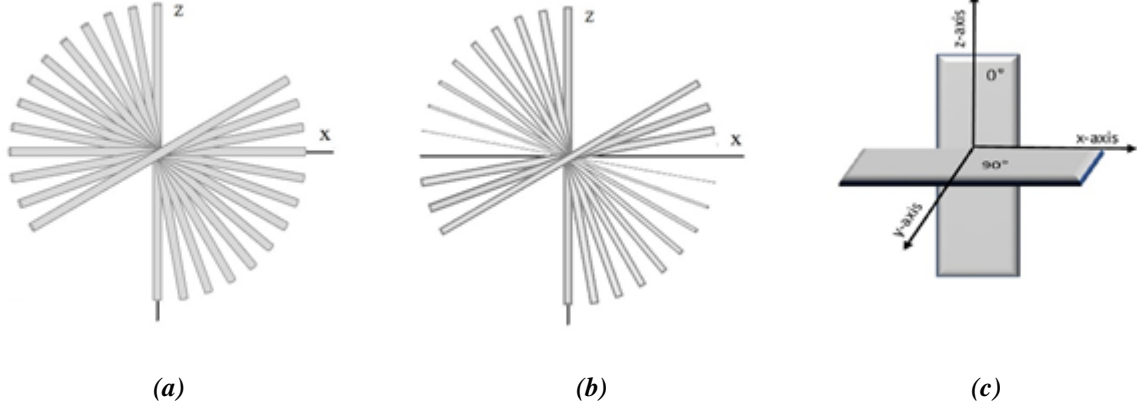


Figure 3. (a) the collagen fibrils of the sublamellae (of a lamella) stacked about the y axis, with fibrils rotating at 5° angles on the x-z plane, (b,c) the mineral plates of the collagen fibrils stacked along the y axis, with mineral plates rotating at 5° angles not only on the x-z plane, but also about themselves.

The mineral planes were angulated at 5° intervals ranging between 0°-120°. The mineral plate contained in the S-0 collagen fibril was oriented to intercept the y-axis at the origin forming the (010) plane (Fig. 3b-c), while the mineral plate contained in the S-18 collagen fibril was oriented to intercept the z-axis forming the mineral plane (001). The mineral planes were transformed in 3D about the x, y and z axes at 5° angles within the fibril of each sublamella, from 0° up to 90° (S-0 to S-18) and repeat the values of 5° up to 30° angles between S- 20 to S-24.

The generalized average orientations and angular rotations for the collagen fibrils and mineral planes are obtained using the transformation matrix given in equations (eqs. 1-7) within the 0°-120° range.

$$T_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$T_y = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$T_z = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$n_y = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$n_z = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\text{Collagen fibril orientation represented by a unit vector} = T_y * n_z \quad (6)$$

$$\text{Contraction in collagen fibril represented by a unit vector} = T_y * T_x * T_z * n_y \quad (7)$$

T_x , T_y , and T_z denote the transformation matrices with respect to the x, y and z axes, while n_y and n_z denote the vectors oriented along the y and z axes. The orientation of the collagen fibril was calculated using eq. 6; while the transformation of the mineral plate orientation (indicating contraction of the collagen fibril towards the mineral plate) was calculated using eq. 7. The contraction in the oriented MCFs was then studied intermittently at every 5°, 10°, 15°, 20°, 30° or 40° angles from 0° up to 120°.

B. 2. Calculation of Dimensional Change

The 1.4% peraxial dimensional change in sublamella [8] was calculated for the 5° angles, assuming that the direction of contraction is normal to the mineral plate. The peraxial projection of the contraction vector of the dehydrated fibril was given as u_a , v_a and w_a using the transformation matrices. Contraction as displacement (given as the absolute values of u_a , v_a and w_a) was summed at the angles stated above to give u_{at} (sum of all u_a), v_{at} (sum of all v_a), and w_{at} (sum of all w_a). Total contraction per axis was calculated in units by multiplying the radius of a collagen fibril, r , by 1.4%, and then, by the sum of displacements in the respective axes, using eq. 8. For a total displacement in the x axis,

$$u_{at} = r'(\sum u(a)) \quad (8)$$

where r' is the magnitude of contraction of the collagen fibril and a is the angle. For $a=40^\circ$, $u_{40t} = r'(\sum u(40^\circ))$ is the sum of displacements in multiples of 40° angles (Fig. 3). The reasoning behind this summation is that dehydration is a cumulative process, leading to the warping of bone samples.

B. 3. Calculation of Anisotropy Ratios

The amount of contraction was then used to calculate the mechanical anisotropy in the osteonal lamellae. These results were compared with the anisotropy of elastic modulus data obtained by nanoindentation (where the elastic modulus for Plane 1 was divided by that of Plane 2 as shown in Fig. 4a) [10]. Similarly, here, the anisotropy ratios (AnR) for the sum of contraction values for Plane 1 (w_{at}) was divided by those obtained perpendicular to the osteonal axis (described as “lateral indentations” i.e., as “ u_{at} ” or “ v_{at} ”).

To demonstrate the possible variation in experimental data acquired by nanoindentation due to the aspect of the indenter to the sublamellae in the study of Faingold et al. [10], here, the effect of lateral indentation direction in Plane 2 (Fig. 4a) was evaluated where the indenter aspect angle varied between angles 0° through 120° (Fig. 4b). The purpose was to determine the effect of lamellar features on the anisotropy ratios as the lateral indenter moves from the y-axis alignment to the x-axis alignment and further.

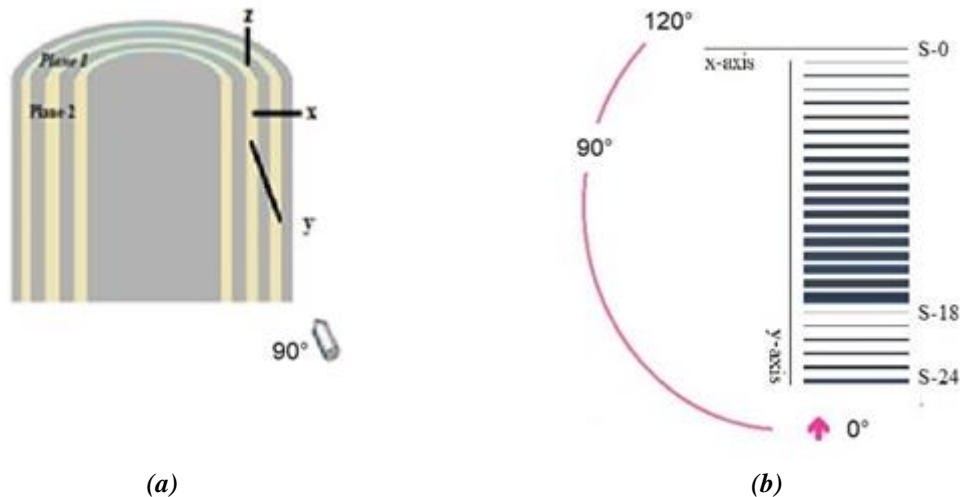


Figure 4. (a) The nanoindentor probe approaches Plane 2 perpendicularly, normal to the bone surface. (b) The sublamellar layers as observed in a transverse cross-section, or along the z-axis. As depicted in Figure 4a, although the nanoindentor probe approaches the surface perpendicularly, it may intercept the MCFs of the sublamellae at angles ranging from 0° to 120° . Thus, the major elastic contribution to indentation varies as a function of the intercepted MCF angle.

III. RESULTS

The results of this study indicate that the radius of the MCF (r), taken as 1 unit (or 1.5 nm) in the hydrated state, contracted by 1.4%, to give the contraction magnitude (r') of 0.014 units. Using the transformation matrices and unit vectors (eqs. 1-7), the 5° sublamellar collagen fibril angulations about the y-axis and the contraction vector orientations of the minerals were calculated (eq. 8) (Table 1).

Table 1. Peraxial intercepts of MCF orientations and the contraction unit vector per sublamellar layer.

Sublamellar Layer	Collagen Fibril Orientations			Contraction Vector		
	X axis	Y axis	Z axis	u	v	w
S-00	0.00000	0	1.00000	0.00000	1.00000	0.00000
S-05	-0.08716	0	0.99619	0.07926	0.99240	0.09409
S-10	-0.17365	0	0.98481	0.14131	0.96985	0.19857
S-15	-0.25882	0	0.96593	0.18530	0.93301	0.30847
S-20	-0.34202	0	0.93969	0.21147	0.88302	0.41899
S-25	-0.42262	0	0.90631	0.22115	0.82139	0.52574
S-30	-0.50000	0	0.86603	0.21651	0.75000	0.62500
S-35	-0.57358	0	0.81915	0.20035	0.67101	0.71387
S-40	-0.64279	0	0.76604	0.17589	0.58682	0.79038
S-45	-0.70711	0	0.70711	0.14645	0.50000	0.85355
S-50	-0.76604	0	0.64279	0.11520	0.41318	0.90334
S-55	-0.81915	0	0.57358	0.08497	0.32899	0.94050
S-60	-0.86603	0	0.50000	0.05801	0.25000	0.96651
S-65	-0.90631	0	0.42262	0.03589	0.17861	0.98327
S-70	-0.93969	0	0.34202	0.01938	0.11698	0.99295
S-75	-0.96593	0	0.25882	0.00852	0.06699	0.99772
S-80	-0.98481	0	0.17365	0.00260	0.03015	0.99954
S-85	-0.99619	0	0.08716	0.00033	0.00760	0.99997
S-90	-1.00000	0	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000
S-95	-0.99619	0	-0.08716	0.07926	0.99240	0.09409
S-100	-0.98481	0	-0.17365	0.14131	0.96985	0.19857
S-105	-0.96593	0	-0.25882	0.18530	0.93301	0.30847
S-110	-0.93969	0	-0.34202	0.21147	0.88302	0.41899
S-115	-0.90631	0	-0.42262	0.22115	0.82139	0.52574
S-120	-0.86603	0	-0.50000	0.21651	0.75000	0.62500
Σ Contraction, 5° angles				2.95759	14.84967	15.48332
Σ Contraction, 10° angles				1.50966	7.60287	8.13784
Σ Contraction, 15° angles				1.01660	5.18301	5.68472
Σ Contraction, 20° angles				0.80579	4.46984	3.99899
Σ Contraction, 30° angles				0.49103	2.75000	3.21651
Σ Contraction, 40° angles				0.39500	2.36697	2.41492

The mineral plane rotation as well as the contraction of the MCFs in the x, y and z axes are listed as displacements u , v and w (Table 1). The total angular contraction of the sublamellar MCFs at every 5°, 10°, 15°, 20°, 30° and 40° angles are listed as total displacements u_t , v_t and w_t for each lamella (Table 1). In this model, u_{at} was the minimum displacement observed at all angle intervals, while at 5°, 10°, 15° and 30° and 40° intervals, w_{at} , and at 20° angle intervals, v_{at} displayed maximum contraction. The AnR ratios of the MCF contraction (as w_{at}/v_{at} or w_{at}/u_{at}) were calculated, listed in Table2 and compared with the literature [10].

Table 2. Calculated AnR values derived from total contraction summed at multiples of angles.

	5°	10°	15°	20°	30°	40
W_{at}/V_{at}	1.04267	1.07046	1.09679	0.89466	1.16964	1.02026
W_{at}/U_{at}	5.23511	5.39051	5.59189	4.96282	6.55054	6.11372
V_{at}/W_{at}	0.95908	0.93426	0.91174	1.11774	0.85496	0.98014
U_{at}/W_{at}	0.19102	0.18551	0.17883	0.20150	0.15266	0.16357

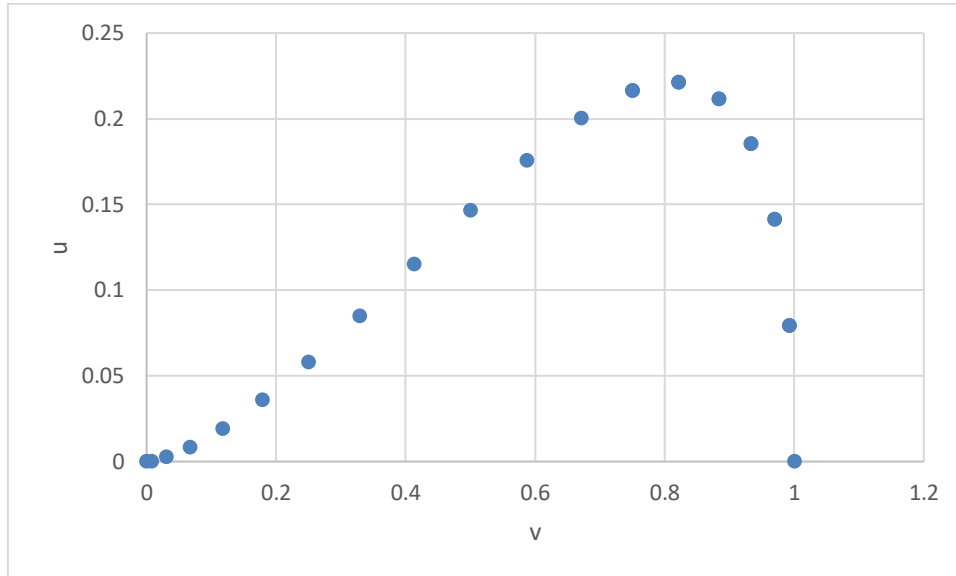


Figure 5. The distribution of the u and v displacements of the sublamellae at angles ranging from 0° to 120° . The dominant contribution to contraction is from the v component, while the u component displays the highest contribution at 25° , i.e. S-05 sublamella.

The distribution of u and v displacements (Table 1 and Fig. 5) indicates that the v component displays higher values than the u component, implying that the v displacement is the major contributor to tissue reaction during nanoindentation [10].

IV. DISCUSSION

In this study, the dehydration-rehydration based contraction in bone lamellae was modelled on the assumption that the collagen contracted towards the mineral plate with dehydration. The model demonstrated the important contribution of the contracted MCF orientation to bone AnR values, which ranged from 0.15266 to 6.55054. Considering the various MCF angular orientations (varying between 5° - 40° angles) [9], the results for the MCFs oriented at 20° angles gave an AnR (w/v) of 0.89 and an AnR (v/w) of 1.12, which correlated to some extent with the experimental AnR data for wet bone of 0.80 and dry bone of 1.13 respectively [10]. The results of this study also indicated a prominent axial contraction, which has not been previously discussed in the literature.

The effect of dehydration-rehydration based contraction on osteonal lamellar bone mechanical properties and anisotropy has been studied in orientations relative to the osteonal axis [6]-[8]. The results indicate differences in lamellar AnR values between the dehydrated and hydrated osteonal bone samples by nanoindentation [10],[29]-[31]. As water associates mainly with collagen in the MCF, dehydration caused contraction involves mainly the compliant element. The capacity of the fibrils to contract or deform [10] is associated here with the compliant element in wet bone, resulting in an AnR_c (w/v) of 0.89. Inversely, in dry bone, the dehydration based AnR ratio is defined as the ratio of resistance to contraction (AnR_r), or the capacity of the fibrils to resist deformation due to the resistive element in dry bone, resulting in an AnR_r (v/w) of 1.12.

The length scale and MCF orientation are important factors in bone anisotropy as the variation in fibril orientation changes across the osteon from axial (close to the Haversian canal) to angular (towards the cement line) [14], generating prestresses in bone [32]. The aspect of lateral nanoindentation (Fig. 4) may also affect the experimental results [32], which appear to correlate with the w/v and v/w AnRs (instead of w/u and u/w AnRs) obtained in this study. This implies that results of nanoindentation into Plane 2

may be the summation of tissue response arising from both tangential (u_{at}) and radial displacements (v_{at}). In fact, the results demonstrate that in all angles the v displacements, being much larger than the u displacements, contribute more to the mechanical properties and thus lateral nanoindentation results may be largely governed by the v displacements (Fig. 5) [8].

In summary, bone properties vary greatly by the length scale, composition, mineral content, sampling site and sample orientation. At the lamellar length scale, the sublamellar patterning may be organized approximately at 20° angles, with a considerable amount of axially arranged contracting elements in the sublamellae, contributing to the osteonal bone mechanical properties than previously discussed.

IV. CONCLUSION

The results of this study indicate presence of not only radially and tangentially but also axially oriented elements sensitive to hydration. According to the results of this theoretical study, anisotropy caused by sublamellar patterning organized at 20° angles affects bone contraction/expansion properties both experimentally and theoretically. The AnR results of the model suggested here imply that the length scale and MCF orientation may be important affectors of the mechanical properties of bone as a hierarchically organized composite.

ACKNOWLEDGEMENTS: I would like to thank Dr. Onur Cem Namlı, from the Mechanical Engineering Department, Yeditepe University, Istanbul, Turkey, for his valuable contribution to the confirmation of the results by computation and preliminary reading of this paper.

V. REFERENCES

- [1] R. Robinson and M. L. Watson, "Collagen-crystal relationships in bone as seen in the electron microscope." *Anat. Rec.*, vol. 114, no. 32, pp. 383–410, 1952, doi:10.1002/ar.1091140302.
- [2] A. Ascenzi and E. Bonucci, "The tensile properties of single osteons," *Anat. Rec.*, vol. 158, no. 4, pp. 375-386, 1967, doi: 10.1002/ar.1091580403.
- [3] S. Nomura, A. Hiltner, J. B. Lando, and E. Baer, "Interaction of water with native collagen," *Biopolymers*, vol. 16, no. 2, pp. 231-246, 1977, doi: 10.1002/bip.1977.360160202.
- [4] S. Weiner and H. D. Wagner, "The material bone: Structure mechanical function relations," *Annu. Rev. Mater. Sci.*, vol. 28, pp. 271-298, 1998, doi: 10.1146/annurev.matsci.28.1.271.
- [5] S. C. Cowin, "Mechanosensation and fluid transport in living bone," *J Musculoskelet. Neuronal Interact.*, vol. 2, no. 3, pp. 256-260, 2002.
- [6] V. Ziv, I. Sabanay, T. Arad, W. Traub, and S. Weiner, "Transitional structures in lamellar bone," *Microsc. Res. Techniq.*, vol. 33, no. 2, pp. 203-213, 1996.
- [7] P. Fratzl and R. Weinkamer, "Nature's hierarchical materials," *Prog. Mater. Sci.*, vol. 52, no. 8, pp. 1263-1334, 2007.
- [8] F. S. Utku, E. Klein, H. Saybasili, C. A. Yucesoy, and S. Weiner, "Probing the role of water in lamellar bone by dehydration in the environmental scanning electron microscope," *J. Struct. Biol.*, vol. 162, no. 3, pp. 361-367, 2008, doi: 10.1016/j.jsb.2008.01.004.

- [9] N. Reznikov, R. Shahar, and S. Weiner, "Bone hierarchical structure in three dimensions," *Acta Biomater.*, vol. 10, no. 9, pp. 3815-3826, 2014, doi: 10.1016/j.actbio.2014.05.024.
- [10] A. Faingold, S. R. Cohen, R. Shahar, S. Weiner, L. Rapoport, and H. D. Wagner, "The effect of hydration on mechanical anisotropy. topography and fibril organization of the osteonal lamellae," *J Biomech.*, vol. 47, no. 2, pp. 367-372, 2014, doi: 10.1016/j.jbiomech.2013.11.022.
- [11] M. M. Giraud-Guille, "Twisted plywood architecture of collagen fibrils in human compact-bone osteons," *Calcif. Tissue Int.*, vol. 42, no. 3, pp. 167-180, 1988, doi: 10.1007/BF02556330.
- [12] S. Weiner and W. Traub, "Bone structure: from angstroms to microns," *FASEB J.*, vol. 6, no. 3, pp. 879-895, 1992.
- [13] W. Wagermaier, H. S. Gupta, A. Gourrier, M. Burghammer, P. Roschger, and P. Fratzl, "Spiral twisting of fiber orientation inside bone lamellae," *Biointerphases*, vol. 1, no. 1, pp. 1-5, 2006, doi: 10.1116/1.2178386.
- [14] G. Marotti, "A new theory of bone lamellation," *Calcif. Tissue Int.*, vol. 53, Suppl. 1, pp. S47-S56, 1993, doi: 10.1007/BF01673402.
- [15] J. D. Currey, "The Structure of Bone Tissue," in *Bones: Structure and Mechanics*, 1st. ed. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 2002, ch. 1, pp. 2- 25.
- [16] H. D. Wagner and S. Weiner, "On the relationship between the microstructure of bone and its mechanical stiffness," *J Biomech.*, vol. 25, no. 11, pp. 1311-1320, 1992, doi: 10.1016/0021-9290(92)90286-a.
- [17] C. J. Newcomb, R. Bitton, Y. S. Velichko, M. L. Snead, and S. I. Stupp, "The role of nanoscale architecture in supramolecular templating of biomimetic hydroxyapatite mineralization," *Small*, vol. 8, no. 14, pp. 2195-2202, 2012, doi: 10.1002/sml.201102150.
- [18] N. Reznikov, R. Shahar, and S. Weiner, "Three-dimensional structure of human lamellar bone: the presence of two different materials and new insights into the hierarchical organization," *Bone*, vol. 59, pp. 93-104, 2014, doi: 10.1016/j.bone.2013.10.023.
- [19] N. Reznikov, J. A. M. Steele, P. Fratzl, and M. M. Stevens, "A materials science vision of extracellular matrix mineralization," *Nat. Rev. Mater.*, vol. 1, Art. no. 16041, 2016, doi: 10.1038/natrevmats.2016.41.
- [20] E. E. Wilson, A. Awonusi, M. D. Morris, D. H. Kohn, M. M. Tecklenburg, and L. W. Beck, "Three structural roles for water in bone observed by solid-state NMR," *Biophys. J.*, vol. 90, no. 10, pp. 3722-3731, 2006, doi: 10.1529/biophysj.105.070243.
- [21] W. J. Landis, M. J. Song, A. Leith, L. McEwen, and B. F. McEwen, "Mineral and organic matrix interaction in normally calcifying tendon visualized in 3 dimensions by high-voltage electron-microscopic tomography and graphic image-reconstruction," *J. Struct. Biol.*, vol. 110, no. 1, pp. 39-54, 1993, doi: 10.1006/jsbi.1993.1003.
- [22] E. D. Eanes, D. R. Lundy, and G. N. Martin, "X-Ray diffraction study of the mineralization of turkey leg tendon," *Calcif. Tissue Res.*, vol. 6, no. 3, pp. 239-248, 1970, doi: 10.1007/BF02196204.
- [23] E. D. Eanes, G. N. Martin, and D. R. Lundy, "The distribution of water in calcified turkey leg tendon," *Calcif. Tissue Res.*, vol. 20, no. 3, pp. 313-316, 1976, doi: 10.1007/BF02546418.

- [24] L. C. Bonar, S. Mook, and H. A. Lees, "Neutron-diffraction studies of collagen in fully mineralized bone," *J. Mol. Biol.*, vol. 181, no. 2, pp. 265-270, 1985, doi: 10.1016/0022-2836(85)90090-7.
- [25] D. Magne, P. Weiss, J. M. Bouler, O. Laboux, and G. Daculsi, "Study of the maturation of the organic (Type I collagen) and mineral (nonstoichiometric apatite) constituents of a calcified tissue (dentin) as a function of location: A Fourier transform infrared microspectroscopic investigation," *J. Bone Miner. Res.*, vol. 6, no. 4, pp. 750-757, 2001, doi: 10.1359/jbmr.2001.16.4.750.
- [26] W. J. Landis, "The strength of a calcified tissue depends in part on the molecular structure and organization of its constituent mineral crystals in their organic matrix," *Bone*, vol. 16, no. 5, pp. 533-544, 1995, doi: 10.1016/8756-3282(95)00076-p.
- [27] M. Fois, A. Lamure, M. J. Fauran, and C. Lacabanne, "Study of human cortical bone and demineralized human cortical bone viscoelasticity," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 79, no. 14, pp. 2527-2533, 2001, doi: 10.1002/1097-4628(20010401)79:14<2527.
- [28] D. Liu, H. D. Wagner, and S. Weiner, "Bending and fracture of compact circumferential and osteonal lamellar bone of the baboon tibia," *J Mater. Sci. Mater. Med.*, vol. 11, no. 1, pp. 49-60, 2000, doi: 10.1023/a:1008989719560.
- [29] Z. Fan, J. G. Swadener, J. Y. Rho, M. E. Roy, and G. M. Pharr, "Anisotropic properties of human tibial cortical bone as measured by nanoindentation," *J Orthop. Res.*, vol. 20, no. 4, pp. 806-810, 2002, doi: 10.1016/S0736-0266(01)00186-3.
- [30] P. E. Riches, N. M. Everitt, A. R. Heggie, and D. S. McNally, "Microhardness anisotropy of lamellar bone," *J Biomech.*, vol. 30, no. 10, pp. 1059-1061, 1997, doi: 10.1016/s0021-9290(97)00075-4.
- [31] A. Faingold, S. R. Cohen, N. Reznikov, and H. D. Wagner, "Osteonal lamellae elementary units: Lamellar microstructure, curvature and mechanical properties," *Acta Biomater.*, vol. 9, no. 4, pp. 5956-5962, 2013, doi: 10.1016/j.actbio.2012.11.032.
- [32] M-G. Ascenzi, "A first estimation of prestress in so-called circularly fibered osteonic lamellae," *J Biomech.*, vol. 32, no. 9, pp. 935-942, 1999, doi:10.1016/s0021-9290(99)00080-9.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

3D Electromagnetic Analysis and Optimization of Metamaterial Constructed by SRR Using the MOGA Algorithm for Performance Improvement

 Ismail TOPALOGLU^{a,*}

^a Department of Electric Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Cankiri Karatekin University, Cankiri, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: itopaloglu@karatekin.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.885029

ABSTRACT

The study presents 3D electromagnetic analysis and optimization of metamaterial constructed split ring resonator. The analysis was carried out under electromagnetic analysis conditions by using electromagnetic boundary conditions master and slave. The operating frequency range, in other words the performance characteristic, has been analysed from 1 GHz to 20 GHz. The split-ring resonator design has been analysed on triple co-axes in accordance with its actual use. Surface current density, electric field strength and magnetic field strength values were examined in the analysis. Metamaterial based split-ring resonators are used in many fields. Today, it has many applications as measurement and sensor or as antenna in 5G applications. In order to obtain a suitable design at high frequencies, micron-level designs are required. Newly developed objective functions are presented in the study. In this study, good results were obtained with an optimized SRR design by using multi-objective genetic algorithm in the range up to 20 GHz that can achieve negative refractive index capacity. These results are presented in the study with the relationship between permittivity and permeability. Furthermore, when the results obtained from the design are examined, it is seen that it is suitable for wireless applications. Performance improvement have been carried out SRR negative refractive index capacity which before has 11 GHz was increased to 15.5 GHz.

Keywords: Resonator, Electromagnetic, Optimization, MOGA, SRR.

Meta-malzeme Yapılı Ayrık Halka Rezonatörün Performans İyileştirmesi için MOGA Algoritması Kullanılarak Üç Boyutlu Elektromanyetik Analizi ve Optimizasyonu

ÖZET

Çalışma, meta-malzeme yapılı ayrık halka rezonatörün 3D elektromanyetik analizini ve optimizasyonunu sunar. Analiz, elektromanyetik analiz koşulları altında, ana ve bağımlı elektromanyetik sınır koşulları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma frekansı aralığı yani performans özelliği 1 GHz'den 20 GHz'e kadar frekans aralığında analiz edilmiştir. Ayrık halkalı rezonatör tasarımı, gerçek kullanımına uygun olarak üçlü eş eksenler üzerinde analiz edilmiştir. Analizde yüzey akım yoğunluğu, elektrik alan şiddeti ve manyetik alan şiddeti değerleri incelenmiştir. Meta-malzeme yapılı ayrık halka rezonatörler birçok alanda kullanılmaktadır. Günümüzde 5G uygulamalarında ölçüm ve sensör veya anten olarak birçok uygulama alanına sahiptir. Yüksek frekanslarda uygun bir tasarım elde etmek için mikron seviyesinde tasarımlara ihtiyaç vardır. Yeni geliştirilmiş amaç fonksiyonları çalışmada sunulmuştur. Bu çalışmada, negatif kırılma indisi kapasitesine ulaşabilen 20 GHz'e kadar çok amaçlı genetik algoritma kullanılarak optimize edilmiş bir SRR tasarımı ile iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, çalışmada geçirgenlik ve geçirgenlik arasındaki ilişki ile sunulmuştur. Ayrıca tasarımdan elde edilen sonuçlar

incelendiğinde kablosuz uygulamalara uygun olduğu görülmektedir. Daha önce 11 GHz olan SRR negatif kırılma indisi kapasitesi performans iyileştirmesi ile 15.5 GHz'e çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rezonatör, Elektromanyetik, Optimizasyon, MOGA, SRR.

I. INTRODUCTION

Recently, split-ring resonators have been used in many fields from healthcare to materials science, from antenna to sensor [1]. Its wide use has increased the interest in split-ring resonators. The fact that its geometric shapes can be changed which is one of its biggest advantages [2-3]. Metamaterial, an artificially structured substance with exceptional electromagnetic characteristics that are not, or are not readily, accessible in nature [4]. Since the early 2000s, metamaterials in physics, electrical engineering, materials research, optics and nanoscience have grown into a fast-growing interdisciplinary field [5].

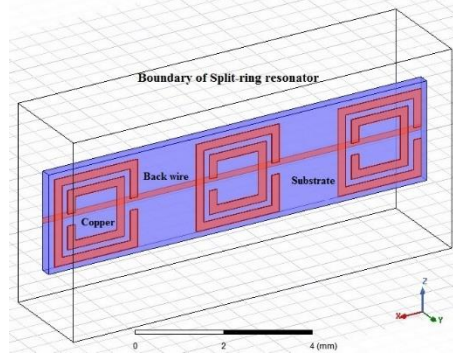


Figure 1. Split-ring resonator model

The properties of metamaterials are suited to their internal physical configuration by controlling them. This varies strikingly from natural materials, whose properties are determined primarily by their chemical elements and their interactions [6-7]. Metamaterial consists of artificial objects that are regularly or randomly spaced out that are much smaller in scale and spacing than the wavelengths of electromagnetic input [8]. As a consequence, the wave cannot overcome the microscopic information of these internal structures. For instance, it is hard to see the features of metamaterials which work with visible light at optical wavelengths and electromagnetic radiation of a shorter wavelength, such as an X-ray, for image and scan. Researcher can estimate the assembly and description of their efficient material properties on a macroscopically basis of inhomogeneous individual structures as a continuous product [9-11]. The two main parameters which qualify the electromagnetic characteristics environment are electrical permittivity (ϵ) and magnetic permeability (μ) [12]. Both parameters can be changed and now commonly used structures such as metallic wire arrays and Split-Ring Resonators (SRRs) [13]. The electric permittivity (measurement of the tendency of the electric charge within the material to decrease in electric field) can be “adjusted” to the desired value by changing the width and size of elements within metal wire arrays [14]. SRRs consist of one or two rings or squares which have a gap through which the magnetic permeability of a material can be created [15]. If an SRR is put in an external magnetic field which oscillates in the resonance frequency of the SRR, electrical current flows around the coil, which causes a small magnetic effect called a dipole magnetic moment [16-19]. With the outward oscillating field the induced dipole moment in the satellite radiography may be calibrated for a positive or negative magnetic permeability either in or out step. Thus, even though the metal used to create the SRR is non magnet, an artificial magnetism can be obtained [20-22]. Analysing such small size electromagnetic devices and sensors in two dimensions is not preferred. Very small electric field generation or surface current density on small surfaces can cause undesirable phenomena in high frequency applications. For this, making a real three-dimensional design that includes all small surfaces in the calculation will provide realistic results in the analysis. It is expected that the dimensions of the electromagnetic device pre-designed for this analysis will be simulated in all details in the analysis model. In this way, it will

be possible to obtain more precise results by establishing a detailed mesh for the regions to be analysed. The SRR model used in this study is in micron dimensions.

In response to an electromagnetic oscillating field, SRR could create an effect of being electrically smaller. The synthesis of the left hand and negative index media are used when the importance of the negative productive permeability due to the existence of the SRRs is required. When an assortment of electro-small SRRs is excited through a changing duration of magnetic field, the arrangement serves as an effective medium in a narrow band over SRR resonance [23]. The first proof of a negative refraction index was regularly assigned to the collection of SRR [24]. This proof was based on square shaped Split ring resonators in the form of a periodical, mounted cell arrangement with lined wire configuration [25]. There are various types of split-ring resonators, especially the negative refractive index. On other hand, most of the SRRs have a gap [26-27]. That is to say, each ring has a gap in its dual-ring configuration [28]. The 1-D Split Ring Structure has two square triangles, one inside [29]. The arrangement of the symmetrical ring is distinct. The structure of the Omega has a ring-structure, as the nomenclature explains [30]. The pairing form “S” was another modern metamaterial [31-35].

In this study, three-dimensional model of SRR, which was pre-designed by numerical calculation, was created with Ansoft HFSS program and boundary conditions were determined under electrostatic analysis conditions. The model created to be close to its real application that is not from a single SRR, but with triple placement and back conductor similar to the real life application and simulated for analysis. Objective functions were developed by using analysed parameters and SRR geometric dimension parameters to improve the performance of the analysed model. Performance improvement has been achieved with the multi-objective genetic algorithm (MOGA). Results from FEA, optimization results and other detailed evaluations are discussed in detail in the results section. The algorithm used for optimization includes a genetic evolutionary calculation method. Optimization of such a detailed and three-dimensional model with many parameters; it only takes weeks to prepare the simulation model. The solution to the problem takes months. Although the information processing speed of computers increases, the data and dimensions of the models simulated and analysed are also increasing at the same rate. The design values, boundary conditions, excitation areas and other details of the analysis were explained in detail in the study. It can be seen in Figure 1 designed SRR model.

II. THREE DIMENSIONAL ANALYSIS OF SPLIT-RING RESONATOR

A. DESIGN OF SPLIT-RING RESONATOR

It is necessary to create a model that includes all the details of the model to be electromagnetic analysis. Material selection should be made for the design whose model is created. It is necessary to know all the electrical and electromagnetic values of the selected material in terms of compliance with the real model. The design information of designed SRR in this study is presented in the study. Figure 2 shows the SRR geometric parameters of the designed model.

The split-ring resonator design varies according to the area where it will be used, health, antenna, and sensor as well as measuring and emitting. But basically they are designed on the basis of this situation as they operate at the point where the resonance frequency is captured. The model of SRR designed in this study is shown in Figure 2.

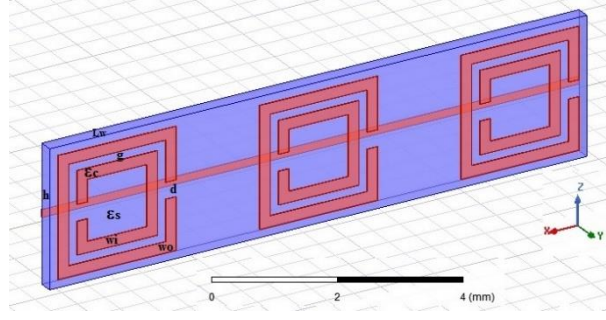


Figure 2. Geometric parameters of designed SRR

In Figure 2, h is height of substrate, g is gap between rings, L_w is substrate width, w_i is width of inner ring, w_o is width of outer ring, d is width of slit in ring, ϵ_s is permittivity of substrate material and ϵ_c is permittivity of ring material respectively. Table 1 presents initial design parameters of designed SRR.

$$L_1 = (4 * w_o) - d - (4 * w_i) \quad (1)$$

$$L_2 = (4 * w_i) - d - (4 * w_o) \quad (2)$$

$$f_1 = \frac{c}{2L_1\sqrt{\epsilon_{ff}}} , \quad f_2 = \frac{c}{2L_2\sqrt{\epsilon_{ff}}} \quad (3)$$

Eq.1, Eq.2 and Eq.3 presents sizing equations of SRR. L_1 and L_2 are inductances of outer and inner split ring resonator, respectively. C is capacitance of SRR. f_1 and f_2 are resonant frequency of SRR. Copper conductivity value is 5.96×10^7 S/m at 20 C°. The loss tangent value ranged from 0.01 to 0.035 in the 5 GHz to 20 GHz frequency band.

Table 1. Initial design parameters of SRR

Parameters	Initial value	Unit
h height of substrate	250	μm
g gap between rings	15	μm
L_w substrate width	50	μm
d width of slit in ring	35	μm
w_i width of inner ring	11.75	μm
w_o width of outer ring	22.75	μm
ϵ_s permittivity of substrate material	4.4	F/m
ϵ_c permittivity of ring material	1	F/m

B. BOUNDARY CONDITIONS FOR DESIGN

The correct determination of the boundary conditions is vital for the correct analysis of the three dimensional simulation model. It can be seen in Figure 3 master and slave boundary conditions of designed SRR which are y-z master-slave boundary and x-z master-slave boundary respectively. Master and slave boundary empower to demonstrate planes of periodicity where the E-field at each point on the slave boundary surface is compelled to coordinate the E-field of each relating point on the master limit surface. The change used to plan the E-field from the expert to the slave is controlled by determining an arrange framework on both the expert and slave limits. Both master and slave boundary consist of two main vectors U and V . In this study there are two master and two slave boundaries in the purposed model.

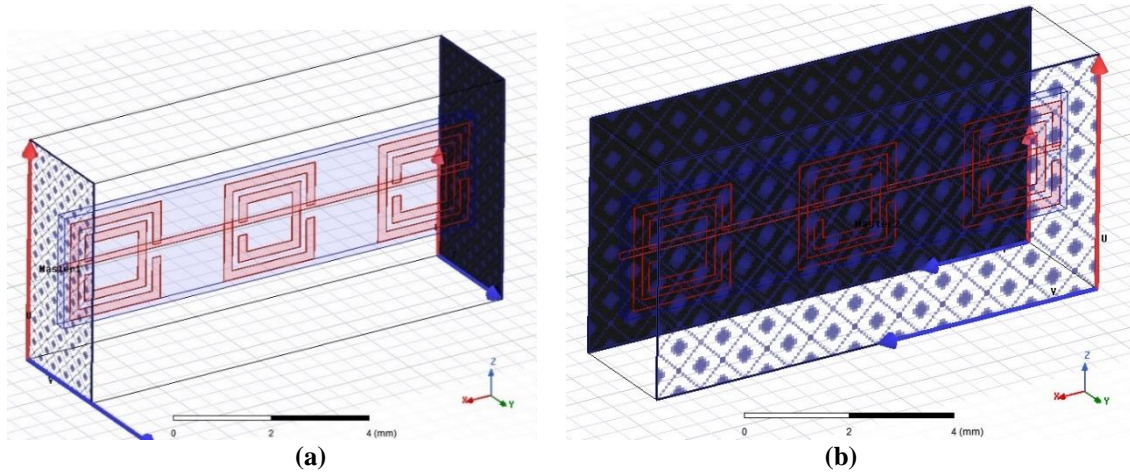


Figure 3. Master and Slave boundary conditions of designed SRR **a)** y-z Master-Slave boundary, **b)** x-z Master-Slave boundary.

Analysis of SRR model excitation system consist of two symmetrical direction port. These ports allow the SRR designed in the analysis to be analysed accurately under the applied magnetic field. It can be seen in Figure 4 excitation ports of designed SRR which are x-y-(z+) direction excitation port-1, and x-y-(z-) direction excitation port-2. The simulation model analysis for FEA is completed after when defined in the excitation system within the defined boundary conditions. Also on either side of a border are normally electrostatic fields of varying amplitudes and directions. Some limits have a surface charge, as well as surface currents which affect adjacent fields in both dynamic and static situations. The vector field flow from master to slave is always perpendicular to the surface for this boundary condition.

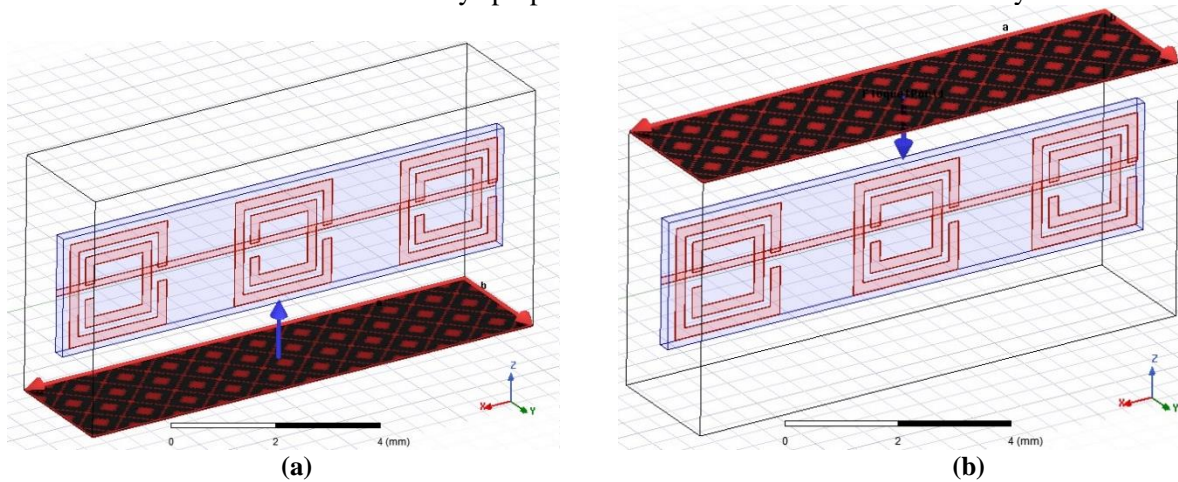


Figure 4. Excitation ports of designed SRR **a)** x-y-(z+) direction excitation port-1, **b)** x-y-(z-) direction excitation port-2.

III. ELECTROMAGNETIC ANALYSIS RESULTS

The results interpreted by the designers by adding their own experiences are important for the electromagnetic device being analysed. Three main electromagnetic parameters have been analysed which are electrical field (V/m), magnetic field intensity (A/m) and surface current density (A/m). In order to obtain FEA results, the mesh in the solution range is increased with 0.001 precision in each iteration of 15 iterations. 98765435 elements were used in total iterations. Resolution is 0.001 for this analysis and analysis takes 22 hours with 10th generation i5 processor with 6 core and 8 Gb RAM.

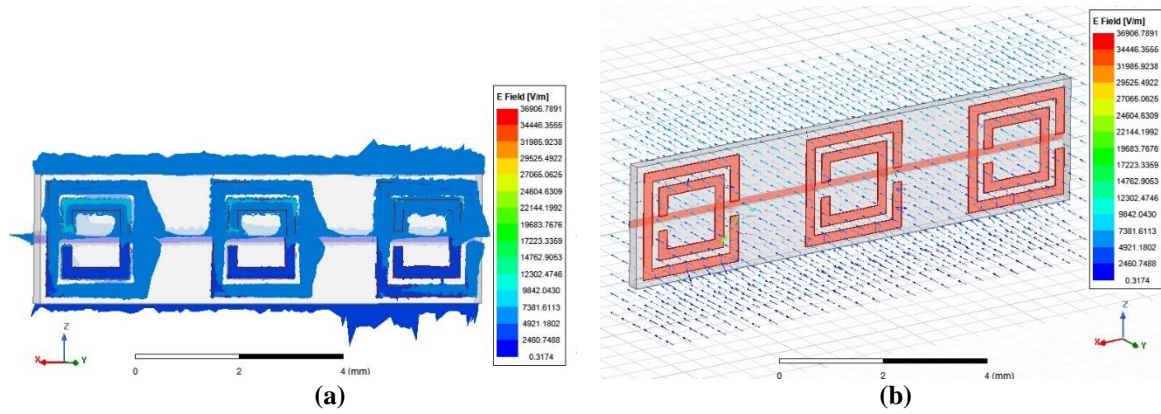


Figure 5. Electric field distribution of designed SRR **a)** E-general distribution, **b)** E-vector distribution.

When the three dimensional electrostatic analysis is made with a detailed simulation with real geometric dimension values, the results are remarkable. When the simulation results of this study are examined, it can be clearly seen in Figure 5, within the boundary conditions, the electric field is concentrated on the rings, while decreases in the dielectric substrate. Electric field vector distribution in SRR model is smooth and perpendicular the rings. It can be seen in Figure 6, within the boundary conditions, the magnetic field intensity is concentrated on the rings, while decreases in the dielectric substrate. Magnetic field intensity vector distribution in SRR model is smooth and parallel the rings. While the electric field value in the copper ring area with a large surface area is 9842 V/m, it decreases to 4921 V/m in the area where the surface area is small. It should be well understood that the amount of current passing through a cross section of the SRR is the magnetic field intensity but does not mean surface current density. The two should not be confused with each other. While the magnetic field strength acts as a vector magnitude and at the same time as a vector field, the surface current density expresses the amount of current passing through the relevant surface instantaneously. While the magnetic field intensity value is 15.91 A / m in the copper ring where the surface area is large, it decreases to 10.21 A / m in the area where the surface area is small.

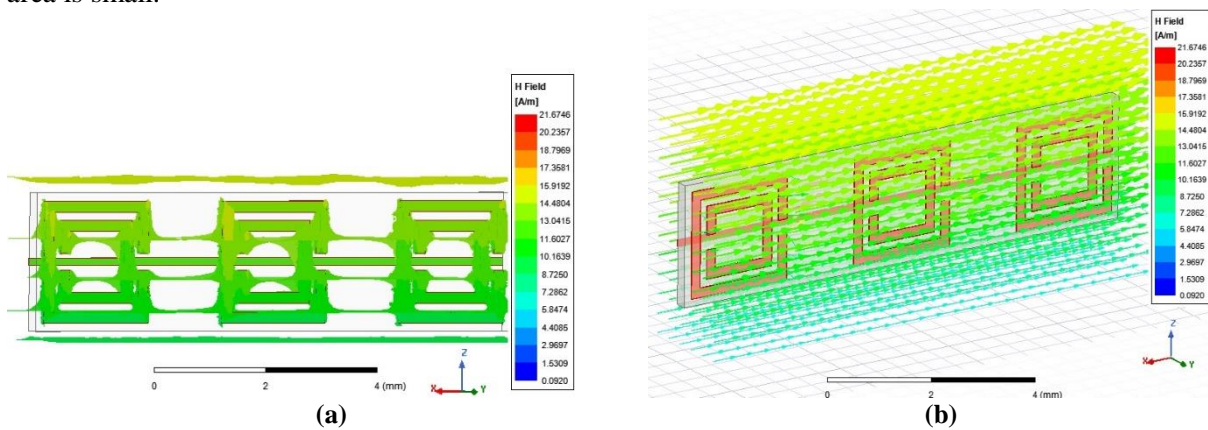


Figure 6. Magnetic field intensity distribution of designed SRR **a)** H-general distribution, **b)** H- vector distribution.

When the surface current density in Figure 7 is examined in SRR rings, it is seen that there is a distribution between 13.6 and 9.63 A/m. It can be seen that the surface current density is smooth enough to form positive and negative poles and its distribution is such that it does not disrupt the operation of the SRR. If the surface current density had an uneven distribution between the SRR rings, the ring capacitance and inductance values would change and the resonance frequency would change accordingly.

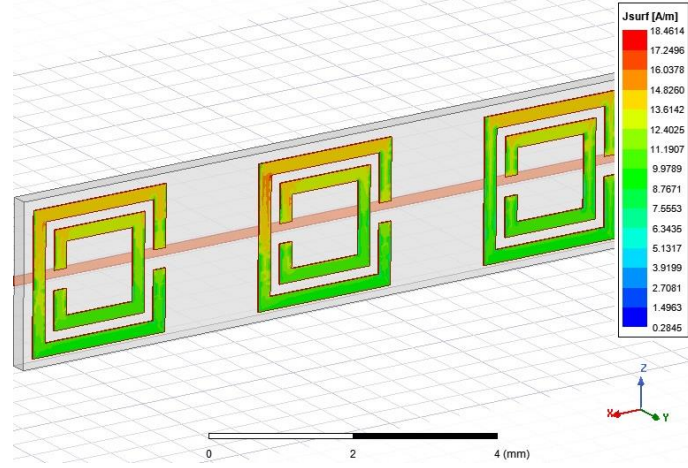


Figure 7. Surface current density distribution of designed SRR

As a result, when the results obtained with the values obtained in the electrostatic analysis are examined in depth, it can be said that the S-parameter values of SRR and the most important and difficult part of the metamaterial analysis part are also simulated correctly. All of the S-parameters of the SRR are obtained from the frequency dependent effective material parameters. In the SRR analysis, the output values were entered directly into the simulation model, which was created correctly, and the geometric relations of the model were defined.

IV. OPTIMIZATION OF SPLIT-RING RESONATOR

Optimisation is called technology/methods used to build or adjust some device/tool for the best/optimal use. The goal or purpose of optimization is to achieve a solution for a problem that is perfect, most beneficial or efficient [36-38]. This is true when dependency and limitation of the objective function (parameter to be optimized) are known to other parameters. The detection of similar parameters is therefore primarily important. Effects for objective function of these parameters are analysed, forming the basis for algorithm creation [39-42]. Under such conditions or constraints algorithms are programmed to improve (max or minimize) the objective function. In any area that needs successful solutions, optimization can be used [43-44].

Developed objective functions for SRR are shown in Eq. 4 and Eq. 5. Here, E: electric field, H: magnetic field strength, j: surface current density and f: frequency respectively. X_1 , X_2 and X_3 are status values of objective functions. Status values can be 1 or 0 depending on the type of improvement targeted. When the status values are $X_1=1$, $X_2=1$ and $X_3=1$, this means performance improvement. Objective functions take the results with results varying between 0 and 1. Results between 0 and 0.3 were defined as low correlation, between 0.3 and 0.6 as medium correlation, and between 0.6 and 1.0 as good correlation. Objective functions are used when the X parameters yielded results in a good correlation range according to their condition.

$$Of_1 = \frac{E^{x_1}}{H^{x_2} \times J^{x_3}} \quad (4)$$

$$Of_2 = \frac{E^{x_1}}{f^{x_2} \times J^{x_3}} \quad (5)$$

Multi-objective genetic algorithm scheme can be seen in Figure 8. Initially SRR selected optimization parameters population updated by genetic algorithm. Then MOGA generates new population for the optimization problem in solving area. Firstly parents used for next generation children. If the objective function constraint conditions are not met, then both the old parents and the new parents from the new population are randomly selected to generate the new generation for the new generation. If this mutation

meets the desired values, a new population is no longer produced. The values of the design parameters for optimum values are then updated according to these ideal results. Finally, the integrity of the optimum values obtained in the algorithm is checked, and if appropriate, the solution is completed, if not, the same cycle continues until the solution is found. The electromagnetic parameters selected for the objective functions developed in this study vary depending on the geometric dimension values and the frequency at the same time. Although this makes the problem much more difficult, it is the closest to a real-world simulation. In MOGA, more than one objective function can be defined independently or interdependently. This is the difference from other optimization methods. The solution is found by a genetic algorithm-based search, but multiple objective functions are used instead of a single objective function. This algorithm allows the above described to be done. That's why it was chosen.

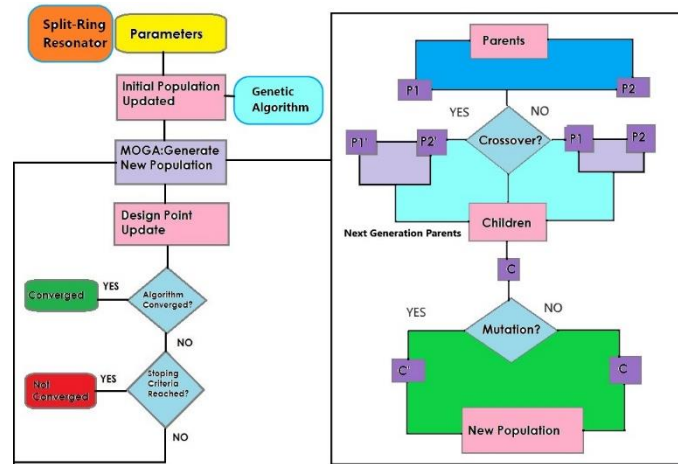
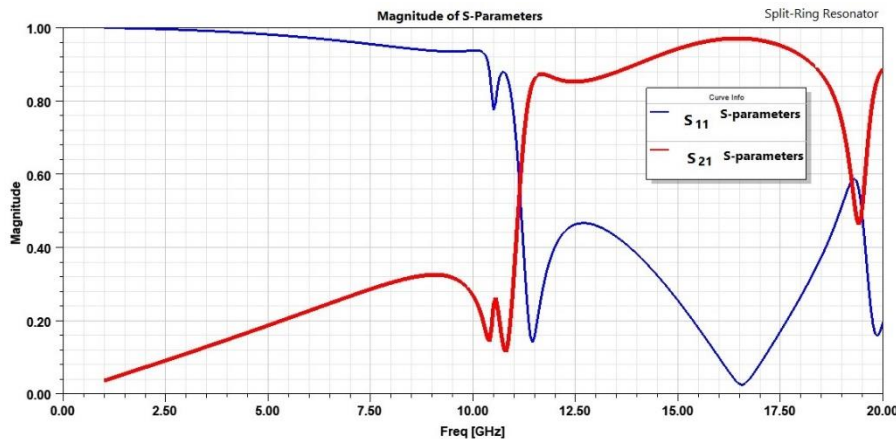


Figure 8. Multi-objective genetic algorithm scheme

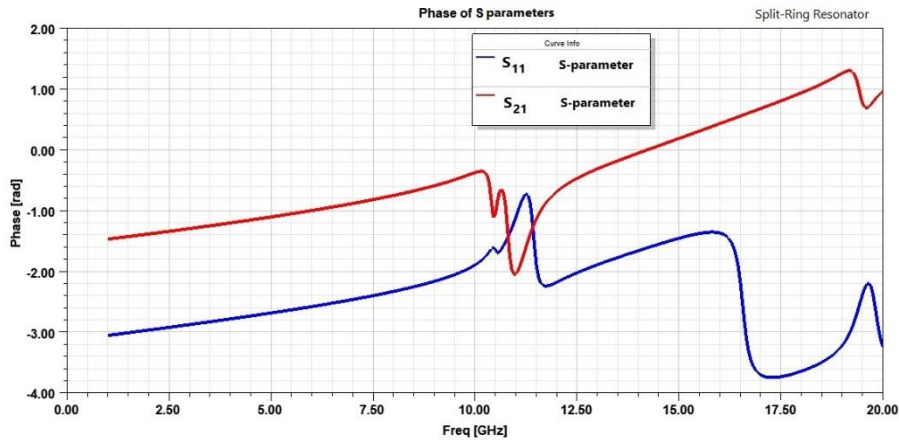
Table 2. Optimization variables and solving area

Input variable	Initial design value	MOGA search points
f , Frequency	1 GHz	1 GHz < up to < 20 GHz
L_w substrate width	50 μm	50 μm < up to < 80 μm
w_i width of inner ring	11.75 μm	11.75 μm < up to < 22.75 μm
w_o width of outer ring	22.75 μm	22.75 μm < up to < 35.175 μm

Optimization variables and optimization problem solving area values presented in Table 2. f Frequency, L_w substrate width, w_i width of inner ring and w_o width of outer ring are selected for the optimization variable. Because these selected parameters directly affect SRR performance. The initial values and solution ranges are shown in Table 2.



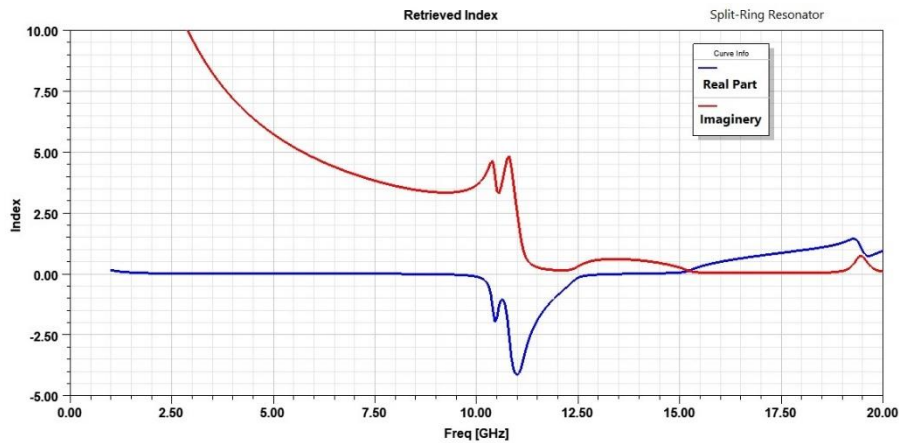
(a)



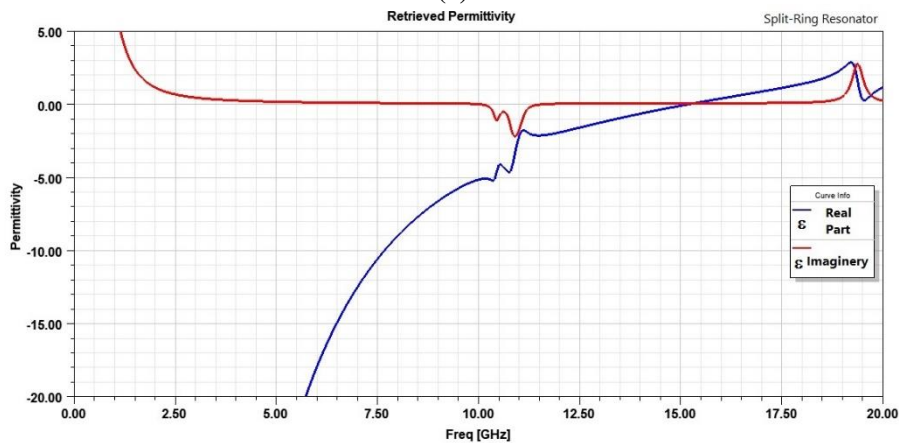
(b)

Figure 9. SRR S-parameters a) Magnitude of S-parameters, b) Phase of S-parameters.

S_{11} and S_{21} are S-parameters of designed SRR which are analysed in the study. It can be seen in Figure 9 SRR S-parameters. In Figure 9 a, magnitude of S_{11} and S_{21} with varying frequency from 1 GHz to 20 GHz. S_{11} and S_{21} parameter values intersect in the range between 11.5 GHz and 12 GHz. Phase of S_{11} and S_{21} can be seen in Figure 9 b.



(a)



(b)

Figure 10. SRR retrieved values a) refractive index, b) effective permittivity.

It can be seen in Figure 10 a, refractive index of designed SRR. This figure clearly showed that designed SRR normally produce negative refractive index characteristic to 15.5 GHz. The same situation can be seen in the other Figure 10 b, the effective permittivity value produces negative refractive index characteristic to 15.5 GHz. This is also an indication that this design, which can normally run up to 11 GHz, has been optimized to increase the operating range to 15.5 GHz. The metamaterial designed SRR analysed in this way has produced values suitable for design and optimization purposes.

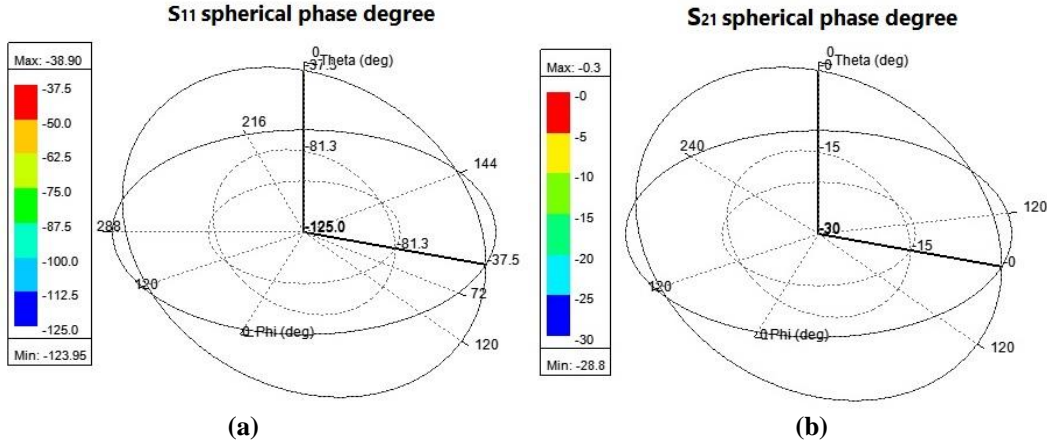


Figure 11. SRR S-parameters sphere phase degree **a)** S_{11} sphere phase, **b)** S_{21} sphere phase degree.

Designed SRR sphere phase degrees shown in Figure 11. S_{11} sphere phase degree in figure “a” and “b” for S_{21} sphere phase degree. The limits of the spherical phase degrees for each S-parameter are clearly visible. The optimization problem defined in Table 2 and the solution of the optimization problem for the solution intervals are presented in Table 3. In the optimization problem, in this study, the aim of optimization is to improve the objective functions.

Table 3. Analysis and optimization results

Input variable	Initial value	FEA	MOGA
f, Frequency	1 GHz	10.3 GHz	11.03 GHz
L_w substrate width	50 μm	65.175 μm	55.325 μm
w_i width of inner ring	11.75 μm	17.15 μm	12.25 μm
w_o width of outer ring	22.75 μm	29.10 μm	23.20 μm

FEA results and optimization results presented in the Table 3. In reality the optimum points include not only a numerical value but a solution set. The simulations made showed that the SRR design subject to the study can be used in a wide range of applications from wireless applications to antenna applications, from health applications to advanced measurement applications. SRR negative refractive index capacity was increased by approximately 4.5 GHz with the optimization work. This value corresponds to an increase of % 41. Reflection coefficients consists of S parameters and S_{11} & S_{21} in dB $S_{11} = 20\log_{10}|E_r/E_i| = 10\log_{10}|E_r/E_i|^2$, where E_r and E_i are the reflected and incident electric fields, respectively. In general, S_{11} and S_{21} are complex quantities. However, the question asked about S_{11} & S_{21} in dB, thus, from the above analysis, negative return loss provide positive S parameters.

V. CONCLUSION

In the study, three dimensional electromagnetic analysis of SRR and optimization presented. Newly developed objective functions and their status values discussed in advanced and presented in the study. Ansoft HFSS which is commercial design and analyse software used for the analysing the purposed

system. Multi-objective genetic algorithm used for the solving the optimization problem. Effective parameters of designed SRR are investigated such as S_{11} and S_{21} . Negative refractive index capacity increased almost 4.5 GHz. Finite element analysis results presented in the study such as electric field, magnetic field intensity and surface current density which are very important for the SRRs. The simulations made showed that the SRR design subject to the study can be used in a wide range of applications from wireless applications to antenna applications, from health applications to advanced measurement applications. SRR negative refractive index capacity was increased by approximately 4.5 GHz with the optimization work.

V. REFERENCES

- [1] A. Dadgarpour, B. Zarghooni, B. S. Virdee, T. A. Denidni and A. A. Kishk, "Mutual Coupling Reduction in Dielectric Resonator Antennas Using Metasurface Shield for 60-GHz MIMO Systems," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 477-480, 2017.
- [2] C. Herrojo, F. Paredes, J. Mata-Contreras, S. Zuffanelli and F. Martín, "Multistate Multiresonator Spectral Signature Barcodes Implemented by Means of S-Shaped Split Ring Resonators (S-SRRs)," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 65, no. 7, pp. 2341-2352, 2017.
- [3] P. Vélez, L. Su, K. Grenier, J. Mata-Contreras, D. Dubuc and F. Martín, "Microwave Microfluidic Sensor Based on a Microstrip Splitter/Combiner Configuration and Split Ring Resonators (SRRs) for Dielectric Characterization of Liquids," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, no. 20, pp. 6589-6598, 2017.
- [4] A. Ebrahimi, J. Scott and K. Ghorbani, "Differential Sensors Using Microstrip Lines Loaded With Two Split-Ring Resonators," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 14, pp. 5786-5793, 2018.
- [5] M. Abdolrazzagli and M. Daneshmand, "Exploiting Sensitivity Enhancement in Micro-wave Planar Sensors Using Intermodulation Products With Phase Noise Analysis," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 67, no. 12, pp. 4382-4395, 2020.
- [6] T. Haq, C. Ruan, S. Ullah and A. Kosar Fahad, "Dual Notch Microwave Sensors Based on Complementary Metamaterial Resonators," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 153489-153498, 2019.
- [7] B. Camli, E. Kusakci, B. Lafci, S. Salman, H. Torun and A. D. Yalcinkaya, "Cost-Effective, Microstrip Antenna Driven Ring Resonator Microwave Biosensor for Biospecific Detection of Glucose," in *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 23, no. 2, pp. 404-409, Art no. 6900706, 2017.
- [8] K. Xu *et al.*, "Novel Microwave Sensors Based on Split Ring Resonators for Measuring Permittivity," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 26111-26120, 2018.
- [9] J. Hinojosa, M. Rossi, A. Saura-Ródenas, A. Álvarez-Melcón and F. L. Martínez-Viviente, "Compact Bandstop Half-Mode Substrate Integrated Waveguide Filter Based on a Broadside-Coupled Open Split-Ring Resonator," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 66, no. 6, pp. 3001-3010, 2018.
- [10] W. Tang, G. Goussetis, N. J. G. Fonseca, H. Legay, E. Sáenz and P. de Maagt, "Coupled Split-Ring Resonator Circular Polarization Selective Surface," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 9, pp. 4664-4675, 2017.

- [11] G. Govind, N. K. Tiwari, K. K. Agrawal and M. J. Akhtar, "Microwave Subsurface Imaging of Composite Structures Using Complementary Split Ring Resonators," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 18, pp. 7442-7449, 2018.
- [12] J. Mata-Contreras, C. Herrojo and F. Martín, "Application of Split Ring Resonator (SRR) Loaded Transmission Lines to the Design of Angular Displacement and Velocity Sensors for Space Applications," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 65, no. 11, pp. 4450-4460, 2017.
- [13] T. Yue, Z. H. Jiang, A. H. Panaretos and D. H. Werner, "A Compact Dual-Band Antenna Enabled by a Complementary Split-Ring Resonator-Loaded Metasurface," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 12, pp. 6878-6888, 2017.
- [14] M. A. H. Ansari, A. K. Jha, Z. Akhter and M. J. Akhtar, "Multi-Band RF Planar Sensor Using Complementary Split Ring Resonator for Testing of Dielectric Materials," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 16, pp. 6596-6606, 2018.
- [15] T. Athauda and N. C. Karmakar, "The Realization of Chipless RFID Resonator for Multiple Physical Parameter Sensing," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 5387-5396, 2019.
- [16] J. S. Bobowski and A. P. Clements, "Permittivity and Conductivity Measured Using a Novel Toroidal Split-Ring Resonator," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 65, no. 6, pp. 2132-2138, 2017.
- [17] A. B. de Alleluia *et al.*, "Experimental Testing of a 3-D-Printed Metamaterial Slow Wave Structure for High-Power Microwave Generation," in *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 48, no. 12, pp. 4356-4364, 2020.
- [18] R. A. Dextre, T. Yamauchi, K. A. Polzin and K. G. Xu, "Concentric Split-Ring Resonator Microwave Microplasma Generation at Off-Resonant Frequencies," in *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 48, no. 4, pp. 827-834, 2020.
- [19] A. A. G. Amer, S. Z. Sapuan, N. Nasimuddin, A. Alphones and N. B. Zinal, "A Comprehensive Review of Metasurface Structures Suitable for RF Energy Harvesting," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 76433-76452, 2020.
- [20] X. Liu, W. Wu, P. Ji and N. Yuan, "Design of Compact Dual-Passband Filters by Parasitic Passband With Controllable Passbands," in *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 28, no. 5, pp. 410-412, 2018.
- [21] M. Li, X. Chen, A. Zhang, W. Fan and A. A. Kishk, "Split-Ring Resonator-Loaded Baffles for Decoupling of Dual-Polarized Base Station Array," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 19, no. 10, pp. 1828-1832, 2020.
- [22] S. Ma, L. Sydänheimo, L. Ukkonen and T. Björninen, "Split-Ring Resonator Antenna System With Cortical Implant and Head-Worn Parts for Effective Far-Field Implant Communications," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 4, pp. 710-713, 2018.
- [23] C. Tseng and C. Wu, "A Novel Microwave Phased- and Perturbation-Injection-Locked Sensor With Self-Oscillating Complementary Split-Ring Resonator for Finger and Wrist Pulse Detection," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 68, no. 5, pp. 1933-1942, 2020.
- [24] P. Vélez, J. Muñoz-Enano, K. Grenier, J. Mata-Contreras, D. Dubuc and F. Martín, "Split Ring Resonator-Based Microwave Fluidic Sensors for Electrolyte Concentration Measurements," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 7, pp. 2562-2569, 2019.

- [25] U. Kose and A. Kavas, "Design and Performance Analysis of Split Ring Resonator Based Microstrip Antenna With Defected Ground Structure," *2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, Istanbul, Turkey, 2020, pp. 1-4.
- [26] L. Wu, J. Sheng, S. Peng, Z. Xiao and S. Gu, "Chipless RFID Tag using Complementary Hexagonal Split Ring Resonator," *2019 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)*, Singapore, 2019, pp. 1334-1336.
- [27] X. Jiang, P. Zhong, Q. Zhang and A. K. Rashid, "A Broadband Metamaterial Polarization Converter Based on Split Ring Resonators," *2019 Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference (CSQRWC)*, Taiyuan, China, 2019, pp. 1-3.
- [28] B. Chowdhury, T. Walpita, B. Yang and A. Eroglu, "Resonant Characteristics of Split Ring Resonator And Unit Cell for Periodic Metamaterial Devices," *2020 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES)*, Monterey, CA, USA, 2020, pp. 1-2.
- [29] Y. Liu, X. Dang, L. Li and H. Yin, "Planar microwave retroreflector based on a split ring resonator metasurface," *2019 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium - China (ACES)*, Nanjing, China, 2019, pp. 1-2.
- [30] Y. Khanna, R. Gaur, R. Gupta and Y. K. Awasthi, "Design of Metamaterial by Slotted Split Ring Resonator-SSRR for Dual Frequency Band Applications," *2019 6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, Noida, India, 2019, pp. 87-90.
- [31] G. Amruta and R. Kumar, "Enhancing the Performance Characteristic of Patch Antenna using Split-Ring Resonator Metamaterial," *2020 International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE)*, Shillong, India, 2020, pp. 367-370.
- [32] Y. M. Huang, Y. Zhou, H. Jin, G. Wang and M. Bozzi, "Miniaturized Evanescent Mode Substrate Integrated Waveguide Filter with Mixed-Coupled Folded Complementary Split-Ring Resonators," *2019 IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS)*, Guangzhou, China, 2019, pp. 1-4.
- [33] M. Gupta, "Conformal Microstrip Filter Design Using Complementary Split Ring Resonator," *2018 4th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA)*, Greater Noida, India, 2018, pp. 1-4.
- [34] A. Singh, A. Raj, A. Gupta, A. Tiwari and P. Kumar, "Split ring resonator biosensor-an innovative design and analysis," *2020 IEEE 8th International Conference on Photonics (ICP)*, Kota Bharu, Malaysia, 2020, pp. 117-118.
- [35] K. S. Umadevi, S. K. Simon, S. P. Chakyar, J. Andrews and V. P. Joseph, "Wide Band Microwave Absorber using Flexible Broadside Coupled Split Ring Resonator Metamaterial Structure," *2019 Thirteenth International Congress on Artificial Materials for Novel Wave Phenomena (Metamaterials)*, Rome, Italy, 2019, pp. X-453-X-455.
- [36] W. Shahzad, W. D. Hu, A. Samad and L. P. Ligthart, "Complementary Split Ring Resonator based Metamaterial sensor for Dielectric Materials Measurements," *2020 17th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST)*, Islamabad, Pakistan, 2020, pp. 695-698.
- [37] A. K. Gorur, "A Dual-Band Balun BPF Using Codirectional Split Ring Resonators," in *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 30, no. 10, pp. 949-952, 2020.

- [38] Y. -R. Ho and C. -L. Yang, "A Wearable Throat Vibration Microwave Sensor Based on Split-Ring Resonator for Harmonics Detection," *2020 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*, Los Angeles, CA, USA, 2020, pp. 504-507.
- [39] M. Baghelani, N. Hosseini and M. Daneshmand, "Selective Measurement of Water Content in Multivariable Biofuel Using Microstrip Split Ring Resonators," *2020 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*, Los Angeles, CA, USA, 2020, pp. 225-228.
- [40] I. Topaloglu and O. Gurdal, "A second order sensitivity analysis based numerical approach developed for dimension optimization, in electric machine design by electromagnetic design software," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2010, pp. 363-369.
- [41] F. Korkmaz and I. Topaloglu, "Simulink model of vector controlled linear induction motor with end effect for electromagnetic launcher system," *Elektronika ir Elektrotechnika*, 2014, pp. 29-32.
- [42] M. Hesham and S. O. Abdellatif, "Compact Bandpass Filter Based on Split Ring Resonators," *2019 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE)*, Aswan, Egypt, 2019, pp. 301-303.
- [43] H. Kahraman , "Rulet Elektromanyetik Alan Optimizasyon (R-EFO) Algoritması", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 8, no. 1, pp. 69-80, 2020.
- [44] F. Katırcıoğlu ve U. Güvenç , "Sequentially Modified Gravitational Search Algorithm for Image Enhancement", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 8, no. 4, pp. 2266-2288, 2020.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Examining Seed Germination Rate and Seedlings Gas Exchange Performances of Some Turkish Red Pine Provenances Under Water Stress

 İsmail KOÇ^{a,*}

^a Forestry Vocational School, Düzce University, Düzce, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: ismailkoc@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.898820

ABSTRACT

With climate change, global warming has increased adverse effects on living things in our country. In these adverse effects, water scarcity is the most crucial problem due to the increase in temperature and decrease in precipitation. Forests are the most affected ecosystem among others by water scarcity in our country. This study tried to determine the 5-year-old seeds and 1-year-old seedlings (produced from the same seeds) of some Turkish red pine provenance' responses to different water stress levels. First, how the water stress levels (0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8 MPa) affect seed germination of these provenances was determined. Secondly, gas exchange parameters [net photosynthesis (*Anet*), stomatal conductance (*gs*), transpiration (*E*), and intrinsic water use efficiency (*iWUE*)] under different water stress were determined in the seedlings obtained from these species' seeds. As a result of the germination test, Denizli-Çameli (DC) provenance had the highest rate (48%), while Maraş-Suçatı had the lowest rate (29%) under control treatment. The highest germination rate was obtained in Burdur/Bucak provenance (5%) under -0.2 MPa osmotic potential. For gas exchange parameters, Antalya/Gündoğmuş provenance had the highest *Anet*, *gs* values while DC provenance had the lowest *Anet*, *gs*, and *E* values when provenance is considered as a single factor. Besides, increasing in irrigation increased *Anet*, *gs*, and *E* while decreased the *iWUE*. The lowest seedling *E* under water stress can be explained because this species responds to the water shortage by closing its stomata. Among the Turkish red pine origins, DC provenance showed higher drought tolerance than others.

Keywords: Gas exchange, Germination, PEG, Turkish red pine, Water stress

Su Stresi Altındaki Bazı Kızıldağ Kaynaklarının Tohum Çimlenme Oranı ve Fidelerin Gaz Değişim Performanslarının İncelenmesi

ÖZET

İklim değişikliğiyle beraber küresel ısınmanın ülkemizdeki canlılar üzerindeki olumsuz etkileri artmıştır. Bu olumsuz etkilerden su kıtlığı, sıcaklık artışı ve yağışların azalmasıyla birlikte en önemli sorun olarak ortaya çıkmıştır. Ülkemizde su kıtlığından en çok etkilenen ormanlar ekosistemleridir. Bu çalışmada, bazı Kızıldağ orijinlerinin 5 yaşındaki tohumları ve 1 yaşındaki fidelerinin (aynı tohumlardan üretilmiş) farklı su stresi seviyelerine tepkilerinin belirlenmesine çalışılmıştır. İlk olarak, su stresi seviyelerinin (0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8 MPa) bu tohum kaynaklarının çimlenmesini nasıl etkilediği belirlendi. Daha sonra, bu türlerin tohumlarından elde edilen fidelerin su stresi altında gaz değişim parametreleri [net fotosentez (*Anet*), stoma iletkenliği (*gs*), terleme (*E*), ve içsel su kullanma verimliliği (*iWUE*)] belirlenmiştir. Kontrol işleminde altındaki çimlenme testi sonucunda, en yüksek çimlenme oranı Denizli/Çameli (DC) orijininde (%48) belirlenirken, Maraş/Suçatı orijini en düşük orana (%29) sahiptir. -0.2 MPa ozmotik su gerilimi altında en yüksek çimlenme oranı Burdur/Bucak orijininde tespit edilmiştir. Orijin tek değişken olarak ele alınıp fidelerin gaz değişim parametreleri incelendiğinde ise en yüksek

Anet ve *gs* Antalya/Gündoğmuş orijininde belirlenirken en düşük *Anet*, *gs* ve *E* ise DC orijininde tespit edilmiştir. Ayrıca sulamanın artması *Anet*, *gs* ve *E*'yi artırırken *iWUE*'yi düşürmüştür. Türlerin en düşük *E* değerine sahip olması onların su stresine karşı somatolarını kapatarak tepki vermesiyle açıklanabilir. Kızılcam orijinleri arasında DC orijini diğerlerinden kuraklığa toleransı daha yüksektir.

Anahtar Kelimeler: Gaz değişimi, Çimlenme, PEG, Kızılcam, Su stresi

I. INTRODUCTION

Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) naturally occurs in a wide range of the Eastern Mediterranean region, from sea level to 1600 meters altitude and covering roughly 5.6 million ha of natural forest areas in Turkey [1,2]. Turkish red pine is a light-demanding, fast-growing, and drought-tolerant conifer species due to a deep tap-rooting system [3], and approximately 52.5 million seedlings of Turkish red pine were produced across the country in 2015 [4]. This species is the most critical forest tree species in Turkish forestry owing to its ability to grow in unfavorable environments such as calcareous, dry, and poor soil conditions [4,5]. Also, this species is widely used for various purposes such as afforestation, plantation, and recreation due to a high ecologically and economically crucial roles in arid and semi-arid areas in Turkey [1,6,7].

Water is the most vital compound in all terrestrial plants for their growth, development, and physiological process. The physiological processes, such as photosynthesis and carbon assimilation, are directly linked to the xylem water transportation efficiency for plants [8]. The amount of water used to produce a unit of biomass or fixed carbon unit during photosynthesis is called water use efficiency [9]. It is a key trait that indicates the physiological adaptation of plants to deal with limited water reserves. The proportion of stomatal conductance and photosynthesis reflects intrinsic water use efficiency in the leaf-level via gas exchange measurement [10]. This trait is a useful metric for investigating the link between plants' growth and development, especially in arid and semi-arid environments. Because the atmosphere is usually dry, resulting in loss of water from plant leaves via evaporation. Also, plants receive less precipitation due to global warming, and increasing in temperature progresses the evapotranspiration in the Mediterranean region recently [11].

The Mediterranean region is considered an arid and semi-arid area, is one of the risky areas in the temperate zone due to global warming. According to Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [12], climate projections for future scenarios, the region will become hotter and drier with more numerous and severe climatic events. With the future global climate change scenarios, the temperature may increase 2.5 °C and 5.4 °C by 2050 and 2100, respectively [12]. Thus, water stress has become one of the major problems limiting woody plants' seed germination, growth, and development in a warmer region. Understanding how critical physiological processes in conifer seed and seedlings associated with water – particularly seed germination, leaf photosynthesis, and respiration – respond to increasing temperature crucial for afforestation programs in warmer regions.

Environmental stresses have an increased effect on trees, such as water and salt stress in arid and semi-arid regions, reducing tree growth and development due to global warming [13]. Water stress has gained much attention in recent years that its effects on all stages of tress from germination to mature stage. One of the main and or maybe the most critical process is germination because this process provides some vital information on the species' strategy while fighting against the drought (avoidance, tolerance) [14,15]. Drought stress has substantial adverse effects on seed germination and early seedling growth [16]. Suitable conditions (water or moisture, oxygen, temperature) are the most important factors for seed germination and growth [17].

Seed germination is the most susceptible stage in plant growth and development and seedling under various environmental conditions [18]. The germination process can be separated into three stages in terms of sequential steps: inhibition, initiation of radicle growth, and radicle emergence. A decrease in

water potential and drought prevents water absorption, which is needed to start the germination process [19]. Moisture condition plays a crucial role during germination in terms of regulation [20] and the process of photosynthesis [21,22]. As mentioned earlier, water scarcity is one of the most critical factors that limit tree growth, development, and physiological activities in tree cells. Hence, achieving tree growth in arid and semi-arid regions depends on seeds' ability to germinate [23] and maintain photosynthesis balance under lack of soil moisture.

Polyethylene Glycol-6000 (PEG), one of the most common solutions, is applied to the seeds in different concentrations. Although PEG is incapable of entering the seed coat due to its high molecular mass, it is an osmotically active but physiologically inactive substance [23]. Molecules of PEG are too large enough not to be captivated by plants, but it is tiny enough to stimulate the osmotic potential [24]. This method has been used in many species to examine the effect of water stress on germination, and it has given successful outcomes [25,26].

To quantify needle gas exchange parameters, including net photosynthesis, stomatal conductance, and transpiration rate, the LI-6400XT portable photosynthesis system (LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA) has been widely used last decades. This system is a closed system that controls CO₂, IRGA, light intensity, and relative humidity, which provides rapid simultaneous and robust response and eliminates time delays. Gas exchange parameters are calculated as gas exchange ratios per unit area of the needle or leaves.

Previous studies have often focused on the germination percentage of different species or different species' origins under different osmotic potential. This study is focused on determining the responses of 5-year-old seeds of red pine species collected from different provenances to osmotic potential and the gas exchanges under various water stresses in 1-year-old seedlings produced from seeds of same origins. The study goal was to investigate the water stress effects on the relationships of Turkish red pine seed and young seedlings' provenances. Determining the physiological response to water stress will support the potential use of Turkish pine provenances for afforestation and reforestation programs in Mediterranean regions with warmer climates.

II. MATERIAL AND METHODS

A. SEED GERMINATION

The Turkish red pine seeds were collected in late 2010 on the trees from five different provenances by the Forest Nursery Directorate, Ministry of Forestry, Turkey, and the characteristics of seeds are shown in Table 1. All damaged and empty seeds were discarded and eliminated using the floating process in distilled water before the germination tests. Seed surface sterilized in 5% sodium hypochlorite solution for one minute, and then distilled water was used to rinse the seeds. Seeds were placed in polyethylene bags, stored in a cooler at 4 °C in Turkey and the United States before being used. The germination rate was over 90% for all species in 2011.

Table 1. Locations (coordinates), mean summer and winter temperature, and elevation of Turkish red pine provenances.

Provenances	Label	Location	Mean summer temp. (°C)	Mean winter temp. (°C)	Elevation (m)
Antalya- Gündoğmuş	AG	36°42'N–32°12'E	26.5	10.6	1150
Antalya-Kumluca	AK	36°25'N–30°18'E	26.1	11.6	900
Burdur-Bucak	BB	37°26'N–30°37'E	22.7	4.8	850
Denizli- Çameli	DC	37°06'N–29°07'E	27.2	6.9	800
Maraş-Suçatı	KMS	37°46'N–36°42'E	16.5	1.3	800

B. METHODS

B. 1. Polyethylene Glycol Application

The germination test was conducted at the Michigan State University laboratory, Department of Horticulture, Michigan, USA, at the beginning of January 2015. Before the germination test, damaged and empty seeds were removed by using the same process mentioned above. Glass petri dishes (11 cm diameter) on two layers of filter paper were saturated with distilled water for the germination test. Four 50-seed replicates for each provenance and each stress condition were used in this test. A total of 1000 seeds (50 seeds x 4 replicates x 5 water potentials) were used for each provenance, and 5000 seeds were used for this experiment.

Polyethylene Glycol-6000 (PEG) solution was applied to ensure drought stress with five different osmotic potential levels (0.0, -0.2, -0.4, -0.6, and -0.8 MPa) described by Michel and Kaufmann (1973) [27]. Distilled water was used as a control (0 MPa). First, two layers of filter paper then seeds were placed in 9 cm diameter glass petri dishes. The filter paper was saturated with prepared PEG solution for germination. Experiments were carried out at 25 ± 1 °C under 12 h photoperiod using artificial lighting. Filter papers and PEG solutions were renewed every other day to keep relatively constant osmotic potential on the seeds during the tests. Seeds with abnormal radicals and deteriorated and moldy ones were eliminated from the germination counts. When the radicle protruded 2 mm from the seed coat, it was considered to seed germination occurred, and the cumulative germination sums were performed day-to-day for a month.

B. 2. Irrigation Treatment

In this study, five years later from the seed collection, seeds were sown on January 05, 2015, into containers (7.2 x 6 x 23 cm) in the greenhouse at the Tree Research Center at Michigan State University in East Lansing, Michigan, USA. The greenhouse was automatically controlled, and the average temperature was 20.6 °C during the day, and there was no artificial lighting used for this experiment. The non-fertilized Fafard 52 mix was used as a soil media (Conrad Fafard Inc, Agawam, MA). The soil media contains Canadian sphagnum peat moss (30%), processed pine bark, perlite, vermiculite, dolomitic limestone, and wetting agents, with a pH range of 5.5 to 6.5 after wetting. After sowing, pots watered daily until the germination was finalized. When the germination was completed (late February), the seedlings were thinned to one (leave the vigorous seedling) per pots. The liquid form of fertilizer (Peters Professional Peat Lime nutrients; at N: 150, P: 60, K: 150 ppm) is included in irrigation water every weekday during March and May.

Before the irrigation treatment started (last week of March), ten containerized seedlings from each provenance were used to determine seedlings' water requirements as the following procedure. The selected seedlings well-watered and allowed the drain for about 2 hours, then weighted them. A week later, the selected containerized seedlings were weighed again. The difference between the two measured days was how much water was used by seedlings and evaporated on the container in a week. Irrigation rates were established at 25 (Low), 50 (Medium), and 100% (High) of the water requirement as determined above. Low, medium, and high irrigation treatment levels received 35, 70, 140 mL/week water. The irrigation volumes were applied manually once a week from June to July 11, 2015.

B. 3. Gas Exchange Measurements

Gas exchange measurements were conducted on four randomly selected seedlings from each treatment using a LI-COR conifer chamber (LI-6400XT, Lincoln, NE, USA) with an attachment of the RGB (Red, Green, Blue) light source (640-18A). The calibration was done before each measurement. Then, the photosynthesis photon flux density (PPFD), the reference CO₂, and the airflow rate were set and maintained $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $400 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{s}^{-1}$, $500 \mu\text{mol s}^{-1}$, respectively. Three readings were taken on each seedling (5-10 cm in size) on July 11, 2015. The ImageJ software program was used to determine projected leaf area from scanned images of needles [28]. The leaf area values were then entered as a

section in the LI-COR system to adjust of gas exchange parameters previously measured in the field for the specimen.

Several physiological parameters, including the net photosynthetic rate (A_{net} , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), stomatal conductance (g_s , $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiration rate (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), and intrinsic water use efficiency ($iWUE$) were simultaneously measured and calculated by the LI-6400XT software.

B. 4. Statistical Analysis

Germination percentage (GP%) was calculated every day, and the germination was completed after 30 days.

Complete randomized design was used with 4 replications for each treatment of water stress, and 5 Turkish red pine provenances and 20 seedlings for each replication, 3 water stress levels, and a total of 1440 seedlings were used. Data were analyzed using SAS 9.1 software (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). All gas exchange variables were tested for normality using PROC UNIVARIATE function. PROC MIXED was used to conduct an analysis of variance (ANOVA) for all these variables. Mean separation was performed using Tukey's adjustment. The relationships between gas exchange parameters were determined by linear and logarithmic regression.

III. RESULTS

A. GERMINATION TREATMENT

The percentage of germinations for the five provenances of Turkish red pine seeds under various water stress is given in Table 2.

There is a significant difference between control and stress treatment that control treatment had a higher germination percentage than the water-stressed seeds for all provenances (Table 2). Increased water stress decreased the germination percentage for all provenances even at the low osmotic potential. Among provenances, DC provenance had the highest germination rate (48%), while KMS had the lowest germination rate (29%) under the control treatment. However, BB provenance had the highest germination rate, which is just 5% followed by AK provenance with 4% under the water stress level of -0.2. The seeds from provenances did not germinate under the water stress level of -0.4 to -0.8 MPa.

Table 2. Effects of water potential on germination percentage.

Provenance	Label	Osmotic potential (MPa)				
		Control	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8
Antalya/ Gündoğmuş	AG	45	1	0	0	0
Antalya/Kumluca	AK	42	4	0	0	0
Burdur/Bucak	BB	30	5	0	0	0
Denizli/ Çameli	DC	48	0	0	0	0
Maraş/ Suçatı	KMS	29	1	0	0	0

B. GAS EXCHANGE PARAMETERS AT THE LEAF LEVEL

The mean values, Tukey's test result, F-values general mean of the main factors (provenance and irrigation) obtained from variance analysis of net photosynthesis rate in terms of the interaction of provenance and irrigation level are presented in Table 3.

Table 3. The mean of *Anet* rates ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) by provenances and irrigation levels.

Provenance	Irrigation			Mean	F-value
	High	Medium	Low		
AG	7.95 a	5.84 a	4.98 a	6.26 C	4.44**
AK	7.53 a	6.01 a	4.66 a	6.07 BC	
BB	8.17 a	5.58 a	4.99 a	6.24 C	
DC	6.88 a	5.48 a	4.53 a	5.63 A	
KMS	7.58 a	5.32 a	4.76 a	5.89 AB	
Mean	7.44 C	5.53 B	4.63 A		
F-Value	223.73***				1.57 ns

*Uppercase letters vertically indicate the significance of provenance, whereas uppercase letters horizontally indicate the significance of irrigation. The lowercase letters indicate the significance within the interaction of provenance and irrigation combination. **High, medium** and **low** irrigation received 35, 70 and 140 mL/week, respectively. * significant at 0.05 level. ** significant at 0.01 level. *** Significant at 0.001 level. ns: not significant.

The provenance and irrigation as a single factor were significant ($P < 0.05$) on the *Anet*, while the interaction of provenance and irrigation was not significant ($P > 0.05$) (Table 3). The highest *Anet* was observed on AG provenance seedlings, while the lowest value was observed on DC provenance in terms of comparing provenance means. Increasing irrigation was increased the *Anet* values in general while the interaction of provenance and irrigation was not significant ($P > 0.05$), so the interactions were not statistically tested.

The mean values, Tukey's test result, F-values general mean of the main factors (provenance and irrigation) obtained from variance analysis of stomatal conductance rate in terms of the interaction of provenance and irrigation level are presented in Table 4.

Table 4. The mean of *gs* ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) by provenances and irrigation levels.

Provenance	Irrigation			Mean	F-value
	High	Medium	Low		
AG	0.17 e	0.06 b	0.05 a	0.09 C	4.88**
AK	0.13 d	0.07 b	0.04 a	0.08 BC	
BB	0.13 d	0.07 b	0.06 ba	0.09 BC	
DC	0.10 c	0.06 ba	0.05 a	0.07 A	
KMS	0.14 d	0.06 ba	0.04 a	0.08 AB	
Mean	0.12 C	0.06 B	0.04 A		
F-value	219.77***				4.49**

*Uppercase letters vertically indicate the significance of provenance, whereas uppercase letters horizontally indicate the significance of irrigation. The lowercase letters indicate the significance within the interaction of provenance and irrigation combination. **High, medium** and **low** irrigation received 35, 70 and 140 mL/week, respectively. * significant at 0.05 level. ** significant at 0.01 level. *** Significant at 0.001 level. ns: not significant.

The provenances, irrigation, and their interaction were significant ($P < 0.05$) on the *gs* of Turkish red pine seedlings (Table 4). When comparing provenances as a single factor, the highest *gs* values were observed on AG provenance seedlings, while the seedlings from DC had the lowest *gs* values (Table 4). Increasing irrigation was increased the *gs* values when irrigation is a single factor. Highly irrigated AG provenance had the highest *gs*, while the lowly irrigated AK provenance seedlings had the lowest *gs* under the interaction of provenance and irrigation.

The mean values, Tukey's test result, F-values general mean of the main factors (provenance and irrigation) obtained from variance analysis of transpiration rate in terms of the interaction of provenance and irrigation level are presented in Table 5.

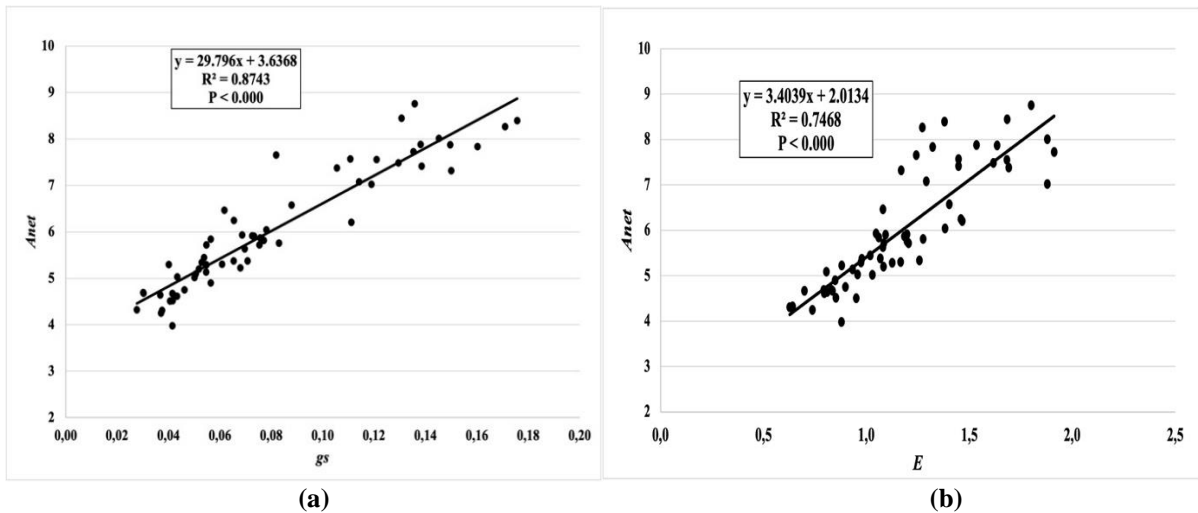
Table 5. The mean of E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) by provenances and irrigation levels.

Provenance	Irrigation			Mean	F-value
	High	Medium	Low		
AG	1.29 d	1.33 d	0.89 b	1.17 B	8.95***
AK	1.84 f	1.10 c	0.92 b	1.29 C	
BB	1.62 e	1.14 c	0.90 b	1.22 BC	
DC	1.35 d	1.08 c	0.72 a	1.05 A	
KMS	1.60 e	1.08 c	0.78 b	1.15 B	
Mean	1.53 C	1.12 B	0.82 A		
F-value	237.71***				8.88***

*Uppercase letters vertically indicate the significance of provenance, whereas uppercase letters horizontally indicate the significance of irrigation. The lowercase letters indicate the significance within the interaction of provenance and irrigation combination. **High, medium** and **low** irrigation received 35, 70 and 140 mL/week, respectively. *** Significant at 0.001 level.

The single factors (provenance and irrigation) and their interaction were significant ($P < 0.05$) on E (Table 5). The highest E was observed in AK provenance seedlings, while the lowest values were observed in DC provenance seedlings when provenance as a single factor (Table 5). In general, increasing irrigation increased the E . There was not a clear trend within the provenance and irrigation interactions. Highly irrigated AK provenance had the highest E , while the lowly irrigated DC provenance seedlings had the lowest g_s under the interaction of provenance and irrigation.

Examining the changes $iWUE$ (data not shown) by provenances and the interaction of irrigation and provenances, there was no statistically significant difference ($P > 0.05$) between the provenance and the interactions of provenance and irrigation. The single factor of irrigation was significant ($P < 0.05$) in $iWUE$ that increasing irrigation levels declined the $iWUE$.



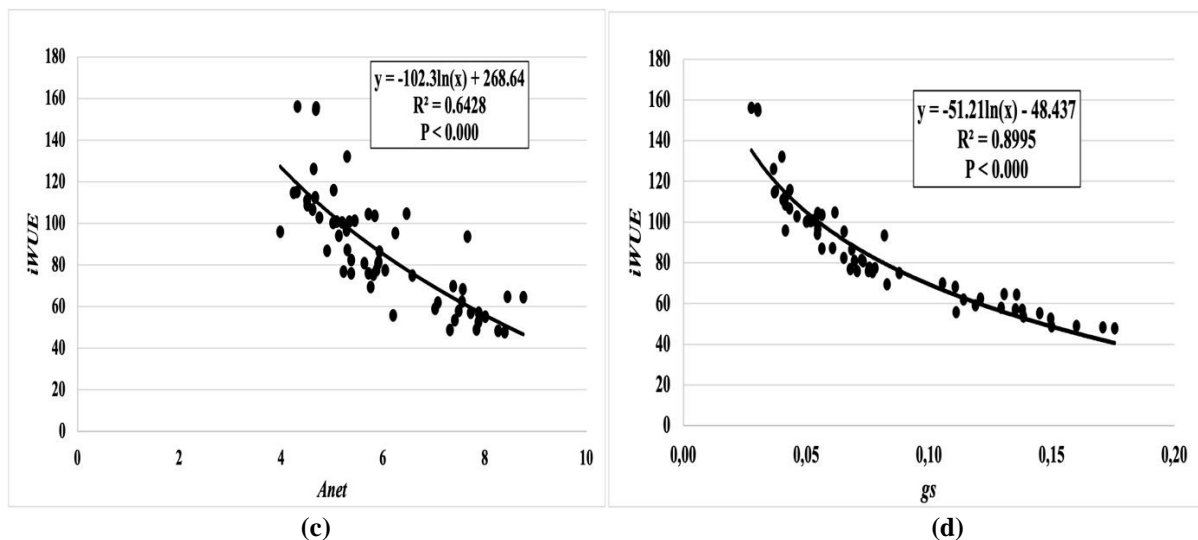


Figure 1. Relationships of gas exchange parameters for all provenances; (a) *Anet* and *gs*, (b) *Anet* and *E*, (c) *iWUE* and *Anet*, (d) *iWUE* and *gs*.

In this study, *Anet* was strongly correlated with *gs* and *E* (Fig. 1a, b) that increasing *Anet* increased *gs* and *E*. On the other hand, *iWUE* negatively correlated ($P < 0.05$) with *Anet* and *gs* (Fig. 1c, d), increasing *Anet* and *gs* reduced *iWUE*.

IV. DISCUSSION

A. WATER STRESS EFFECTS ON SEED GERMINATION

In the present study, increasing water stress decreases the germination rates in Turkish red pine, similar to previous studies [25,26,29,30]. Control treatments had a 100% germination rate for all species [25,26]), while the highest germination rate was varied 45% in Turkish red pine provenances in the present study. These studies also stated that the 1-year-old-seeds germination rate decreased roughly 15-25%, 20-45%, 45-60%, 55-60% for Turkish red pine under each water stress level. In contrast, the 5-year-old Turkish red pine seed germination rate drastically decreased under the same osmotic potential levels in the present study because the seed's viability was caused by reducing the germination rate in control and water stress conditions. In this study, Turkish red pine from Burdur/Bucak provenance seed germination rate was less than 5% under -0.2 MPa water stress level for Turkish red pine, which was the highest germination rate. Turkish red pine seeds had no germination for the other water stress levels.

Besides the seed age effect on the seed viability, the germination percentage varied between provenances, and the increasing water stress results in the reduction of germination rate for Turkish red pine. Burdur/Bucak and Antalya/Kumluca provenance had a higher resistance to water stress under -0.2 MPa osmotic level in the current study. This may cause by the seed genetic and environmental factors. All phenotypic characteristics of plants emerge as a result of mutual interaction of genetic structure and environmental condition [31,32,33], and it is known that each genetic structure can react differently to the same environmental conditions [34,35,36]. Studies have shown a significant difference in terms of resistance to water stress both between origins of the same species [15] and between the clonal seed gardens establish with cuttings from the same origin [37]. Therefore, it is crucial that the species exhibits the best performance in terms of resistance to water stress, then determining the origin and even individuals, and using it in afforestation practices in arid and semi-arid areas. The species and origin are also a critical factor determining the tolerance for drought stress in plants [25,26,29,38,39].

B. RELATIONSHIPS BETWEEN GAS EXCHANGES PARAMETERS AND WATER STRESS

Water stress has been more intense and frequent and has become the most adverse environmental factor for plant growth and development in the world, predominantly arid and semi-arid regions. Water plays a critical role directly or indirectly in each physiological process in plants; thus, water stress strongly inhibited seedling gas exchange, and increasing water stress increased the inhibitory effects of gas exchange parameters. It is found that g_s decreased more than A_{net} and E for all provenances in this study. A_{net} , g_s , E , and $iWUE$ are significant parameters for estimating plant productivity in arid and semi-arid regions [40]. The decreases in A_{net} and E controlled by g_s caused increases in $iWUE$ under water stress conditions. A_{net} decreases due to the significant reduction in CO_2 assimilation caused by stomatal closure under water stress [41].

The present study in line with the previous study that g_s is often used as an indicator to measure the level of water stress that the increasing water stress reduces declined the g_s rates [41]. In periods when there is less water in the soil, water potential decreases in plants, which causes a decrease in A_{net} due to the decrease in stomatal conductivity [42]. Decreasing E helps maintain the cell turgor, which is called an acclimation response to water stress [43]. Denizli/Çameli provenances had the lowest g_s and E values indicating they have a robust stomatal control to bypass excessive water loss throughout water deficits which help better drought adaptation.

It is found that there is a strong positive linear relationship between A_{net} and g_s , A_{net} and E ; however, there is a negative correlation between $iWUE$ and A_{net} , and $iWUE$ and g_s in the present study. A_{net} increases with the increasing g_s and E . Stomatal regulation is one of the critical factors that control the A_{net} , E , and $iWUE$ under water stress [44] in line with the present study. However, there is a balance between A_{net} and g_s that decreased A_{net} and g_s results in increased $iWUE$ [44].

V. CONCLUSION

Water stress has a suppression effect on the seed germination for conifer seeds. The increasing water stress effect decreased the germination rates. Some conifers may show some adaptation strategies to germinate in an arid and semi-arid environment for afforestation programs. It is also concluded that we must keep the desired seed moisture content from the collecting date to the sowing date from these species' optimum germination. The viability of seeds decreases year by year. It is concluded that when it is needed to use 5-years-old Turkish red pine for afforestation programs, it is better to use seeds from Denizli/Çameli provenance due to higher drought-resistant. However, it is always better to use new seed sources to increase the success of the germination.

VI. SUGGESTIONS

Global warming caused by climate change has many devastating effects on tree species around the world. The most important of these is water scarcity due to both irregularity and a decrease in precipitation. Therefore, it is crucial to identify and use species that need less water or are resistant to drought in afforestation studies. Such studies need to be done both at the seed and seedling stages. In the seed stage, the fact that both new and old seeds are the subject of these studies will provide the necessary seed supply in the processes that may arise due to the interruption of abundant seed years due to future global warming. The fact that studies on seeds shorten the duration of such studies and are less costly increases the importance of these studies.

Although studies have revealed the tolerance of some mature forest tree species to water stress, such studies should also be carried out on seeds, and studies on seedlings should support these results. Studies to reveal the relationship between seeds and seedlings of tree species under drought will benefit afforestation studies in arid and semi-arid areas in the region. Turkey to expanding along with the

temperature in the IPCC's climate change scenarios was put forward to be further affected by the drought. Therefore, our country should preserve seeds for future afforestation programs and focus on scientific studies on their drought tolerance.

Some studies have shown that seeds accumulate some osmolites such as proline and soluble sugars to cope with water stress. Continuous studies are necessary to test the tree species in our country for such studies. These can provide more information about germination's physiological process under drought stress, increasing establishment success in afforestation areas in arid and semi-arid areas. All these studies will increase the success of future afforestation practices.

VII. REFERENCES

- [1] A. Semerci, B. İmal, C. A. Gonzalez-Benecke, “Intraspecific variability in cold tolerance in *Pinus brutia* sampled from two contrasting provenance trials,” *New Forests*, pp. 1-17, 2020.
- [2] M. R. Chambel, J. Climent, C. Pichot, F. Ducci, “Mediterranean Pines (*Pinus halepensis* Mill. and *brutia* Ten.)” in *Forest Tree Breeding in Europe: Current State-Of-The-Art and Perspectives*, L. E. Pâques, Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2013, pp. 229–265.
- [3] A. Mauri, M. Di Leo, D. de Rigo, G. Caudullo, “*Pinus halepensis* and *Pinus brutia* In Europe: Distribution, Habitat, Usage and Threats,” in *European Atlas of Forest Tree Species*, J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston-Durrant and A. Mauri, Eds., Luxembourg: Off. EU, 2016. pp. 122–123.
- [4] Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı. (2015, 01 March). *Türkiye Orman Varlığı* [Online]. Available: <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Yayinlar/T%C3%BCrkiye%20Orman%20Varl%C4%B1%C4%9F%C4%B1-2016-2017.pdf>.
- [5] General Directorate of Forestry. (2010, 1 June). *Main Tree Species of Turkey. Main Tree Species of Turkey*, [Online]. Available: <http://web.ogm.gov.tr/languages/English/Sayfalar/Publication.aspx>.
- [6] Z. Yahyaoglu, M. Genç M, “Seedling Standardization, Biological and Technical Fundamentals of Standard Seedling Propagation (in Turkish),” *Suleyman Demirel University*, no. 75, pp. 1-555, 2007.
- [7] D. Yildiz, P. Nzokou, A. Deligoz, I. Koc, M. Genc, “Chemical and physiological responses of four Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) provenances to cold temperature treatments,” *European Journal of Forest Research*, vol. 133, no. 5, pp. 809-818, 2014.
- [8] M. T. Tyree, “Hydraulic limits on tree performance: transpiration, carbon gain and growth of trees,” *Trees*, vol. 17, pp. 95–100, 2003.
- [9] C. A Maier, J. Burley, R. Cook, S. B. Ghezehei, D. W. Hazel, E. G. Nichols, “Tree water use, water use efficiency, and carbon isotope discrimination in relation to growth potential in *Populus deltoides* and hybrids under field condition,” *Forests*, no. 10, pp. 993, 2019.
- [10] H. Lambers, F. S. Chapin, T. L. Pons, “*Plant Physiological Ecology*,” Springer: New York, NY, USA, 2008, pp. 1-604.
- [11] P. Lionello, L. Scarascia L, “The relation between climate change in the Mediterranean Region and global warming,” *Regional Environmental Change*, vol. 18, no. 5, pp. 1481–1493, 2018.
- [12] IPCC “Climate change 2014 synthesis report contribution of working groups i, ii and iii to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change,” Core Writing Team, Geneva, Switzerland, Rep. 5, 2014.

- [13] H. Şevik, N. Ertürk, “Effects of drought stress on germination in fourteen provenances of *Pinus brutia* Ten. seeds in Turkey,” *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, vol. 3, no. 5, pp. 294-299, 2015.
- [14] T. T. Koslowski, S. G. Pallardy, “Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stress,” *Botanical Review*, vol. 68, no. 2, pp. 270-334, 2002.
- [15] O. Topacoglu, H. Sevik, E. Akkuzu, “Effects of water stress on germination of *Pinus nigra* Arnold. Seeds,” *Pakistan Journal of Botany*, vol. 48, no. 2, pp. 447–453, 2016.
- [16] S. Ahmad, R. Ahmad, M. Y. Ashraf, M. Ashraf, E. A. Waraich, “Sunflower (*Helianthus annuus* L.) response to drought stress at germination and seedling growth stages,” *Pakistan Journal of Botany*, vol. 41, no. 2, pp. 647-54, 2009.
- [17] A. D. Vickers, S. C. F. Plamer “The influence of canopy cover and other factors upon the regeneration of scots pine and its associated ground flora within glen tanar national nature reserve,” *Forestry*, vol. 73, no. 1, pp. 37-49, 2000.
- [18] J. L. Harper “Population Biology of Plants,” *Blackburn Press*: Caldwell, NJ, USA; London, UK, 2010, pp. 1-892.
- [19] M. Almansouri, J. M. Kinet, S. Lutts, “Effect of Salt and Osmotic Stresses in Germination in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf),” *Plant Soil*, vol. 231, no. 2, pp. 243-245, 2001.
- [20] C. M. Karssen, “Seasonal Pattern of Dormancy in Weed Seeds” in *Physiology and Biochemistry of Seed Development, Dormancy and Germination*, A. A. Khan, Eds., Elsevier Biomedical Press, Amsterdam, 1982, pp. 243-270.
- [21] M. Cetin, H. Sevik, N. Yigit, H. B. Ozel, B. Aricak, T. Varol, “The variable of leaf micromorphological characters on grown in distinct climate conditions in some landscape plants,” *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 27 no. 5, pp. 3206-3211, 2018.
- [22] M. Cetin, H. Sevik, N. Yigit “Climate type-related changes in the leaf micromorphological characters of certain landscape plants,” *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 190 no. 7, pp. 1-9, 2018.
- [23] F. Ahmadloo, M. Tabari, B. Behtari “Effect of drought stress on the germination parameters of *Cupressus* seeds,” *International Journal of Forest, Soil and Erosion*, vol. 1, no. 1, pp. 11-17, 2011.
- [24] N. Carpita, D. Sabularse, D. Monfezinos, D. P. Delmer, “Determination of the pore size of cell walls of living plant cells,” *Science*, vol. 205, no. 4411, pp. 1144-1147, 1979.
- [25] H. Sevik, M. Cetin, “Effect of water stress on seed germination for select landscape plants,” *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 24, no. 2, pp. 689-693, 2015.
- [26] N. Yigit, H. Sevik, M. Cetin, N. Kaya, “Determination of the effect of drought stress on the seed germination in some plant species, water stress in plants,” *InTech*, ch. 3, 2016, pp. 43-62.
- [27] B. E. Michel, M. R. Kaufmann, “The osmotic potential of polyethylene glycol 6000,” *Plant Physiology*, vol. 51, no. 5, pp. 914–916, 1973.
- [28] W. Rasband. (2016, 3 June). *ImageJ. Image Processing and Analysis in Java*, Research Services Branch, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA, [Online]. Available: <http://rsbweb.nih.gov/ij/index.html>

- [29] M. Boydak, H. Dirik, F. Tilki, M. Çalikoğlu, “Effects of water stress on germination in six provenances of *Pinus brutia* seeds from different bioclimatic zones in Turkey,” *Turkish Journal Agriculture and Forestry*, vol. 27, no. 2, pp. 91-97, 2003.
- [30] F. Tilki, H. Dirik, “Seed germination of three provenances of *Pinus brutia* (Ten.) as influenced by stratification, temperature and water stress,” *Journal of Environmental Biology*, vol. 27, no. 1, pp. 133-137, 2007.
- [31] M. Hrivnák, L. Paule, D. Krajmerová, Ş. Kulaç, H. Şevik, İ. Turna, I. Tvauri, D. Gömöry, “Genetic variation in Tertiary Relics: The case of Eastern-Mediterranean *Abies* (Pinaceae),” *Ecology and Evolution*, vol. 7, no. 23, pp. 10018-10030, 2017.
- [32] H. Sevik, H. B. Ozel, M. Cetin, H. U. Özel, T. Erdem, “Determination of changes in heavy metal accumulation depending on plant species, plant organism, and traffic density in some landscape plants,” *Air Quality, Atmosphere & Health*, vol. 12, no. 2, pp. 189-195, 2019.
- [33] H. Sevik, M. Cetin, A. Ozturk, N. Yigit, O. Karakus, “Changes in micromorphological characters of *Platanus orientalis* L. leaves in Turkey,” *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 17, no. 3, pp. 5909-5921, 2019.
- [34] C. Yucedag, H. B. Ozel, M. Cetin, H. Sevik, “Variability in morphological traits of seedlings from five *Euonymus japonicus* cultivars,” *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 191, no. 5, pp. 1-4, 2019.
- [35] A. Cesur, I. Zeren Cetin, A. E. S. Abo Aisha, O. B. M. Alrabiti, A. M. O. Aljama, A. A. Jawed, M. Cetin, H. Sevik, H. B. Ozel, “The usability of *Cupressus arizonica* annual rings in monitoring the changes in heavy metal concentration in Air,” *Environmental Science and Pollution Research*, pp. 1-7, 2021.
- [36] M. Cetin, H. Sevik, O. Cobanoglu O, “Ca, Cu, and Li in washed and unwashed specimens of needles, bark, and branches of the blue spruce (*Picea pungens*) in the city of Ankara,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, no. 17, pp. 21816-21825, 2020.
- [37] S. Buyurukçu, “Hanönü-Günlübur The Anatolian Black Pine (*Pinus nigra* Arnold Ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) water stress effects on seed garden in terms of clonal variation,” M. S. thesis, Institute of Science and Technology, Kastamonu University, Kastamonu, Turkey, 2011. (in Turkish).
- [38] S. Gulcu, H. C. Gultekin, Z. Olmez, “The effects of sowing time and depth on germination and seedling percentage of the Taurus Cedar (*Cedrus libani* A. Rich.),” *African Journal of Biotechnology*, vol. 9, no. 15, pp. 2267-2275, 2010.
- [39] Ş. Kulaç, “Research on changes of physiological and morphological and biochemical on scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings under drought stress , (in English with abstract),” Ph. D. dissertation, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, 2010.
- [40] J. Zhang, H. Jiang, X. Song, J. Jin, X. Zhang, “The responses of plant Leaf CO₂/H₂O exchange and water use efficiency to drought: a meta-analysis,” *Sustainability*, vol. 10, no. 2, pp. 551, 2018.
- [41] M. Ashraf, “Relationships between leaf gas exchange characteristics and growth of differently adapted populations of blue panicgrass (*Panicum antidotale* Retz.) under salinity or waterlogging,” *Plant Science*, vol. 165, no. 1, pp. 69-75, 2003.

- [42] E. Bayar, A. Deligöz, “Impacts of precommercial thinning on gas exchange, midday water potential, and chlorophyll content in *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* stand from The Semiarid Region,” *Trees*, vol. 34, pp. 1169-1181, 2020.
- [43] P. Neumann, “The role of cell wall adjustment in plant resistance to water deficits,” *Crop Science*, vol. 35, no. 5, pp. 1258-1266, 1995.
- [44] J. Urban, M. W. Ingwers, M. A. McGuire, R. O. Teskey R. O, “Increase in leaf temperature opens stomata and decouples net photosynthesis from stomatal conductance in *Pinus taeda* and *Populus deltoides* x *nigra*,” *Journal of Experimental Botany*, vol. 68, no.7, pp. 1757-1767, 2017.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Pürüzlülük Katsayısının Açık Kanal Akımına Etkisinin İncelenmesi

 Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN^{a,*}

^a *İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, TÜRKİYE*

* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: geryilmazturkkan@bayburt.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.800691

ÖZET

Dünyamızda küresel ısınmanın etkisi ile deniz seviyesinin yükselmesi, mevsimlerin değişmesi ve ekosistemin bozulması sonucu taşkınlar meydana gelebilmektedir. Taşkınları önlemek için iyi bir planlama ve projelendirme gerekmektedir. Bu çalışma ile pürüzlülük katsayısının açık kanal akımına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada amaç, mevsimsel değişim sonucu bitki örtüsünün değişmesine bağlı olarak kanaldaki akımı incelemektir. Bu çalışma, Bayburt il sınırları içerisinde kalan Sarıhan deresi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı pürüzlülük katsayıları kullanılarak akım durumları modellenmiştir. Çalışmada, sayısal modeli oluşturabilmek için ArcGIS ve Hec-GeoRAS yazılımları kullanılmıştır. Açık kanal akımını modellemek için ise HEC-RAS yazılımı tercih edilmiştir. Pürüzlülük katsayısının değişmesiyle birlikte kesit için froude sayısı, enkesit hızları ve buna bağlı olarak su seviyesi ve akış alanının değiştiği görülmüştür. Ayrıca çalışmada hesaplanan 4 farklı pürüzlülük katsayısı değeri için, Sarıhan nehrinin herhangi bir kesiminde su baskınına neden olacak kritik akış hızları belirlenmiştir. Çalışmada, mevsimsel değişimler sonucu değişen pürüzlülük katsayısının önemi model ile vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Mevsimsel değişim, Taşkın, ArcGIS, HEC-RAS, Bayburt*

Investigation of the Roughness Coefficient Effect on Open Channel Flow

ABSTRACT

With the effect of global warming in our world, rising sea levels, changing seasons and degrading the ecosystem can cause floods. Preventing floods requires good planning and projecting. The effect of roughness coefficient on open channel flow was investigated with this study. The purpose of the study is to examine the flow in the channel depending on the seasonal change of vegetation cover. This study was carried out on the Sarıhan river, which is located within Bayburt province borders. The flow was simulated using different roughness coefficients. In the study, ArcGIS and Hec-GeoRAS software were used to create a numerical model. HEC-RAS software was preferred to simulate open channel flow. The froude number, velocities in the cross section, the water level and the flow area have been seen to differences with the change of the roughness coefficient. In addition, for four different roughness coefficient values calculated in the study, critical flow rates that will cause flooding in any section of Sarıhan river were determined. In this study, the importance of roughness coefficient, which changes as a result of seasonal changes, was emphasized with this model.

Keywords: *Seasonal change, Flood, ArcGIS, HEC-RAS, Bayburt*

I. GİRİŞ

Taşkınlar gerçekleştiği bölgede ekonomik ve sosyal faaliyetleri kesintiye uğratan doğal bir olaydır. Taşkın risklerine maruz kalan insan sayısının, 2050 yılında 1.6 milyara yükseleceği tahmin edilmektedir [1]. Oluşabilecek taşkınları ve akabinde oluşacak olumsuz durumların önüne geçebilmek için tasarım oldukça önemlidir. Dere ıslahı ve taşkın önleme çalışmaları gerçekleştirilirken tasarımda yüzeyde hangi malzemenin kullanılacağı tasarımı etkilenen önemli etkenlerden biridir. Açık kanal akımlarında, akımın modellenebilmesi için yüzey pürüzlülüğünün bilinmesi gerekmektedir. Kanal debisi hesaplanırken kanalın hidrolik yarıçapı, kanal eğimi belirlenir ve yüzey pürüzlülük katsayısı seçilerek hesaplar yapılır. Kullanılan malzeme bilindiği için yapay kanallarda pürüzlülük katsayısının seçimi daha kolaydır. Kanal kaplamasına bağlı olarak bir değer seçilebilir.

Bu çalışma ile pürüzlülük katsayısının önemine değinilmek istenmiştir. Kurak mevsimde kuruyan otlar sulak mevsimde ise boy verip uzayacaktır. Farklı iklim, mevsim koşulları altında bitki örtüsünün yoğun olması ya da olmaması durumları için farklı pürüzlülük katsayıları söz konusudur. Çalışmada, mevsimsel değişim sonucu bitki örtüsünün değişmesine bağlı olarak farklı pürüzlülük katsayıları için serbest yüzeyli akımlarda oluşabilecek akım durumları incelenmiştir. Bayburt ili merkez ilçesine bağlı olan Sarıhan köyünden geçen Sarıhan deresinin farklı pürüzlülük katsayıları ile akım durumları modellenmiştir. Çalışmada, sayısal modeli oluşturabilmek için ArcGIS ve Hec-GeoRAS yazılımları kullanılmıştır. Açık kanal akımı ise HEC-RAS yazılımı ile çözülmüştür. Arazinin topoğrafik verileri için arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Sarıhan deresi ve civarında birçok kot ölçümü alınarak çalışma alanının topoğrafik verileri elde edilmiştir. Topoğrafik veriler ArcGIS ortamında işlenmiş, dere yatağı ve civarındaki tüm yükseklikler TIN formatına dönüştürülmüştür. Dere profili ve enkesitleri Hec-GeoRAS ile üretilmiş Hec-RAS programına iletilmiştir. Dere, sabit bir debi değeri altında farklı pürüzlülük katsayı değerleri ile HEC-RAS’da modellenmiştir. Buna ek olarak hesaplanan farklı pürüzlülük katsayı değerleri için Sarıhan deresinin herhangi bir kesitinde taşkına sebep olacak kritik debi değerleri de belirlenmiştir.

Literatürde taşkınlar ve pürüzlülük katsayısı ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaları şu şekilde sıralayabiliriz: Üyüklüoğlu vd. [2] çalışmalarında Antalya – Manavgat’ta bulunan Ilıca Deresinde HEC-RAS programıyla su yüzü profilini modellemiştir. Bulu ve Yılmaz [3] çalışmalarında açık kanal akımlarında pürüzlülük katsayısını incelemiştir. Horritt ve Bates [4] çalışmalarında taşkınları tahmin etmek için 1B ve 2B sayısal model değerlendirmesi gerçekleştirmiştir. Özdemir [5] çalışmasında taşkınların haritalandırılmasında Hec-GeoRAS ve Hec-RAS’ı kullanmıştır. Dursun [6] Murat nehri civarında taşkın seviyesinin belirlenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bales ve Wagner [7] hidrolik model geliştirme ve doğrulama için kullanılan hidrolojik verileri, topografik verileri ve hidrolik modeli içeren bir çalışma gerçekleştirmiştir. Baldassarre vd. [8] eğim yükselmesinin taşkın yayılması üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Özcan vd. [9] taşkın alanlarının CBS ve UA yardımıyla belirlenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Biondi ve De Luca [10] gerçek zamanlı taşkın tahmini için BFS değerlendirmesi yapmıştır. Nas ve Nas [11] taşkın alanlarının coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla belirleyip risk analizi gerçekleştirmiştir. Doğan vd. [12] çalışmalarında aşağı Sakarya nehri için taşkın yayılım haritalarını çıkarmıştır. Yerdelen vd. [13] akış kesitinde oluşacak direnç kuvvetinin, bitkilerin ve akışın fiziksel şartlarına bağlı olarak nasıl değiştiği incelemiştir. Efe ve Önen [14], çalışmalarında Batman Çayı’nın Yeni Malabadi Köprüsü ile Diyarbakır – Batman Karayolu Köprüsü arasında kalan kesimine ait taşkın analizi gerçekleştirmiştir. İbrahim ve Abdel-Mageed [15] çalışmalarında yatak pürüzlülüğünün akış özelliklerine etkisini incelemiştir. Ercan vd. [16] çalışmalarında Kahramanmaraş ilinin On iki Şubat ilçe merkezindeki kuşaklama kanalı projesinin hesaplarını, HEC-RAS programı ile modelleyip sonuçları karşılaştırmıştır. Ogras ve Onen [17] çalışmalarında Dicle Nehri Rehabilitasyon Projesi’ne katkıda sağlamak amacıyla Dicle Nehri’nin yinelenen ve tek boyutlu taşkın yatağı analizlerini gerçekleştirmiştir.

II. MATERYAL ve YÖNTEM

Coğrafi bilgi sistemlerinde (CBS) topografik veriler Türkiye’de uydu fotoğraflarından, Harita Genel Komutanlığından veya özel çalışmalarla hazırlanan yüksek hassasiyetli haritalardan elde edilebilir. Bu haritalar yardımıyla havzaya ait sayısal yükseklik modeli oluşturulur. Aslında sayısal yükseklik modeli, hava fotoğraflarından otomatik eşlemeyle üretilmiş olan arazi topoğrafyasındaki tüm detayları kapsayan ± 3 m düşey doğruluklu yükseklik verisidir. Sayısal yükseklik modeli (Digital Elevation Models-DEM) olarak adlandırılan haritaların elde edilebilmesi için de havzanın üç boyutlu arazi modeli yani TIN haritaları elde edilmelidir. TIN, üçgen modelleme yoluyla doğrudan topografik verilerden elde edilir, TIN oluşturulurken girdi noktaları üçgenlerin köşeleri olur. Köşeler üçgenlerin kenarlarını oluşturacak çizgiler ile bağlanır. Sonuç olarak köşelerden ve kenarlardan oluşan sürekli bir üçgenler yüzeyi elde edilir. DEM ise, TIN’ i veri olarak kullanarak oluşturulan arazi modeli türüdür [18].

Hec-GeoRAS [19], HEC-RAS [20] programı için tasarlanmış bir CBS arayüzüdür. HEC-GeoRAS; HEC-RAS ve ArcGIS arasında geçişi sağlar. HEC-RAS ise tek boyutlu hidrodinamik hesapları yapabilecek şekilde oluşturulmuştur. Program; her tür akım için hesap yapabilmektedir. Bu çalışmada ise sayısal modeli oluşturabilmek için ArcGIS ve Hec-GeoRAS yazılımları kullanılmış, açık kanal akımı için ise HEC-RAS yazılımı tercih edilmiştir.

HEC-RAS kararlı, kararsız akım durumları ve kritik altı akım, kritik üstü akım veya karışık akım şartları altında su yüzü profilini belirlemede kullanılır. Program, kararlı akım şartları altında yapılan çözümlerde, tek boyutta enerji denklemini temel alınmaktadır. Momentum denklemi ise, akım rejiminin ani değiştiği durumlarda kullanılmaktadır. [21]. HEC-RAS yazılımı aynı zamanda momentum, WSPRO ve Yarnell yöntemlerini de desteklemektedir. Bu basit yöntem, enerji denklemi çözüme dayanır. U.S. Army Corps of Engineers tarafından geliştirilmiş olan HEC-RAS standart adım yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntemde kanaldaki iki en kesit arasında enerji denklemi ile iterasyon yapılarak su yüzü profili hesabı yapılır. Standart adım yöntemi yavaş değişen akımların başlangıcında, sonunda veya herhangi iki yerinde oluşan h akım derinliklerinden bir tanesinin ve yatay mesafesinin bilinmesi durumunda, diğer akım derinliğinin hesaplanması için kullanılmaktadır. Ayrıca sonlu farklar yönteminden farklı olarak su derinliğinin hesabı deneme yanılma yöntemi ile belirlenmektedir.

III. ÇALIŞMA BÖLGESİ ve VERİLER

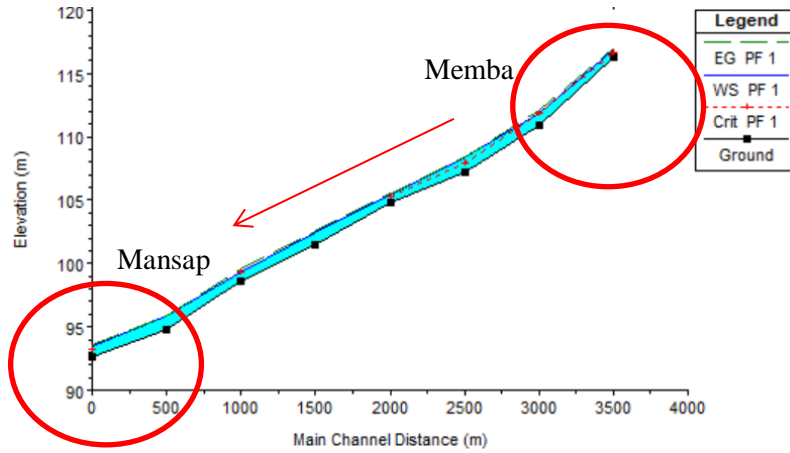
Bayburt ili $40^{\circ} 37'$ kuzey enlemi ile $40^{\circ} 45'$ doğu boylamı, $39^{\circ} 52'$ dakika güney enlemi ile $39^{\circ} 37'$ batı boylamları arasında yer alır. [22]. Sarıhan Köyü ise Bayburt ili merkez ilçesine bağlıdır. (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı

Çalışma alanına ait sayısal yükseklik modelinden TIN modeline geçiş yapabilmek için ArcToolbox'ın 3D Analyst Tools modülü kullanılmıştır. Topoğrafik verilerin oluşturulmasında ana veri tabanı olarak TIN kullanılmıştır. Saruhan deresi için oluşturulan TIN formatından HEC-RAS girdi verileri yani çalışma sahasına ait topoğrafik veriler HEC-GeoRAS ile üretilip tamamlanmıştır. Derenin çalışılan kısmı için topoğrafik değişimlere bağlı olarak toplamda 8 adet enkesit alınmıştır. Her bir enkesitin uzunluğu 90 metre olarak seçilmiştir. Enkesitler arası mesafe yaklaşık 500 metre civarındadır. Saruhan deresinin bu çalışmada çalışılan kısmı toplamda 3500 m civarındadır. Akım şartlarının düzenlenmesi ve akım analizi için HEC-RAS kullanılmıştır. Import işlemi tamamlandıktan sonra dereye ait geometrik veriler HEC-RAS programına aktarılmıştır.

Şekil 2'de dere profilinin memba ve mansap kısımlarına yer verilmiştir. HEC-RAS'da çözümü gerçekleştirebilmek için tanımlanması gereken sınır koşulu olarak ise eğim belirlenmiştir. Eğimler ise memba tarafında alınan ve mansap tarafında alınan ardışık iki kesit kullanılarak hesaplanmıştır. HEC-RAS programında derenin profilinden faydalanılarak kanalın eğimi, memba kısmında $S=0.003$ mansap kısmında ise $S=0.006$ olarak hesaplanıp, kanal yukarı ve aşağı yönde hesaplanan aynı eğimlerle sonsuza kadar uzanıyormuş gibi düşünülerek hem akış yukarısında hem de akış aşağısındaki kısımlarda normal derinlik sınır koşulu tanımlanmıştır. Akım rejimi karışık olarak seçilerek kararlı durum için modelleme yapılmıştır. Her bir modellemede için debi değeri, herhangi bir kesitte taşkına sebep olmayacak şekilde $Q=10 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak alınmıştır.



Şekil 2. HEC-RAS dere profili

IV. BULGULAR ve TARTIŞMA

Pürüzlülük katsayısını yüzey pürüzlülüğü, bitki örtüsü gibi etkileyen birtakım etmenler vardır. Kanaldaki bitki örtüsü pürüzlülük katsayısı seçiminde önemli bir etkidir. Bölgedeki mevsimsel değişim sonucu bitki örtüsünün değişmesiyle pürüzlülük katsayısı da değişir. Pürüzlülük katsayısı aynı kesit için farklı mevsimlerde çok farklı değerler almaktadır. Bu çalışmada, çalışılan doğal kanalda sadece bitki örtüsünün değişiminin kanalda oluşturacağı etki incelenmiştir. Bu amaçla, farklı yüzey pürüzlülükleri için 4 adet modelleme HEC-RAS' da gerçekleştirilmiştir.

Devlet Su İşleri (DSİ) ülkemiz için pürüzlülük katsayısının belirlenmesinde en uygun yöntemin Cowan yöntemi olduğunu düşünmektedir. [23]. Yöntem W. L. Cowan [24] tarafından geliştirilmiştir (Eş. 1).

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (1)$$

n pürüzlülük katsayısı iken, n_0 katsayısı kanalın geçtiği zeminin özelliğine bağlı olarak belirlenen pürüzlülük katsayısıdır. n_1 , kanal düzensizliğini içeren düzeltme katsayısıdır. n_2 , kanal kesitinin şekil ve boyutundaki değişmeyi içeren düzeltme katsayısı iken, n_3 kanaldaki mevcut engelleri içeren düzeltme katsayısıdır. n_4 seçiminde ise kanal içindeki bitki örtüsünün etkisi dikkate alınır. m katsayı ise kanaldaki mendereslenme (kıvrım) düzeyine bağlı olarak belirlenir. Bu değerlerin hepsine Tablo 1'de yer verilmiştir.

Tablo 1. Kanal koşullarına bağlı belirlenen pürüzlülük değerleri [3], [24]

Kanal Koşulları			Değerler
Kanalın içerdiği malzeme	Toprak	n_0	0.020
	Kaya		0.025
	Kum		0.024
	Çakıl		0.028
Düzensizlik derecesi	Pürüzsüz	n_1	0
	Önemsiz		0.005
	Orta		0.010
	Şiddetli		0.020
Kanal yarıçapındaki değişimler	Aşamalı	n_2	0
	Ara sıra değişen		0.005
	Sık değişen		0.010-0.015
Engellerin benzer etkileri	İhmal edilebilir	n_3	0
	Önemsiz		0.010-0.015
	Kayda değer		0.020-0.030
	Şiddetli		0.040-0.060
Bitki örtüsü	Düşük	n_4	0.005-0.010
	Orta		0.010-0.025
	Yüksek		0.025-0.050
	Çok yüksek		0.050-0.100
Kıvrım derecesi	Önemsiz	m	1.00
	Kayda değer		1.15
	Şiddetli		1.30

Bu çalışmada çalışılan arazi durumu göz önüne alınarak $n_0=0.02$ $n_1=0.01$ $n_2=0.005$ $n_3=0$ $m=1$ alınmıştır. Bitki örtüsünün farklılığı incelenmek istendiğinden n_4 ifadesi için 4 farklı değer alınarak çalışma yürütülmüştür.

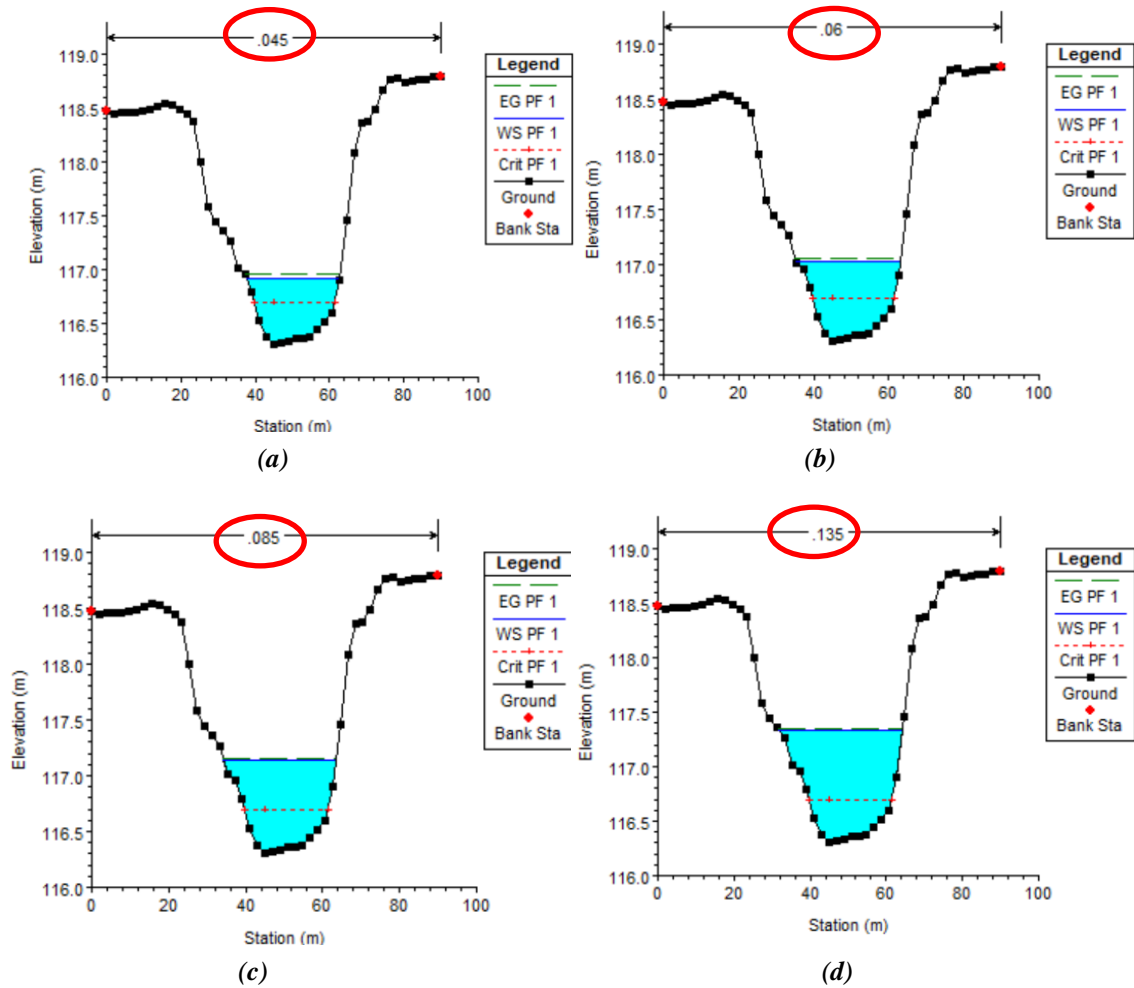
1. modelleme için Tablo 1'de geçen $n_4=0.010$ değeri, 2. modelleme için $n_4=0.025$ değeri, 3. modelleme için $n_4=0.050$ değeri, 4. modelleme $n_4=0.100$ değeri seçilmiştir.

Eşt. 1 kullanılarak 1. modelleme için $n=0.045$ 2. modelleme için $n=0.060$ 3. modelleme için $n=0.085$ ve 4. modelleme için $n=0.135$ olarak hesaplanmıştır. Derenin çalışılan kısmı için topoğrafik değişimlere bağlı olarak toplamda 8 adet enkesit alınmıştır. Sınır koşulları tanımlanmış ve herhangi bir kesitte taşkına sebep olmayacak şekilde debi değeri $10 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak seçilmiştir. Modellemeler HEC-RAS programı ile gerçekleştirilmiştir. Tekrarı onlemek amacıyla memba kısmından alınan ilk kesit için modelleme sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur. Ayrıca 4 farklı modelleme için de memba kısmından alınan ilk en kesitteki değişimi gorebilmek adına HEC-RAS sonuçlarına yer verilmiştir (şekil 3).

Bunlara ek olarak, hesaplanan 4 farklı n değeri için Sarıhan deresinin herhangi bir kesitinde taşkına sebep olacak kritik debi değerleri (sınır değer) de belirlenmiştir. 1. Modelleme için seçilen n değeri hesaplarda kullanıldığında kritik debinin $44 \text{ m}^3/\text{sn}$, 2. Modelleme için seçilen n değeri hesaplarda kullanıldığında kritik debinin $26 \text{ m}^3/\text{sn}$, 3. Modelleme için kritik debinin $19 \text{ m}^3/\text{sn}$, 4. Modelleme için de kritik debinin $12 \text{ m}^3/\text{sn}$ olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada bulunan sonuçlar literatürde yer alan çalışmalarla kıyaslanıp tartışıldığında tutarlı sonuçların elde edildiği düşünölmektedir.

Tablo 2. İlk kesit için modelleme sonuçları

	Pürüzlölük katsayısı (Cowan) n	Hız (m/sn)	Froude sayısı	Akım alanı (m^2)
1. modelleme	0.045	0.91	0.44	10.97
2. modelleme	0.060	0.71	0.32	14.04
3. modelleme	0.085	0.59	0.24	17.09
4. modelleme	0.135	0.43	0.16	23.19



şekil 3. Memba tarafındaki ilk kesitin HEC-RAS sonucu [(a) birinci modelleme için (b) ikinci modelleme için (c) üçüncü modelleme için (d) dördüncü modelleme için

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, mevsimsel değişim ile birlikte bitki örtüsünün değişmesi sonucu farklı pürüzlülük katsayılarıyla serbest yüzeyli akımlarda oluşabilecek akım durumları incelenmiştir. Çalışmada, sayısal modeli oluşturabilmek için ArcGIS ve Hec-GeoRAS yazılımları kullanılmıştır. Toplamda 8 enkesit alınmıştır. Cowan yöntemi kullanılarak 4 farklı yüzey pürüzlülüğü hesaplanmıştır. Bu 4 farklı durum için açık kanal akımı HEC-RAS yazılımı ile modellenmiştir. 8 enkesitin tamamı, her bir modelleme için ayrı ayrı incelenmiştir.

Pürüzlülük katsayısı arttığında Froude sayısı azalmakta, enkesitlerdeki hızın azaldığı görülmekte ve buna bağlı olarak su seviyesinin arttığı aynı enkesit için akım alanının da arttığı görülmektedir. Bu çalışma ile mevsimsel değişim sonucu değişen pürüzlülük katsayısının modellemedeki önemi göz önüne serilmiştir. Hızların oldukça değiştiği gözlenmektedir. Ayrıca çalışmada Hesaplanan 4 farklı n değeri için Sarıhan deresinin herhangi bir kesitinde taşkına sebep olacak kritik debi değerleri de belirlenmiştir. 1. Modelleme için kritik debinin 44 m³/sn, 2. Modelleme için kritik debinin 26 m³/sn, 3. Modelleme için kritik debinin 19 m³/sn ve 4. Modelleme için de kritik debinin 12 m³/sn olduğu belirlenmiştir.

Özellikle taşkın kanalları modellenirken pürüzlülük katsayısının seçimi oldukça önemlidir. Pürüzlülük katsayısının doğru seçimi hızı ve kesitlerde oluşacak olan su seviyesini dolayısıyla taşkın durumunu etkileyecektir. Çok sayıda can kaybına ve büyük maddi hasarlara neden olan taşkınları önlemek, iyi bir planlama ve projelendirmeyi gerektirmektedir. Taşkınlardan korunmak adına doğru projelendirme oldukça önem arz etmektedir. Ayrıca taşkın önlem çalışmaları da sosyal açıdan halk da güven tahsis edilmesi bağlamında önemlidir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] WWDR, "The United Nations World Water Development Report," Nature-Based Solutions for Water, Unesco, France, Rap. 7, 2018.
- [2] M. Üyüküoğlu, B. Ünal, B. Turan, "HEC-RAS paket programı ile Manavgat ilçesi Ilıca deresi taşkın bölgesinin modellenmesi," 4. *Su Yapıları Sempozyumu*, Antalya, Türkiye, 2015.
- [3] A. Bulu, E. Yılmaz, "Serbest yüzeyli akımlarda pürüzlülük katsayısının belirlenmesi," *Türkiye Mühendislik Haberleri*, c. 47, s. 420-422, ss. 79-81, 2002.
- [4] M.S. Horritt, P.D. Bates, "Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation," *Journal of Hydrolog*, c. 268, s. 1-4, ss. 87-99, 2002.
- [5] H. Özdemir, "Taşkınların haritalanmasında Hec-GeoRAS ve Hec-RAS'ın kullanımı: Havran çayı örneği (Balıkesir)," *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, Trabzon, Türkiye, 2007.
- [6] Ö. Dursun, "Murat nehrinin Elazığ ili palu ilçesi civarındaki taşkın seviyesinin belirlenmesi," *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, c. 7, s. 1, ss. 130-133, 2008.
- [7] J.D. Bales, C.R. Wagner, "Sources of uncertainty in flood inundation maps," *Journal of Flood Risk Management*, c. 2, s. 2, ss. 139-147, 2009.
- [8] G. Di Baldassarre, A. Castellarm, A. Brath, "Analysis on the effects of levee heightening on flood propagation: example of the river Po, Italy," *Hydrological Sciences Journal*, c. 54, s. 6, ss. 1007-1017, 2009.

- [9] O. Özcan, N. Musaoğlu, D.Z. Şeker, "Taşkın alanlarının CBS ve UA yardımıyla belirlenmesi ve risk yönetimi; Sakarya havzası örneği," *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 2009.
- [10] D. Biondi, D.L. De Luca, "Performance assessment of a bayesian forecasting system (BFS) for real-time flood forecasting," *Journal of Hydrology*, s. 479, ss. 51-63, 2013.
- [11] S.S. Nas, E. Nas, "Taşkın alanlarının coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla belirlenmesi ve risk analizi: Harşit çayı (Gümüşhane) örneği," *Taşkın ve Heyelan Sempozyumu*, Trabzon, Türkiye, 2013, ss 405-419.
- [12] E. Doğan, O. Sönmez, E. Yapan, K. Othan, S. Özdemir, T. Çitgez, "Aşağı Sakarya nehrinde taşkın yayılım haritalarının elde edilmesi," *SAÜ. Fen Bil. Der.*, c. 17, s. 3, ss. 363-369, 2013.
- [13] C. Yerdelen, M. Mertsoy, G. Tayfur, "Rijit gövdeli bitkilerin neden olduğu manning katsayısının araştırılması," *İMO Teknik Dergi*, c. 26, s. 2, ss. 7055-7076, 2015.
- [14] H. Efe, F. Önen, "Batman çayı'nın taşkın analizinin HEC-RAS programıyla yapılması," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi – Mühendislik Dergisi*, c. 6, s. 2, ss. 83-92, 2015.
- [15] M.M. Ibrahim, N.B. Abdel-Mageed, "Effect of bed roughness on flow characteristics," *International Journal of Academic Research*, c. 6, s. 5, ss. 169-78, 2014.
- [16] B. Ercan, A. E. Yağcı, M. Ünsal, "Kahramanmaraş Domuz (Boğaz) Deresi Kuşaklama Kanalının HEC-RAS Modeli," *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, c. 5, s. 1, ss. 58-64, 2019.
- [17] S. Ogras, F. Onen, "Flood Analysis with HEC-RAS: A Case Study of Tigris River," *Advances in Civil Engineering*, c. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/6131982
- [18] İ. Uçar, "Trabzon değirmendere havzasında coğrafi bilgi sistemleri ve bir hidrolik model yardımıyla taşkın analizi yapılması," Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [19] Anonim, "Hec-geoRAS Gıs tools for support of Hec-RAS using Arc-GIS, User's Manual Version 4.2," US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Amerika, 2009.
- [20] Anonim, "HEC-RAS River Analysis System" User's Manual 6.0 Beta," U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Amerika, 2020.
- [21] İ. Tuncer, "Açık Kanallarda Su Yüzü Profilinin Belirlenmesi, Nakkaş Dere Örneğinde Bir HEC-RAS Uygulaması," Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [22] Anonim, "Bayburt ili 2015 yılı çevre durum raporu," Bayburt Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Çed ve Çevre Hizmetleri Şube Müdürlüğü, Türkiye, 2016.
- [23] Anonim, "Dere yatakları için pürüzlülük katsayısı belirleme kılavuzu," DSİ, Ankara, Türkiye, 2015.
- [24] W. L. Cowan, "Estimating hydraulic roughness coefficients," *Agricultural Engineering*, c. 37, s. 7, ss. 473-475, 1956.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Orman Mühendisliği Meslek Alanında Yayımlanan Orman Mühendisliği ve Yeşil Dünya Dergilerinin İncelenmesi

 Ayşe Tuğçe BULUT ^a,  Yaşar Selman GÜLTEKİN ^{b,*}

^a Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.898913

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Orman Mühendisleri Odası (OMO) tarafından yayımlanan ve orman mühendisliği mesleği ile ilgili olan Orman Mühendisliği ve Yeşil Dünya dergilerinin 1962-2020 yılları arasındaki sayılarının içerik olarak hangi konularda odaklandığını ortaya koymaktır. 2005-2020 yıllarının içerik analizinde ise ayrıca MAXQDA 2020 programından yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan 467 adet sayıda yayımlanan başlıca konular sistematik bir şekilde incelenerek içeriklerinde hangi konulara değinildiğinin ve konular arasındaki ilişkilerin değerlendirmesinde içerik analizi yöntemi kullanılmıştır. Çalışma bulguları toplamda 5245 adet konudan bahsedildiğini ve bu konuların orman mühendisliğinin alt bilim dallarıyla ilişkili olanlarının sayısının 2008, Odadan haberler-Kongreler ve Genel konularının sayısının ise 3237 olduğunu göstermektedir. Yapılan içerik analizine göre, 2005-2020 yılları arasında en çok kullanılan kelimelerin orman, mühendis, ağaç, ormancılık, toprak, tür, doğa, kanun, yangın ve mühendislik olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Orman Mühendisliği ve Yeşil Dünya dergilerinin içerikleri ve ele alınan konular hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, dergilerde en çok OMO'nun faaliyetlerine yer verildiği görülmüştür. Yapılan içerik analizinde ise, orman mühendisi, orman yangını, orman alanı, orman ekosistemi, tohum bahçeleri vb. dikkat çekici kelime kombinasyonlarının olduğu anlaşılmıştır. OMO'nun dergilerde oda faaliyetlerini daha sade ele alarak ormancılık alanında daha fazla bilgi ve sorunlara yer vermesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Orman Mühendisliği Dergisi, Yeşil Dünya Dergisi, Orman Mühendisleri Odası, İçerik Analizi.

Review of Forest Engineering and Green World Journals Published in the Forest Engineering Profession

ABSTRACT

The aim of this study is to reveal that the issues of Forest Engineering and Yeşil Dünya magazines published by the Chamber of Forest Engineers between 1962 and 2020 focus on the content of the forest engineering profession. The MAXQDA 2020 program was used in the content analysis of the years 2005-2020 separately. The content analysis method was used to evaluate which subjects were addressed in their contents and the relations between them by systematically examining the main issues that were published in 467 issues within the scope of the study. The findings showed that a total of 5245 topics were mentioned, and the number of these topics related to forest engineering sub-disciplines was 2008, and the number of news about the Chamber, Congress and General issues was 3237. According to content analysis, it was determined that the most used words between 2005 and 2020 were forest, engineer, tree, forestry, soil, species, nature, law, fire and engineering. As a result of the study, evaluations were made about the contents of Forest Engineering and Yeşil Dünya journals and the topics covered. According to the results, it was seen that the activities of OMO were mostly included in the magazines. In the content analysis,

forest engineer, forest fire, forest area, forest ecosystem, seed orchards, etc. remarkable word combinations have been found. It is recommended that OMO should include more information and problems in the field of forestry by considering chamber activities more simply in magazines.

Keywords: *Orman Mühendisliği Magazine, Yeşil Dünya Magazine, Chamber of Forest Engineers, Content Analysis.*

I. GİRİŞ

İnsanların tarih boyunca yeryüzündeki yaşam ortamlarına duyduğu merak dürtüsü modern bilimin temellerinin atılmasını sağlamıştır. Bilim, öncelikle sistematik bilgiler topluluğudur. Bu bilgiler olgusal ve mantıksal açıdan bir bütündür. İnsan, dünyada karşılaştığı nesnelere bilmek ister. Bu nesnelere ile insan arasındaki etkileşim sonunda ortaya çıkan ürüne bilgi denir [1]. Bilgi sözcüğünün sözlü dönemden yazılı döneme ve matbaanın bulunmasının ardından dijital yayıncılığa geçilmesiyle, kitaplaşma dönemi ve yayıncılık düşünceleri de farklılaşmaya başlamıştır [2].

Yayın kavramı Türk Dil Kurumu (TDK)'ya göre; “ *radyo televizyon aracılığıyla halka sunulan, duyurulan, iletilen eser, program, basılıp satışa çıkarılan kitap, gazete vb., neşriyat*”, yayım ise “ *kitap, gazete vb. okunacak şeylerin basılıp dağıtılması*” olarak tanımlanmaktadır [3]. Diğer bir ifadeyle yayım; internet, televizyon ve radyo kanallarıyla topluma sunulan ya da basılan dergi, gazete gibi okunan bütün gereçler olarak tanımlanmaktadır [4]. Sıklıkla okunan, basılı olan gazeteler ve dergiler gibi televizyonlara kadar bütün faaliyetler yayıncılık kapsamındadır. Tarihsel bilgilerin saf halde derlenip toparlanmasında, kamuoyu oluşturmada ve toplumsal mirasların kuşaklar arası aktarımında yayıncılığın önemi büyüktür. Teknolojinin gelişmesiyle ilk olarak yazılı, daha sonra işitsel ve son olarak görsel yayıncılığı insanların tanıdığı bilinmektedir [5].

Türkiye’de yayım faaliyetlerinin, batı ülkelerinde yayıncılığın ve ticaretin gelişmesi ile ekonomik ihtiyacı karşılamak amacıyla ortaya çıktığı ve geliştiği ifade edilmektedir [6]. Yayıncılık içeriklerine, hedef kümelerine ve ulaşılabilirliklerine göre bölümlendirilebilir. Buna göre yayımlar; haber, iktisat ve magazin gibi içeriklerde gazete, dergi, televizyon veya radyo programları olarak sınıflandırılabilir [7].

1700’lü yılların sonlarına doğru Türkiye’de dergi yayıncılığının başladığı belirtilmektedir. Osmanlı döneminde ilk yabancı dildeki dergi 1795’te yayımlanan “Bulletin de Nouvelles” olarak bilinmektedir. Türkçe dergilerin yayımlanması için ise yaklaşık yarım asır geçtiği bildirilmektedir [8]. 1849’da Türkiye’de yayımlanan ilk Osmanlıca-Türkçe derginin, tıp alanında “Vekayi-i Tıbbiye” isimli bir dergi olduğu bilinmektedir. Vekayi-i Tıbbiye dergisinden sonra 1862 yılında çıkarılan “Mecmua-i Fünun” adlı dergi, derginin sahibi Münif Paşa’nın “Cemiyet-i İlmiye-i Osmaniye” ismiyle kurduğu bir derneğin iletişim aracı olarak çıkarıldığı düşünülmektedir [9].

Türkiye’de ormancılık üzerine ilk dergiciliğin örneği olarak “Mecmua-i Fünun” verilebilir [10]. Osmanlı döneminin ilk popüler bilim dergisi olan “Mecmua-i Fünun”da 1864 yılında yayımlanan 32. sayısında ormancılıkla ilgili ilk basılmış makale, yazarı Mehmet Nazif Bey olan “Orman Bilimi”dir [11].

Türkiye İstatistik Yıllığı 2019 verilerine göre; 2018 yılına göre %8,0 azalarak yılda 5 bin 485 civarında akademik, popüler, haber dergileri ve gazeteler yayımlanmaktadır. Bu yayıncılık faaliyetlerinin %57,4’ü dergi kategorisindedir [12]. Bununla birlikte, Türkiye’de ormancılık alanında yayımlanan ilk dergi olan “Orman ve Av” dergisi 1928 yılından beri düzenli olarak yayımlanmaktadır [13].

Orman mühendisliği mesleğinin 150 yıldan fazla bir geçmişe sahip olduğu bilinmektedir [14]. Türkiye’de ise, Fransız ormancıların katkılarıyla 1857 yılında ormancılık eğitiminin verilmesi amacıyla

kurulan, orman okulu ile ilk orman mühendislerinin yetiştirilmeye başlandığı bilinmektedir. Halkalı Ziraat Okulu ve Orman Okulu, Tanzimat Dönemi'ndeki ilk mühendislik okulları arasındadır. Orman Mektebi sonradan Orman Mektebi Ali'sine dönüşerek, 1933'te kurulan Yüksek Ziraat Enstitüsü'ne bağlanmış, 1948'de Enstitü'den ayrılarak İstanbul Üniversitesi yapısı altında Orman Fakültesi olarak yer almıştır [14]. Ayrıca Türkiye tarihi açısından önemli bir yeri olan ilk ormancılık teşkilatı da "Orman Müdürlüğü" adıyla Ticaret Nezaretine bağlı olarak 1839'da İstanbul'da kurulmuştur [15].

Orman mühendislerinin ilk mesleki kuruluşu "Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği" (TMMOB)'nin de üyesi olan Orman Mühendisleri Odası (OMO)'dır [16]. OMO, 1954 yılında Orman Mühendisi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisi ve Orman Endüstri Mühendislerini bir çatı altında toplamak amacıyla kurulan tüzel kişiliğe sahip bir kuruluştur [17]. OMO "Orman Mühendisliği" dergisini, ilk olarak 1962 yılının Nisan ayında yayımlamaya başlamıştır [18]. OMO'nun, Orman Mühendisi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisi ve Orman Endüstri Mühendislerinden oluşan bir kurum olması nedeniyle Orman Mühendisliği adıyla yayımladığı dergisinin ismini sadece Orman Mühendisliği mesleğini belirttiği gerekçesiyle 2018 yılında "Yeşil Dünya" olarak değiştirmiştir [17].

Bu çalışmanın amacı, Orman Mühendisliği ve Yeşil Dünya dergilerinin 1962-2020 yılları arasındaki sayılarının içerik olarak hangi konularda odaklandığını ortaya koymaktır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu araştırmanın ana materyalini merkezi Ankara'da bulunan OMO'nun arşivinden ve resmi internet adresinden (<https://ormuh.org.tr/>) elde edilen "Orman Mühendisliği ve Yeşil Dünya" dergilerine ilişkin veriler oluşturmaktadır. Araştırma kapsamında ikincil veri kaynaklarından yararlanılmıştır.

Bu çalışmanın başlangıç aşamasında OMO genel merkezinden yetkililer ile iletişime geçilerek Orman Mühendisliği dergilerinin 1962-2005 yılları arasındaki tüm sayılarına ulaşabilmek için randevu talep edilmiştir. OMO'dan gelen olumlu yanıt ile, Ankara'da bulunan OMO'nun genel merkezine 24 Temmuz 2018 tarihinde bir ziyaret gerçekleştirilmiştir. Yapılan ziyarette yapılması planlanan çalışma hakkında bilgilendirme yapılarak tüm sayılara erişim talep edilmiştir. Verilen onayın ardından, doküman incelemesinin birinci aşamasını oluşturan Orman Mühendisliği dergilerinin 1962-2005 yılları arasındaki sayılarına OMO'nun kütüphanesinden erişim sağlanmıştır.

OMO kütüphanesindeki Orman Mühendisliği dergileri 1962 yılından 2005 yılına kadar olan sayıların bütün sayfaları cep telefonu kamerası yardımıyla okunaklı olacak şekilde fotoğraflanarak elde edilmiştir. Her sayının fotoğraflama işlemi bittiğinde bilgisayara önce sayı, daha sonra yıllar olarak sistematik bir şekilde veri kaybına yol açmayacak şekilde aktarılmıştır. Ayrıca fotoğraflama sırasında bazı dergi ve sayılara arşivde bulunamadığından ulaşılamamıştır. Yıllar, toplam dergi sayıları ve eksik sayılar (27 adet) kısa notlarla birlikte Microsoft Excel programına not edilmiş ve daha sonra tablo haline getirilmiştir. OMO'dan 1962-2005 yılları arasındaki verilerin fotoğraflama yoluyla temini yaklaşık 5 gün sürmüştür. 2005-2020 yılları arasındaki verilerin temini ise OMO'nun resmi internet adresinden (<https://ormuh.org.tr/>) PDF (Taşınabilir Belge Formatı) olarak indirilerek bilgisayar ortamına kaydedilmiştir.

Elde edilen verilerin analiz edilebilmesi için öncelikle tüm dergilerin sayılarında ele alınan başlıca konuların Türkiye'deki orman mühendisliği bölümlerinde ortak olan bilim dalları ve derginin içeriğinde sıklıkla ele alınan konu başlıkları baz alınarak sistematik bir şekilde kategorize edilmiştir. Bilim dalları ve konu başlıkları; orman ekonomisi, silvikültür, orman amenajmanı, havza yönetimi, mera, milli parklar, ormancılık toplantıları, orman endüstrisi, odadan haberler, genel konular ve eğitim olarak belirlenmiştir. Veriler konularına göre ayrıştırıldıktan sonra dergilerde ele alınan konuların ve konular arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi yapılarak ele alınan konuların içerikleri arasındaki ilişkiler yıllara göre periyodik ve kronolojik olarak sınıflandırılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

1962-2005 yıllarına ait dergi verileri yıllar ve sayılar bazında sırayla okunarak dergilerde yer alan makalelerin içeriklerinin belirlenerek orman mühendisliğinin bilim dallarına ve konulara göre sınıflandırması yapılmıştır. Bu çalışmada makale temelli bir analiz yapılmıştır. Dergilerde yer alan makaleler tek bir konu altında ele alınmıştır. Makalelerin içerikleri okunarak konunun başlıca neye değindiği saptanmış ve buna göre hangi bilim dalının içeriği olduğu kontrol edilerek belirlenmiştir. Birden fazla konunun birlikte ele alındığı makaleler için makalenin en baskın olan konuya atanması yapılmıştır. Ayrıca, elde edilen dergi verileri yıllar ve konular itibarıyla 10'ar yıllık periyotlarla Microsoft Excel programında tablolaştırılarak açıklayıcı grafikler oluşturulmuştur.

Çalışmanın son aşamasında ise, içerik analizi yöntemi ile 2005-2020 yılları arasında yayımlanan dergilerin içerik incelemesi yapılmıştır. İçerik analizi yöntemi, herhangi bir ifadeyi idrak etmede, yorumlamada, sübjektif faktörlerden kurtulma amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntem ile, ifadelerinin açıkça görünen, ilk bakışta basitçe anlaşılabilir içeriği yerine, daha saklı ve üstü örtülü içeriğini meydana çıkarmaktadır. Diğer bir ifadeyle içerik analizi, verilmek istenen düşüncede, konunun içeriğindeki unsurların daha objektif bir şekilde tayin edilmesine yönelik "ikinci bir okuma"dır. Bu okuma, yeni bir şeyler öğreten ve yeni bir bakış açısı oluşturmaya katkı sağlayan bir okuma biçimidir. Ayrıca düşüncelerde incelenen ve tasvir edilen unsurlardan hareketle daha detaylı açıklama amacını taşımaktadırlar [19]. İçerik analizi yönteminde sabırlı olmak ve titiz çalışmak gerekir. Öyle ki "gerçeğin basit okuması" güzel olmakla birlikte yeterli değildir. İçerik analizi yöntemleri iki amaca hizmet etmeye yöneliktir:

- Mutlak bilgi edinme ve şüpheleri yok etmek,
- Elde edilen metni zenginleştirmek ve görüşü genişletmek [20].

İçerik analizi yönteminin uygulanması, bazı aşamalardan meydana gelmektedir. İlk olarak araştırmanın yanesi belirlenmelidir. Hedef veya amaçların tespit edilmesi, enerji ve zaman tasarrufu sağlamaktadır. İkinci aşamada örneklem oluşturulmalıdır. Oluşturulacak örneklem sınırlı sayıda dergi, film, gazete ve diğer iletişim türlerinden oluşabilmektedir. Üçüncü aşamada ise, örneklemin ayrılacağı hususlar, birimler veya kayıt birimleri ve kategoriler tespit edilir. Birimlerin ve kategorilerin sıklıkları miktar olarak belirlendikten sonra, "değerlendirme, sonuç ve yorumlama" aşamasına gelinmiş olur [19].

Bir çalışmada uygulanacak olan içerik analizi için aşağıdaki 6 soru önemlidir ve analizde bu sorulara cevap aranmalıdır [21].

- Çözümlemesi yapılacak veriler hangileridir?
- Veriler nasıl tanımlanır?
- Çıkarımların amacı nedir?
- Analizi yapılan verilerin içerikleri nelerdir?
- Çözümlemenin sınırları nelerdir?
- İşlenmiş verinin örnekleme nedir

Orman Mühendisliği ve Yeşil Dünya dergilerinin 2005-2020 yılları arasındaki PDF dosyaları şeklinde elde edilen tüm sayılarına içerik analizi yöntemi MAXQDA 2020 programından yararlanılarak uygulanmıştır. Metin içerisinde geçen bölümleri olduğu gibi kodlamaya yarayan (In-vivo) seçeneği kullanılarak kelime kodlamaları yapılmıştır [22]. MAXQDA programına aktarılan PDF dosyaları 2005-2010, 2011-2015 ve 2016-2020 yıllarını içerecek şekilde kelime frekanslarına bakılmıştır. Kelime frekanslarına göre tek başına anlam ifade etmeyen ve direkt ormanlık konularıyla alakalı olmayan kelimeler (ve, ile, ancak vb.) frekans tablosunun dışında bırakılmıştır. Ormanlık ile ilgili anlam ifade eden kelimeler önce kelime frekansları yapılmış, daha sonra ikili ve üçlü olarak "kelime kombinasyonları" oluşturulmuştur. Frekansına bakılan bu kelimelerin sıklık ve yüzdeleri hesaplanmıştır. Hesaplanan kelime öbekleri hem Tablolar halinde hem de kelime öbeklerinin sıklık ve yüzdelerine göre MAXQDA programı aracılığı ile "kelime bulutları" oluşturularak analiz edilmiştir. Fakat ikili ve üçlü kelime kombinasyonları için kelime bulutuna yer verilmemiştir.

Orman Mühendisliği dergisinin 27 sayısının arşivde olmamasından dolayı bu sayılar çalışmanın değerlendirme kapsamı dışında kalmıştır. Ayrıca arşivde dergi sayılarının bazı sayfalarının eksik olduğu görülerek not edilmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında yapılan araştırma ile 1962-2020 yılları arasında yayımlanmış 495 adet dergi sayısına ulaşılmıştır. Orman Mühendisliği dergisinin bazı sayılarının arşivde olmamasından dolayı bu sayılar çalışmanın değerlendirme kapsamı dışında kalmıştır. Orman Mühendisliği dergilerinden 27 adet sayı arşivde bulunamamıştır. Aslan [23] tarih alanında yaptığı çalışmada da 17 nüsha olarak yayımlanmış olan gazeteden sadece 14 nüshasına ulaşılarak bir içerik analizi yapılmıştır. Ayrıca arşivde dergi sayılarının bazı sayfalarının eksik olduğu görülerek not edilmiştir. Yapılan incelemede ulaşılan dergilerin içeriğinde toplam konu başlıklarının sayısının 5663 olduğu belirlenmiştir.

Orman Mühendisliği ve Yeşil Dünya dergilerine yönelik yapılan çalışmalar onar yıllık zaman dilimlerine ayrılarak (1962-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010 ve 2011-2020), bu yıllar arasındaki ulaşılabilen tüm sayılarının içerikleri analiz edilmiştir.

Orman Mühendisliği ve Yeşil Dünya dergilerinin 1962-2020 yılları arasındaki içeriklerinde toplamda 4917 adet konu başlığına ulaşılmıştır. Çelikel [24] sosyoloji alanında yaptığı bir çalışmada 19 farklı derginin toplamda 503 sayısı ve bu sayılarda da 5543 adet konu başlığına yer verilmiş ve sadece konu başlıkları herhangi bir program kullanılmadan analiz edilmiştir.

Çalışma kapsamında konular 12 bölüme ayrılmıştır. Bu bölümlerden 9 tanesi orman mühendisliği bölümünün bilim dallarına ait iken diğer 3 adedi ise odadan haberler ve genel konulardır. Orman Mühendisliği dergisinin 1962-2020 yılları arası konularına göre dağılımı Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Orman mühendisliği dergisinin 1962-2020 yılları arası konularına göre dağılımı

Bilim dalları /Konular	Yıllar						Toplam
	1962-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2020	
Genel	174	257	702	451	351	271	2032
Odadan haberler	152	232	330	155	89	58	864
Silvikültür	125	137	261	128	85	56	667
Orman ekonomisi	104	108	109	76	96	29	418
Havza yönetimi	52	51	87	64	20	21	243
Orman amenajmanı	35	32	60	52	14	16	174
Orman endüstrisi	31	24	46	45	13	16	144
Orman entomolojisi ve koruma	29	20	37	34	12	11	114
Eğitim	18	13	36	30	8	16	103
Orman inşaatı jeodezi ve fotogrametri	17	10	37	24	6	7	84
Milli parklar	7	9	25	10	3	5	52
Ormancılık toplantıları	2	3	12	4	0	3	22
TOPLAM	746	896	1742	1073	697	509	4917

Tablo 1’e göre; Orman Mühendisliği dergisinin 1962-1970 yılları arasında konulara göre dağılımı değerlendirildiğinde, Orman amenajman kadastrosu ve hasılatı (35), Eğitim (18), orman ekonomisi

(104), Genel (174), Havza yönetimi (52), Milli parklar (7), Odadan haberler (152), Ormancılık toplantıları (2), Orman endüstrisi (31), Silvikültür (125), Orman inşaatı, jeodezi ve fotogrametri (17), Orman entomolojisi ve koruma (29) adet olmak üzere toplamda 746 adet konu içeriğinin olduğu tespit edilmiştir. Orman mühendisliğinin bilim dalları göz önüne alındığında 1962-1970 yılları arasında en fazla silvikültürel uygulamalara ilişkin konuların ele alındığı görülmektedir. 1962-1970 yılları arasındaki konuların dağılım ve sayılarına bakıldığında diğer yıllara göre en az konunun ele alındığı yılın 43 konu ile derginin ilk yayımlandığı yıl olan 1962 yılı olduğu görülmüştür. Aynı yıl aralığında en fazla 113 konuyla 1969 yılında yer verildiği belirlenmiştir.

Orman Mühendisliği dergisinin 1971-1980 arasındaki konu dağılımları bilim dalları bazında en az yer verilen konuların 3 adet konu ile “milli parklar” olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca en çok içeriği olan konuların ilk sırasında 257 ile “genel” bilgiler, ardından bu konuyu 232 ile “odadan haberler” takip etmektedir. Fakat bilim dalları olarak bakıldığında en fazla 137 ile orman ekonomisi konularının ilk sırada yer aldığı belirlenmiştir. Tablodaki veriler yıl bazında ele alındığında en fazla 1975 yılında, en az ise 1980 yılında konu sayılarına yer verilmiştir. 1977 yılına ait Orman Mühendisliği dergisi verilerine OMO arşivinde bulunmadığı gibi başka yerlerde yapılan araştırmalar sırasında da ulaşılamamıştır. Bu durum dikkat çekmektedir.

Orman Mühendisliği dergisinin 1981-1990 yılları arası konularına göre dağılımlarına bakıldığında toplamda 1742 adet konu yer almıştır. Tablo genelinde en fazla konu içeriğine sahip olarak ilk sırada 702 ile “odadan haberler”, ardından bu konuyu 261 ile “genel” bilgiler takip etmektedir. Fakat bilim dalları olarak bakıldığında en fazla 330 ile silvikültür konularının ilk sırada yer aldığı, en az içeriği olan konuların ise 12 ile “ormancılık toplantıları” alanında olduğu görülmektedir. Veriler yıl bazında ele alındığında en fazla 1985 yılında, en az ise 1981 yılında konu sayılarına yer verilmiştir.

Orman Mühendisliği dergisinin 1991-2000 yılları arası konularına göre dağılımına bakıldığı zaman dağılımları bilim dalları bazında en az yer verilen konuların 4 adet konu ile “orman inşaatı jeodezi ve fotogrametri” olduğu görülmektedir. Fakat bilim dalları olarak en çok konu içeren ise 155 konu ile silvikültür ilk sırada yer aldığı belirlenmiştir. Ayrıca en çok içeriği olan konuların ilk sırasında 451 ile “odadan haberler”, ardından bu konuyu 128 ile “genel” bilgiler takip etmektedir. Tablodaki veriler yıl bazında ele alındığında en fazla 1991 yılında, en az ise 1997 yılında konu sayılarına yer verilmiştir.

Orman Mühendisliği dergisinin 2001-2010 yılları arası konularına göre dağılımına göre; incelenen tabloda bilim dalları bazında en az bahsedilen alanın ise 3 adet konu ile “orman inşaatı jeodezi ve fotogrametri” alanında olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca en çok içeriği olan konuların ilk sırasında 351 ile “odadan haberler” ardından bu konuyu 89 ile “genel” bilgiler takip etmektedir. Dikkat çeken konulardan birisi, toplam konu sayısı 697 olduğuna göre konuların yaklaşık yarısını “odadan haberler” içermektedir. Ayrıca, bilim dallarına göre bakıldığı zaman en çok bahsedilen bilim dalı 85 ile “silvikültür” ilk sıralarda görülmektedir. Veriler yıl bazında bakıldığında en fazla 2008 yılında, en az ise 2004 yılında konu sayılarına yer verilmiştir.

Orman Mühendisliği dergisinin 2011-2020 yılları arası konularına göre dağılımı incelendiğinde bilim dalları bazında en az yer verilen konuların “eğitim” (3 adet) ve “orman amenajman, kadastrası ve hasılatı” 5 adet, ve “orman inşaatı jeodezi ve fotogrametri” konulardan 7 defa bahsedilmiştir. Ayrıca bilim dalları olarak bakıldığında 56 konu ile “silvikültür” konularının ilk sırada yer aldığı belirlenmiştir. Fakat en çok içeriği olan konuların ilk sırasında 271 ile “odadan haberler” yer almaktadır. Diğer bir ifadeyle toplam konuların yaklaşık yarısını odadan haberler bölümü oluşturmaktadır. Veriler yıl bazında ele alındığında en fazla 2011 yılında, en az ise 2017 yılında konu sayılarına yer verilmiştir.

Bu bölümde ise MAXQDA programı ile 2005-2020 yılları arasındaki dergiler içerik analizine tabi tutulmuştur. Buna göre, 2005-2010 yılları arası Orman Mühendisliği dergisinin içerik analizi ile elde edilen bulguları Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. 2005-2020 yılları kelime frekansları

2005-2010			2011-2015			2016-2020		
Kelime	Frekans	%	Kelime	Frekans	%	Kelime	Frekans	%
orman	9307	361,44	orman	8960	25,72	orman	6153	22,68
mühendis	2323	90,21	mühendis	1491	4,28	ağaç	1357	5
ağaç	1696	65,86	ormancılık	1477	4,24	mühendis	1248	4,6
ormancılık	1519	58,99	ağaç	1464	4,20	tür	867	3,2
toprak	1187	46,1	mühendislik	1342	3,85	doğa	710	2,62
kanun	1158	44,97	kanun	1005	2,89	ormancılık	631	2,33
yangın	1104	42,87	üretim	718	2,06	bitki	598	2,2
çevre	974	37,83	eğitim	656	1,88	toprak	518	1,91
bitki	855	33,2	toprak	622	1,79	doğal	500	1,84
türler	848	32,93	yönetim	622	1,79	mühendislik	479	1,77
arazi	750	29,13	yönetmelik	608	1,75	yangılar	477	1,76
odun	704	27,34	doğal	591	1,70	Türkiye	453	1,67
yönetim	681	26,45	işletme	591	1,70	tohum	424	1,56
üretim	664	25,79	odun	562	1,61	endüstri	421	1,55
yönetmelik	606	23,53	tür	555	1,59	eğitim	411	1,52
mücadele	577	22,41	bitki	554	1,59	kanun	385	1,42
endüstri	445	17,28	endüstri	519	1,49	yönetim	376	1,39
eğitim	435	16,89	arazi	510	1,46	yönetmelik	358	1,32
işletme	430	16,7	yangın	454	1,30	mücadele	355	1,31
köy	421	16,35	çevre	429	1,23	işletme	351	1,29

Tablo 2'ye göre; 2005-2010 yılları arasında en fazla kullanılan kelime öbeklerinin ilk beş tanesinin orman, mühendis, ağaç, ormancılık ve toprak olduğu görülmektedir. Tablo 2 kelime frekanslarının ilk yirmisi ele alınarak oluşturulmuştur. Ayrıca ikili kelime kombinasyonları da ilk 25 kelime ele alınarak oluşturulmuştur (Tablo 3). Çalışmada mühendis sözcüğünden (n=2323) defa bahsedilmiştir. Ayrıca, 2005-2020 yılları arası derginin içerik analizi ile elde edilen ilk 50 kelimeyi içeren kelime bulutu Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 3. 2005-2020 yılları ikili kelime kombinasyonları

2005-2010			2011-2015			2016-2020		
Kelime kombinasyonu	Frekans	%	Kelime kombinasyonu	Frekans	%	Kelime kombinasyonu	Frekans	%
orman mühendisi	390	133,56	orman mühendisi	226	89,33	orman mühendisi	184	92,00
orman yangını	185	63,36	orman alanı	212	83,74	ağaç türü	131	65,50
orman alanı	157	53,77	ağaç türleri	111	43,87	orman yangını	109	54,50
ağaç türü	122	41,78	orman ekosistemi	111	43,87	tohum bahçeleri	90	45,00
orman amenajmanı	119	40,75	odun hammaddesi	99	39,13	orman alanı	90	45,00
orman kanununu	109	30,49	orman kanunu	93	36,76	ehrami karaçamı	83	41,50
ormanlık alan	84	28,77	orman köylüsü	85	33,60	orman ağaçları	49	24,50
kabuk böcekleri	83	28,42	orman yangını	83	32,81	orman amenajmanı	34	17,00
odun üretimi	82	28,08	orman köyü	68	26,88	orman bitkileri	29	14,50

Tablo 3. (devam) 2005-2020 yılları ikili kelime kombinasyonları

orman ekosistemi	80	27,40	orman amenajmanı	57	22,53	orman köylüsü	28	14,00
orman köylüsü	77	26,37	orman ağacı	45	17,79	orman kanunu	27	13,50
orman ağaçları	66	22,60	ormancılık eğitimi	41	16,21	trüf mantarı	26	13,00
odun hammaddesi	56	19,18	orman bitkileri	31	12,25	Anadolu karaçamı	24	12,00
fidan üretimi	55	18,83	odun üretimi	30	11,86	yangınla mücadele	23	11,50
orman işletmeleri	40	13,70	orman toprağı	30	11,86	hukuk mücadelesi	22	11,00
bitki türleri	34	11,64	orman yönetimi	30	11,86	doğal orman	19	9,50
orman toprağı	31	10,62	fidan üretimi	27	10,67	odun üretimi	18	9,00
orman yönetimi	29	9,93	ormancılık politikası	26	10,28	orman ekosistemi	16	8,00
tıbbi bitki	27	9,25	kabuk böceğı	25	9,88	doğal kızılçam	15	7,50
baltalık ormanları	27	9,25	orman arazileri	24	9,49	Akdeniz ormanları	14	7,00
biyolojik mücadele	23	7,88	orman fidanlığı	22	8,70	odun hammaddesi	12	6,00
ağaç kabukları	23	7,88	tohum ağacı	19	7,51	ekoturizm alanı	11	5,50
ardıç ormanları	22	7,53	bitki türleri	17	6,72	biyolojik mücadele	10	5,00
ağaçlandırma alanları	20	6,85	ormancılık kamuoyu	14	5,53	meşe ağacı	10	5,00
ormancılık eğitimi	20	6,85	orman işletmeleri	13	5,14	kızılçam ormanları	9	4,50



Şekil 1. 2005-2020 yılları arası kelime bulutu

2005-2020 yılları arası dergilerin içerikleri dikkate alınarak Şekil 1, Tablo 2’ye göre oluşturulmuştur. Kelime frekansı analizinden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde en sık kullanılan sözcüğün “orman” (n=9307) olduğu ve bu kelimenin kelime bulutundaki büyüklüğü de çekmektedir. 2005-2010 yılı dergilerinin kelime bulutunda mühendis (n=2323), ağaç (n=1696), ormancılık (n=1519), toprak (n=1187) vb. kelimelerin ilk beşte yer aldığı görülmektedir. Bu kelimelerin sıklıkla kullanılmasının nedeni orman mühendisliği mesleği ile doğrudan ilişkili kelimeler olduğundan ve farklı konular içerisinde de kullanımının yoğunluğundan kaynaklandığı söylenebilir. 2011-2015 yılları arasında en fazla kullanılan kelime öbeklerinin ilk beş tanesinin orman, mühendis, ormancılık, ağaç ve mühendislik olduğu görülmektedir. Çalışmada mühendis sözcüğünden (n=1491) defa bahsedilmiştir. Ayrıca, 2005-

2020 yılları arası derginin içerik analizi ile elde edilen ilk 50 kelimeyi içeren kelime bulutu Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. 2005-2020 yılları arası derginin içerik analizi ile elde edilen kelime kombinasyonları bulutu

2005-2020 dergilerinin içerikleri dikkate alınarak Şekil 2, Tablo 3’e göre oluşturulmuştur. İlgili dergilerde en fazla kullanılan kelimeler ortaya konulmuştur. En sık kullanılan kelimeler arasında 2005-2010 yıllarında olduğu gibi 2011-2015 yılları arasında orman (n=8960) kelimesi, mühendis (n=1491), ormancılık (n=1477), ağaç (n=1464), mühendislik (n=1342) ilk beş sırada olduğu belirlenmiştir. 2016-2020 yılları arası Orman Mühendisliği dergisinin (2018 yılından itibaren Yeşil Dünya Dergisinin) içerik analizine göre; en fazla kullanılan kelime öbeklerinin ilk beş tanesinin orman, ağaç, mühendis, tür ve doğa olduğu görülmektedir. Analize göre; 2016-2020 yılları arası dergilerde mühendis sözcüğünden (n=1248) defa bahsedilmiştir. 2005-2010 ve 2011-2015 yıllarında olduğu gibi 2016-2020 yılları arasında da orman (n=6153) kelimesinin en sık kullanılan kelime olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 2016-2020 yılı dergilerinin kelime bulutunda ağaç (n=1357), mühendis (n=1248), tür (n=867), doğa (n=710) vb. kelimeler ilk beşte yer aldığı görülmektedir.

2005-2020 yıllarının belirli periyotlarla kelime sıklığına bakılmıştır ve çıkan sonuçlarda “orman” kelimesi ilk sırada yer almaktadır. Dağ [21] ormancılık alanında yapmış olduğu benzer bir çalışmada 837 lisansüstü tezi ele alarak içerik analizi ve kelime bulutları oluşturmuştur. Araştırmacının elde ettiği sonuçlara bakıldığında, kelime frekansında orman kelimesinin ilk sırada yer alması bu çalışmanın bulgularıyla benzerlik göstermektedir.

1960’lı yıllarda silvikültürel uygulamalar ve orman ekonomisi ile ilgili konulara ağırlıklı yer verilirken son yıllarda (Tablo 1’de yer alan 2011-2020 verileri) ele alınan bu konular silvikültür uygulamaları ve orman ekonomisi konularıdır. Ayrıca Tablo 1’de ele alınan konulardan “odadan haberler” ve “genel bilgiler” en çok yer alan konulardır. Milli parklar konusu en az bahsedilen konular arasında yer almasına rağmen periyotlar arası dikkat çeken farklar da görülmüştür.

Analiz programının Türkçe karakter desteği ve formatı olmadığı için kelime analizlerinde bazı zorluklar yaşanmış ve hatalar ortaya çıkmıştır. Kaplan [25] sosyoloji alanında yaptığı çalışmada da bu sorunlardan bahsederek sadece Türkçe makaleleri ele almasına ve İngilizce yazılmış makaleleri araştırmaya dâhil edememesine yol açtığını ve çalışmada sadece “milli kavramlar” ele aldığını belirtmiştir. Fakat yapılan bu çalışmada yaşanan sorunlara rağmen daha fazla kelime ve kelime kombinasyonları ile çalışma yapılabilmektedir.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, Orman Mühendisliği ve Yeşil Dünya dergilerinin 1962-2020 yılları arasında yayımlanan sayıları içerik analizi yöntemi ile incelenmiş ve bilim dalları ve diğer ele alınan konuların sayıları arasındaki farklar ortaya konmuştur. Bu çalışma ile elde edilen veriler genel olarak değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1962-2020 yılları arasındaki dergilerde en çok odadan haberler ve genel konulara yer verildiği belirlenmiştir. Bilim dalları açısından ise en çok silvikültür, en az mera konularına değinildiği görülmüştür. Ayrıca, orman ekonomisi konusuna da ortalama her yıl dergilerde yer verildiği, fakat konu yoğunluğunun farklılık arz ettiği görülmüştür.

Dergilerde 13 farklı alanda konuya yer verilmiştir. Fakat bilim dalları bazında daha az konudan bahsedildiği görülmüştür. Daha dengeli olacak bir şekilde ormancılıkla ilgili her alandan konulara yer verilmesi okuyucular açısından yarar sağlayacağı düşünülmektedir.

2005-2010 yılları arasındaki yapılan analize bakıldığında, en fazla kullanılan kelime öbeklerinin ilk beş tanesinin *orman*, *mühendis*, *ağaç*, *ormancılık* ve *toprak* olduğu görülmektedir. Yapılan içerik analizine göre 2011-2015 yılları arasında en fazla kullanılan kelime öbeklerinin ilk beş tanesinin *orman*, *mühendis*, *ormancılık*, *ağaç* ve *mühendislik* olduğu tespit edilmiştir. 2015-2020 yılları arasında yapılan içerik analizinde ise; *orman*, *ağaç*, *mühendis*, *tür* ve *doğa* kelimeleri en fazla kullanılan ilk beş kelime olarak çıkmıştır.

1962-2005 arası ele alınan konular ile 2005-2020 arası yapılan içerik analizinin konular bazında değerlendirildiğinde kelimeler arasında benzerlik olduğu görülmüştür. En sık kullanılan ilk on kelimeye bakıldığında 5 tanesinin aynı olduğu görülmektedir. En sık kullanılan kelimelerin başında “orman” kelimesi yer almaktadır. Orman mühendisliği mesleği ve bu mesleğin ana uğraşı alanının orman alanları ve ormancılık faaliyetleri olması, bu kelimenin neden en sık kullanıldığını açıklamaktadır.

Dergilerin daha anlaşılır ve cezbedici olması için, ağırlıklı olarak ormancılık alanına hitap etmesinin ötesinde ormancılık mesleği ile doğrudan ve dolaylı olan güncel konular olan iklim değişikliği ile mücadelenin güçlendirilmesi, doğa, çevre ve ekosistem hizmetleri kapsamında daha geniş tabanlı ele alınarak ve içeriğinin zenginleştirilerek derginin okuyucu kitlesinin farklı kesimler tarafından da dikkat çekmesi için çalışmalar başlatılmalıdır.

Dergilerde odadan haberlerin çok fazla yer aldığı dikkati çekmektedir. Bu konuda daha özet bilgiler verilerek okuyuculara daha fazla hitap eden ormancılık konularının olduğu, herkesin ilgisini çekebilecek konuların ve içeriklerinin ağırlığının artırılması gerekmektedir.

Dergilerin ilk yılları arşivde saklanmakla birlikte dijital ortama aktarılmamıştır. Arşivde yer alan dergilerin bazılarında yıpranmalar meydana gelmiş ve okunmasının güç olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden dergilerin dijital ortama aktarılmasının gerekliliği görülmektedir. Böylece, dijital ortama aktarılan arşivin, Orman Mühendisleri Odası web sayfasında yayımlanarak ormancılık mesleğine ilişkin geçmişe dönük bilgilere erişimin kolaylaştırılması ve şeffaflığın sağlanması mümkün olacaktır.

Bu çalışmanın sonuçları, ormancılık alanında öncelikli olmak üzere dergilerden bilimsel araştırma yapacak olan kişilere genel bir içerik bilgisi verebileceği düşünülmektedir. Bu açıdan tanımlayıcı ve açıklayıcı bilgilerin yeni araştırmalar için fikir verici olduğu söylenebilir.

Bundan sonraki çalışmalarda, bilim dallarına göre ele alınan konular başta olmak üzere, dergilerin içeriklerinde ele alınan diğer konular, yazarların unvanı (akademisyen/orman mühendisi/diğer meslek vb.), üniversite, bölüm, bilim dalı, yazarların cinsiyeti, yaşı, vb. farklı değişkenlere göre dergi içeriğindeki tarihsel değişimler ve farklılıklar da dikkate alınarak istatistikî çözümler ile araştırılabilir.

Araştırmada faydalanılan içerik analizi yöntemi istenilen sonuca ulaşmada katkı sağlamıştır. Yapılan bu çalışmadaki gibi yazılı ve uzun süreli kaynaklar ile ilgili yapılacak çalışmalarda bu yöntemin uygulanması önerilmektedir.

Bu çalışmada veri elde etme aşaması oldukça güç ve zaman alıcı olmuştur. Analiz programı kelimeleri tam kelime olarak değil, kelime içindikileri de okuyarak analiz sonuçlarının yanlış yorumlanabilmesi risklerini içerebilmektedir. Bunların kontrolü ve ayırımı oldukça zaman alıcıdır. Ayrıca bazı kelimelerin program tarafından okunamaması ya da yabancı kelime olarak algılayabilmesi sorunları da ortaya çıkabilmektedir. Bu da yapılan çalışmalarda zorluklar yaşanmasına ve hatalı analiz ve yorumlara yol açabilmektedir. MAXQDA 2020 programının Türkçe formatının da olması ve programdan kaynaklanan bu hataların düzeltilerek kullanıcılara sunulması araştırmacılar açısından kolaylaştırıcı olacaktır.

V. KAYNAKLAR

- [1] R. Coşkun, R. Altunışık ve E. Yıldırım, *Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri SPSS Uygulamalı*, 9. Baskı, Sakarya, Türkiye: Sakarya Yayıncılık, 2017, ss. 1-16.
- [2] I. Ç. Erdönmez, “Türkiye’de yayıncılık politikalarının dönüşümü üzerine bir örnek: E-yayıncılık,” *Bilişim Teknolojileri Online Dergisi*, c. 5, s. 17, ss. 45-56, 2014.
- [3] TDK, Türk Dil Kurumu sözlükleri yazılı medya istatistikleri, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.sozluk.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 20.12.2019.
- [4] E. Yüksel ve H. İ. Gürcan, *Habercinin el rehberi: soru ve örneklerle haber toplama ve yazma kural ve teknikleri*, Eskişehir, Türkiye: Anadolu Üniversitesi İletişim Bilimleri Fakültesi Yayınları, 2001, ss. 1-77.
- [5] S. Biçer, “Türkiye’de internet yayıncılığı ve Avrupa Birliği’ne uyum,” Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Radyo-Televizyon ve Sinema Anabilim Dalı, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [6] A. Altun, *Türkiye’de Gazetecilik ve Gazeteciler*, Ankara, Türkiye: Çağdaş Gazeteciler Derneği Yayınları, 1995, ss. 110.
- [7] H. İ. Gürcan ve Ç. Batu, “Haber sitelerinde içerik kalitesine yönelik bir analiz,” *Türkiye’de İnternet Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2002, ss. 1-7.
- [8] Y. Tonta ve U. Al, “Türkiye’nin bilimsel yayın haritası: Türkiye’de dergi yayıncılığı üzerine bibliyometrik bir araştırma,” Hacettepe Üniversitesi, Bilgi ve Belge Yönetimi Bölümü, Ankara, Türkiye, Rap. SOBAG-105K088, 2007.
- [9] H. Şimşek, “XIX. yüzyıl çocuk dergiciliği ve eğitsel işlevleri üzerine,” *Milli Eğitim Dergisi*, c. 151, s. 3, ss. 1-9, 2001.
- [10] H. R. Ertuğ, *Basın ve Yayın Hareketleri Tarihi*, İstanbul, Türkiye: Sulhi Garan Matbaası, c. 1, Yayın No: 1492, 1959, ss. 1-190.
- [11] B. Yurtoğlu, “Türkiye’de ormancılık alanında yayınlanan ilk Osmanlıca makale,” *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 14, s. 2, ss. 173-181, 2014.



- [12] TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu yazılı medya istatistikleri, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yazili-Medya--Istatistikleri-2019-33620>, Erişim Tarihi: 10.06.2020.
- [13] C. Gümüş, *Türk Orman Devrimi*, Ankara, Türkiye: Dönmez Ofset, 2018, ss. 1-306.
- [14] S. Özden ve F. Ekici, “Orman mühendisliği mesleğinin dünü, bugünü ve geleceği,” *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, Artvin, Türkiye, 2010, ss. 17-23.
- [15] Ü. Aktan, “Serbest ormancılık büroları ve orman mühendisi istihdamına etkisi,” *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye, 2013.
- [16] M. Ünal, T. Türkoğlu ve A. Tolunay, “Orman mühendislerinin mesleki örgütlenmeye bakış açıları,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 22, s. 1, ss. 165-171, 2018.
- [17] OMO, *Hakkımızda*, Orman Mühendisleri Odası, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://ormuh.org.tr/tarihce>, Erişim Tarihi: 30.12.2018.
- [18] OMO, “Orman Mühendisliği dergisi çıkarken,” *Orman Mühendisliği Dergisi*, c. 1, s. 3, ss. 1-5, 1962.
- [19] N. Bilgin, *Sosyal Bilimlerde İçerik Analizi: Teknikler ve Örnek Çalışmalar*, 2. Baskı, Ankara, Türkiye: Siyasal Kitabevi, 2006, ss. 1-230.
- [20] N. Bilgin, *Sosyal Bilimlerde İçerik Analizi: Teknikler ve Örnek Çalışmalar*, 4. Baskı, Ankara: Siyasal Kitabevi, 2014, ss. 1-272.
- [21] F. Dağ, “Ormancılık alanında yapılmış olan lisansüstü tezler: Orman ekonomisi merkezli bir içerik analizi,” *Yüksek Lisans Tezi*, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2019.
- [22] U. Kuckartz ve Stefan Rädiker, *Analyzing Qualitative Data with MAXQDA*, 1. Baskı, Switzerland: Springer, 2019, ss. 1-290.
- [23] C. Aslan, “Bir Osmanlı kadın gazetesi: Sıyanet (içerik analizi),” *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk İlkeleri ve İnkılap Tarihi Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [24] Ö. Çelikel, “Türkiye’de yayınlanmış sosyoloji dergilerinin içerik analizi,” *Yüksek Lisans Tezi*, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2011.
- [25] A. Kaplan, “Sosyoloji konferansları dergisinin içerik analizi,” *Yüksek Lisans Tezi*, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Çelik Gömmeli Kompozit Kolonların Sonlu Elemanlar Analizi ile Sayısal Karşılaştırılması

 Kıvanç TAŞKIN^{a,*},  Fethullah USLU^b

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: kivanct@eskisehir.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.884144

ÖZET

Bu çalışma, çelik gömmeli kompozit kolonların, beton dayanımı ile boyuna donatı oranının değişimine göre eksenel basınç kuvveti etkisindeki davranışını açıklamaktadır. Bu sebeple, dört farklı boyuna donatı ($\phi 16-20-24-30$), beton sınıfı (C40-50-60-70) ve yapısal çelik yüzdesi (%1-2-4-8) için on altı farklı grup olmak üzere toplamda altmış dört model oluşturulmuştur. Her bir model için önce Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esasları (ÇYTHYE-2016) ve American Institute of Steel Construction (AISC 360-16) standartlarında tanımlanan eksenel kuvvet-moment etkileşim grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklerden her farklı grup için taşıyabileceği maksimum eksenel basınç kuvveti hesaplanmıştır. Oluşturulan modellerdeki beton, yapısal çelik ve boyuna donatıya ait eksenel basınç kuvvetleri, yerdeğiştirmeler, şekil değiştirmeler, akma noktaları ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak elde edilmiştir. Beton basınç değeri arttıkça eksenel taşıma kapasitesinin arttığını fakat eğilme momenti değerinin birbirlerine çok yakın gerçekleştiği ve sadece çelik oranı değiştirildiğinde ise eksenel basınç dayanımının sabit kaldığı, eğilme moment değerlerinin arttığı görülmüştür. Yönetmeliklerde verilen ampirik ifadeler kullanılarak hesaplanan en büyük eksenel basınç kuvveti değeri ile ANSYS'den elde edilen değerler birbirleri ile uyumlu çıkmışlardır. Analizlerin göstermiş olduğu en önemli sonuç çelik gömmeli kesitlerde kullanılan çelik profilin taşıma kapasitesinin tamamının kullanılabilmesidir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit Kolon, Sonlu Eleman Analizi, Donatı Oranı, Eksenel Basınç Kuvveti

Numerical Comparison of Concrete Encased Steel Composite Columns with Finite Element Analysis

ABSTRACT

In this study, four prototypical design examples were developed to investigate the behavior and design requirements for concrete-encased composite columns. All columns are square with a fixed transverse reinforcing bar arrangement but with different encased shapes with structural steel ratios of %1, 2, 4 and 8. The longitudinal reinforcing bars were chosen four different diameters of $\phi 16$, $\phi 20$, $\phi 24$ and $\phi 30$. Four concrete strengths used $f_{ck} = 40, 50, 60$ and 70 MPa represent low, medium, and high-strength concrete, respectively. Firstly, for each model, moment-axial force interaction graphs defined in Design, Calculation, and Construction of Steel Structures (ÇYTHYE-2016) and American Institute of Steel Construction (AISC 360-16) standards were obtained. The maximum axial compression force it can carry for each different group has been calculated from these graphs. The axial pressure forces, displacements, strains, yield points of concrete, structural steel, and longitudinal reinforcement in the created models were obtained using the ANSYS finite element program. It was observed that as the concrete pressure value increased, the axial carrying capacity increased. Still, the bending moment value was very close to each other, and when only the steel ratio was changed, the bending moment values where the axial compressive strength remained constant. The maximum axial pressure force value calculated using the empirical expressions given in the regulations and the values obtained from ANSYS are compatible with each

other. The most important result of the analysis is that the steel profile used in steel embedded sections can be used ultimately.

Keywords: Composite Column, Finite Element Method, Reinforcement Ratio, Axial Load Capacity

I. GİRİŞ

Dayanım ve süneklik açısından iyi bir davranış sergileyen kompozit yapı tasarımı son yıllarda gelişmiş ülkelerde çoğunlukla ofis binaları, ticari binaları, park alanları ve köprüler için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Yüksek yapılarda, kolonlarda ortaya çıkan kesit tesirleri göz önüne alındığında, yüksek değerlere sahip eksenel yükleri taşıyacak kesitler ancak ekonomik olarak kompozit yapıyla mümkün olmaktadır. Kompozit elemanlar sunduğu avantajlara rağmen sismik tasarımda nadiren kullanılmaktadır. Bunun başlıca nedenleri bir yandan yeterli deneyimin, vasıflı işçi ve uygun ekipmanı olmaması diğer yanda ise bu yapıların tasarım için uygun standartların son yıllara kadar bulunmaması olarak sıralanabilir. Ülkemizde 2016 yılında yürürlüğe giren Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esasları (ÇYTHYE) yönetmeliğinde [1] sismik alanlar için kompozit yapıların tasarlanması için genel prensipleri ve performans kurallarını sunmaktadır.

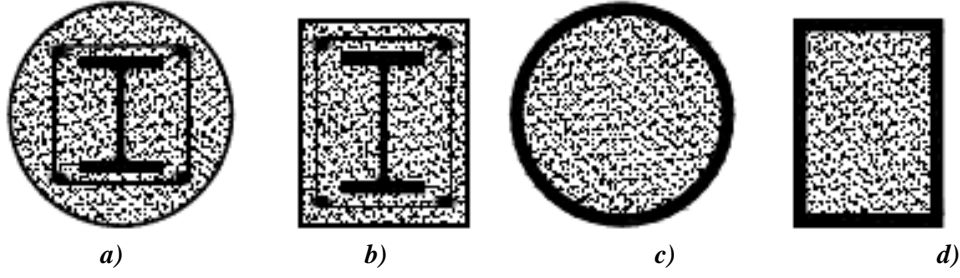
Hem çelik hem de betonarmenin bir arada kullanılması sebebi ile kolonların sünekliğinin betonarme kolonlara göre daha fazla olacaktır. Kompozit kolonlar, geleneksel betonarme kolonlara göre daha küçük bir en kesite sahip olduklarından dolayı daha ekonomiktirler. Bunun yanında, eksenel yük taşıma kapasiteleri de yüksektir. Sıradan çelik kolon ile karşılaştırıldığında korozyon ve burkulmaya karşı daha dayanımlıdır. Çelik profilin burkulmasını önleyerek taşıma kapasitesini arttıracak olan kompozit kolon tipi çelik gömmeli kompozit kesittir.

Çelik gömmeli kompozit kolonlar, betonarme ve çelik elemanlara göre sahip oldukları yüksek taşıma kapasitesi sebebi ile genellikle yüksek katlı yapıların bodrum katlarında, tüplü sistemlerin çekirdek kısmında, yeraltına yapılan otopark vb. yapılarda kullanılmaktadırlar. Çelik gömmeli kompozit kolonlarda çelik elemanın başlıkları arasına kısmi gömülmüş veya tam gömülü olarak imal edilebilirler. Sismik davranış ve yük taşıma kapasitesi açısından betona çelik profil gömülü kompozit elemanlar ile oluşturulmuş çerçeve taşıyıcı sistemlerin betonarme sistemlere göre daha küçük kesitlere sahip olmalarına rağmen daha iyi performans davranışı sergilemektedirler.

Tasarlanan kompozit elemanları oluşturan beton, yapısal çelik ve betonarme çeliğini malzeme davranışları birbirlerinden farklıdır. Taşıma kapasiteleri ile şekil değiştirme değerleri bu farklılıkları oluşturmaktadır. Bu da farklı malzemelerin doğru şekilde modellenmesi ve analiz edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojisi ve buna paralel özellikle matematik alanındaki gelişmeler sonlu elemanlar yöntemini daha rahat kullanılabilir hale getirmiştir. Sonlu elemanlar programlarından biri olan ANSYS [2] özellikle kompozit yapıların tasarımında üç boyutlu doğrusal olmayan davranışa dayalı olarak yapıyı oluşturan elemanların (beton, çelik, donatı) davranışlarını gerilme, şekil değiştirme, uç yerdeğiştirmeleri açısından rahatlıkla analiz etmektedir [3]-[4]. Betonarme ve çelik yapıları gerilme dağılımları (kontur çizgileri), çatlak oluşumları, deformasyonlar ve yük taşıma kapasitesi değerlerini hesaplayacak şekilde birçok analitik ve nümerik modeller vardır [5]-[9]. Ayrıca çelik gömmeli kompozit kolonlarda farklı narinlik oranları, çelik kesitleri, beton ve çelik dayanımlarına sahip kompozit kolonlar üzerine analitik çalışmalar yapmışlardır [10]-[16].

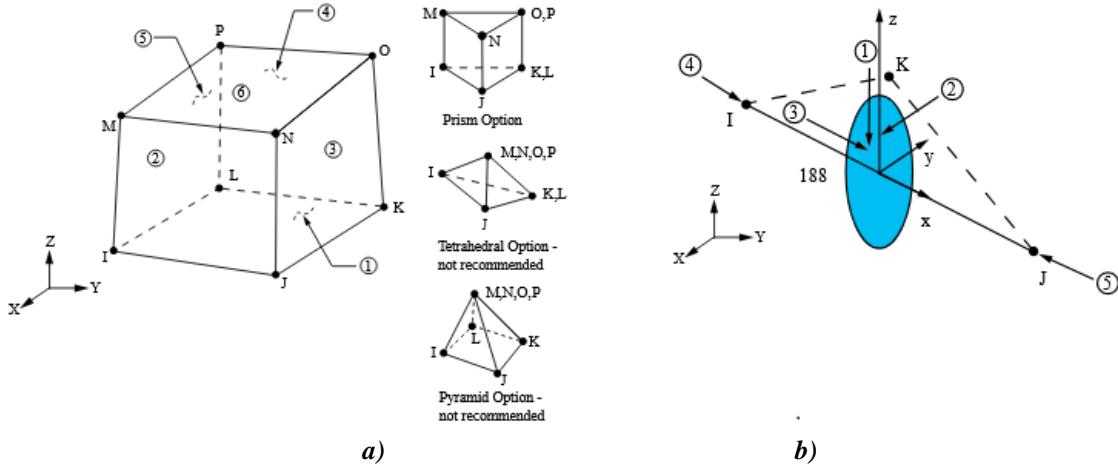
Bu çalışmada, çelik gömmeli kompozit kolonların davranışını incelemek için ANSYS sonlu eleman programında model oluşturularak doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen değerler ile yönetmeliklerden elde edilen değerler kıyaslanmıştır. Ayrıca çelik gömmeli kesitlerde kullanılan çelik profilin taşıma kapasitesi araştırılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM



Şekil 1. Tipik kompozit kolonlar [1]

Ülkemizde 2016 yılında yürürlüğe giren ÇYTHYE [1] yönetmeliği kullanılmaktadır. İlgili yönetmeliğin Bölüm 12’de yer alan kompozit kolon elemanlarına ait tasarım hesabı yer almaktadır. Yönetmelikte yer alan tipik kompozit kolonlar elemanlar Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 2. a) SOLID185 b) BEAM188 elemanlarına ait geometrik özellikler [2]

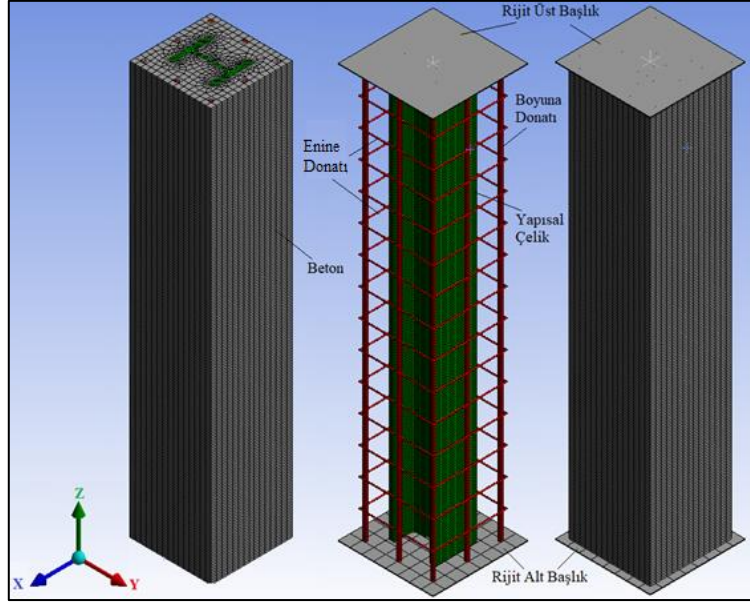
Çelik gömmeli kompozit kolonların modellenmesinde, ANSYS programı yaygın olarak kullanılmaktadır. ANSYS programında öncelikle örnek problemin geometrisi ve malzeme özellikleri tanımlanmalıdır. ANSYS eleman kütüphanesinde yapısal çelik, donatı çeliği ve beton için üç ayrı malzeme özellikleri ile birlikte uygun eleman seçimi yapılmalıdır.

Yapısal çelik için ANSYS programında SOLID185 elemanı, enine ve boyuna donatı çeliği için ise BEAM188 elemanı kullanılmıştır (Şekil 2). Beton malzemeler için çok farklı parametrik modellerle çalışmalar yapılmıştır. ANSYS Mechanical APDL’de beton modellerinin oluşturulmasında yaygın olarak SOLID65 eleman tipi kullanılmaktadır [3]-[4],[8]. Eğer, beton gibi özel bir malzeme için ise kullanılacak eleman SOLID65 olmalıdır. Hem malzeme hem de geometri bakımından lineer olmayan davranış modellendiğinden SOLID65 elemanı uygun olmayacaktır. SOLID185, genel amaçlı üç boyutlu malzemenin lineer davranışının modellenebileceği bir katı eleman tipidir. Bunun sonucunda SOLID185 elemanı seçilerek analizler tamamlanmıştır. Bu eleman tipi Workbench ara yüzünde seçili halde olmayıp, malzeme isimlendirmesi şeklinde “CONCRETE NL” adıyla bulunmaktadır. Literatürde beton modellemesi için SOLID185 elemanı birçok çalışmada kullanılmış ve başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür, [17]-[21].

ANSYS eleman kütüphanesinde bulunan SOLID185, yüksek mertebeli 3 boyutta 8 düğüme sahip katı elemanı ve BEAM188 ise 3 boyutta 2 düğüme sahip kiriş elemanıdır. Bu elemanlar her bir düğüm

noktalarında x, y ve z doğrultusunda yerdeğiştirme serbestliği vardır [2]. Hem güvenilir sonuçlar hem de daha az hesaplama süresi sağlayan uygun bir ağ seçmek için farklı ağ boyutları denenmiştir. Burada maksimum çelik için 10 mm, beton için ise 40 mm ağ boyutu seçilerek sonuçların yakınsadığı görülmüştür. Kompozit kolon için örnek ağ modeli verilmiştir (Şekil 3).

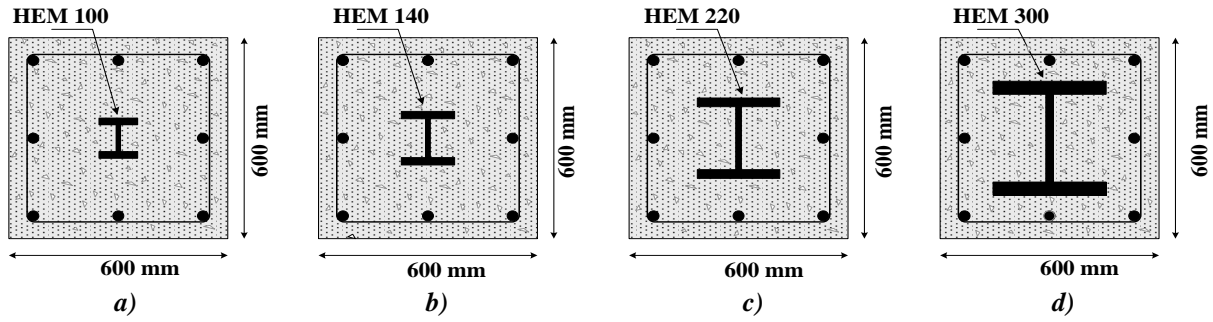
ANSYS programında oluşturulan sonlu eleman modelinde çelik, beton, boyuna ve enine donatı elemanlarına uygun malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Bu elemanların davranışını incelemek üzere, farklı yapısal çelik alan yüzdeleri (%1-2-4-8), boyuna donatı çapları (ϕ 16-20-24-30) ve beton sınıfları (C40-50-60-70) için on altı farklı grup olmak üzere toplamda altmış dört model oluşturularak parametrik bir çalışma yapılmıştır. Bu parametrik çalışmada çelik gömmeli kompozit kolonların yüksekliği 3000 mm, kesit genişliği 600x600 mm ve enine donatı çapı ϕ 10/200 mm olarak modellenmiştir.



Şekil 3. Çelik gömmeli kompozit kolon modeli

Her bir model için önce ÇYTHYE [1] ve AISC [22] standartlarında tanımlanan eksenel kuvvet ve eğilme momenti karşılıklı etkileşim diyagramlarının davranışı incelenmiştir. Buradan elde edilen grafiklerden her farklı grup için taşıyabileceği maksimum eksenel basınç kuvveti belirlenmiştir. Oluşturulan modellerdeki beton, yapısal çelik ve boyuna donatıya ait eksenel basınç kuvvetleri, yerdeğiştirmeleri, şekil değiştirmeleri, gerilmeleri (Von mises) ve akma noktalarını ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak elde edilmiştir. ANSYS sonlu elemanlar program analizinden elde edilen kolon dayanımları (eksenel taşıma kapasiteleri), ÇYTHYE [1] yönetmeliği kullanılarak hesaplanan tasarım dayanımları ile karşılaştırılmıştır.

Parametrik çalışmada çelik gömmeli kompozit kolonların her iki ucu da mafsallı olarak tanımlanmıştır. Şekil 3'te gösterilen ANSYS modelinde üst levhasının dış yüzeyinin z yönündeki yerdeğiştirmesine ve x-y eksenini etrafında dönmesine izin verilmiştir. Alt levhanın dış yüzeyinin yerdeğiştirmeleri ise sınırlandırılmıştır ve x-y eksenini etrafında dönmesine izin verilmiştir. Kompozit kolona düşey olarak yük artışları uygulanarak sistem göçene kadar doğrusal olmayan (nonlinear) analizler yapılmıştır.



Şekil 4. Çelik gömmeli kompozit kolon tipleri

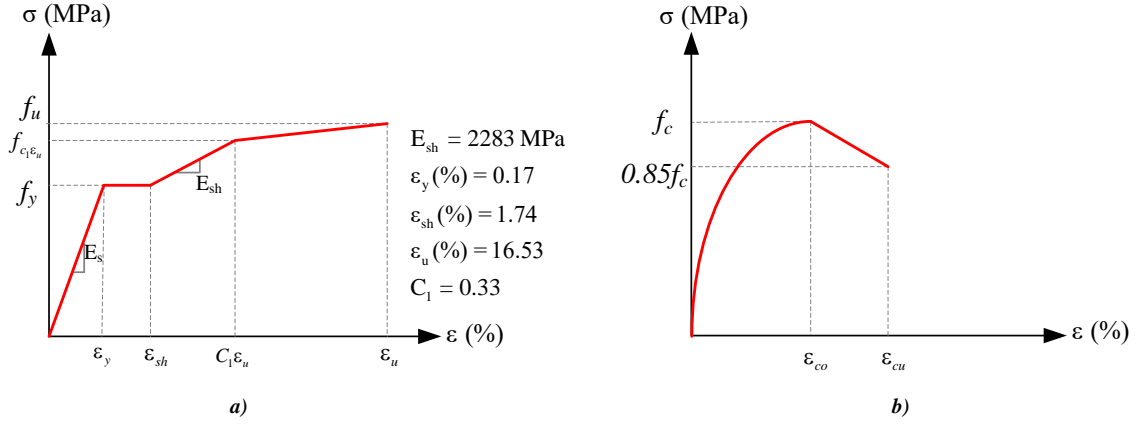
Çelik gömmeli kompozit kolon tipleri Şekil 4'deki gibi modellenmiştir. Parametrik çalışma kapsamında oluşturulan toplam altmış dört adet çelik gömmeli kompozit kolonlara ait malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Parametrik çalışmada çelik gömmeli kompozit kolonların malzeme özellikleri

Grup	Numune	Çelik kesit	As/Ag	Boyuna Donatı (mm)	f _{ck} (MPa)	Grup	Numune	Çelik kesit	As/Ag	Boyuna Donatı (mm)	f _{ck} (MPa)
G1	N1	HEM 100	1%	16	40	G9	N33	HEM 220	4%	16	40
	N2	HEM 100	1%	16	50		N34	HEM 220	4%	16	50
	N3	HEM 100	1%	16	60		N35	HEM 220	4%	16	60
	N4	HEM 100	1%	16	70		N36	HEM 220	4%	16	70
G2	N5	HEM 100	1%	20	40	G10	N37	HEM 220	4%	20	40
	N6	HEM 100	1%	20	50		N38	HEM 220	4%	20	50
	N7	HEM 100	1%	20	60		N39	HEM 220	4%	20	60
	N8	HEM 100	1%	20	70		N40	HEM 220	4%	20	70
G3	N9	HEM 100	1%	24	40	G11	N41	HEM 220	4%	24	40
	N10	HEM 100	1%	24	50		N42	HEM 220	4%	24	50
	N11	HEM 100	1%	24	60		N43	HEM 220	4%	24	60
	N12	HEM 100	1%	24	70		N44	HEM 220	4%	24	70
G4	N13	HEM 100	1%	30	40	G12	N45	HEM 220	4%	30	40
	N14	HEM 100	1%	30	50		N46	HEM 220	4%	30	50
	N15	HEM 100	1%	30	60		N47	HEM 220	4%	30	60
	N16	HEM 100	1%	30	70		N48	HEM 220	4%	30	70
G5	N17	HEM 140	2%	16	40	G13	N49	HEM 300	8%	16	40
	N18	HEM 140	2%	16	50		N50	HEM 300	8%	16	50
	N19	HEM 140	2%	16	60		N51	HEM 300	8%	16	60
	N20	HEM 140	2%	16	70		N52	HEM 300	8%	16	70
G6	N21	HEM 140	2%	20	40	G14	N53	HEM 300	8%	20	40
	N22	HEM 140	2%	20	50		N54	HEM 300	8%	20	50
	N23	HEM 140	2%	20	60		N55	HEM 300	8%	20	60
	N24	HEM 140	2%	20	70		N56	HEM 300	8%	20	70
G7	N25	HEM 140	2%	24	40	G15	N57	HEM 300	8%	24	40
	N26	HEM 140	2%	24	50		N58	HEM 300	8%	24	50
	N27	HEM 140	2%	24	60		N59	HEM 300	8%	24	60
	N28	HEM 140	2%	24	70		N60	HEM 300	8%	24	70
G8	N29	HEM 140	2%	30	40	G16	N61	HEM 300	8%	30	40
	N30	HEM 140	2%	30	50		N62	HEM 300	8%	30	50
	N31	HEM 140	2%	30	60		N63	HEM 300	8%	30	60
	N32	HEM 140	2%	30	70		N64	HEM 300	8%	30	70

Modellenen elemanlara ait yapısal çelik ve donatı çeliğinin malzeme özellikleri Tablo 2 ve Şekil 5.a'da verilmiştir. Beton malzemesine ait değerler ise poisson oranı ($\nu=0.2$) ve elastisite modülü ise aşağıdaki Eş. 1'deki denklem ile hesaplanmıştır [1].

$$E_c = 0.043w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$



Şekil 5. Gerilme-şekil değiştirme eğrisi a) Çelik [23] b) Beton [24]

Burada beton elastisite modülü E_c , birim hacim ağırlığı ($w_c=2400 \text{ kg m}^{-3}$) ve karakteristik basınç dayanımı f_{ck} olarak ifade edilmiş olup beton malzemesine ait gerilme-şekil değiştirme (σ - ϵ) eğrileri Şekil 5.b'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Çelik malzeme özellikleri

Malzeme	E_s (MPa)	w_c (kg m^{-3})	ν	f_y (MPa)	f_u (MPa)
S355	200 000	7850	0.3	355	490
B500C	200 000	7850	0.3	500	550

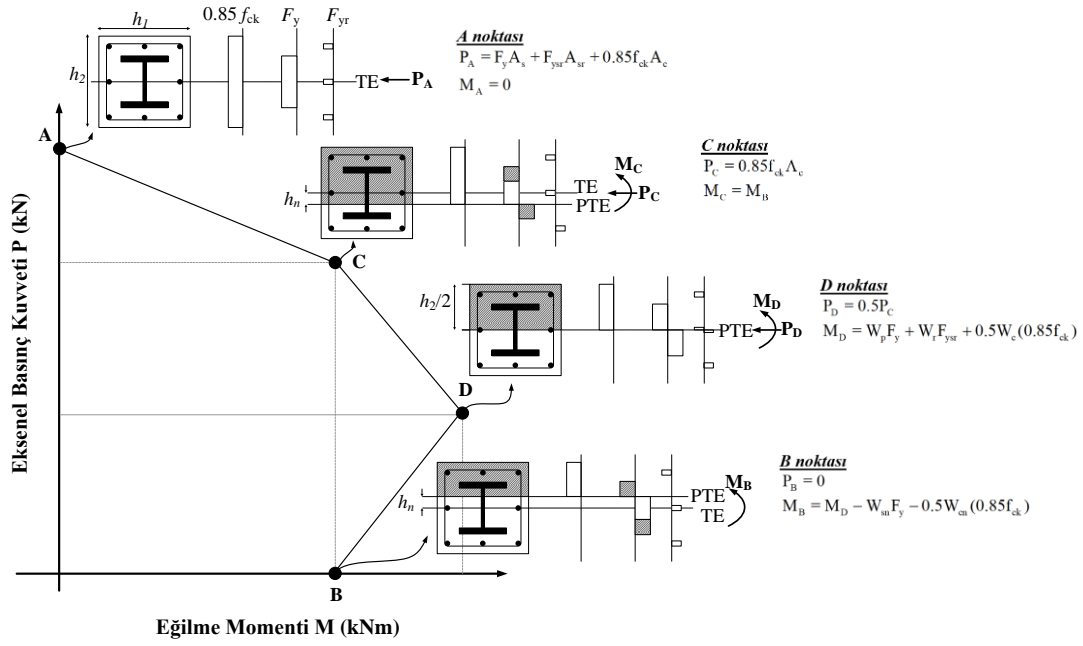
Şekil 5.b'de verilen sargısız beton malzemesine ait gerilme-şekil değiştirme (σ - ϵ) eğrisi olarak Hognestad [24] tarafından önerilen model kullanılmıştır. Hognestad [24] modelinde, betonun (σ - ϵ) ilişkisi iki kısım olarak tanımlanmaktadır. Hognestad [24] modelinde yer alan parabolik ve doğrusal kısmı ifade eden denklemler sırasıyla Eşt. 2 ve Eşt. 3'te yer almaktadır. Modelde maksimum gerilmenin silindirik basınç dayanımının %85'i olduğu kabul edilmiştir. Burada maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma değeri, $\epsilon_{co}=2f_c/E_c$ olarak hesaplanmıştır [6]. Kırılmaya karşılık gelen maksimum birim deformasyon değeri ise $\epsilon_{cu}=0,004$ olarak kabul edilmektedir [25].

$$\sigma_c = f_c \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_{co}} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (2)$$

$$\sigma_c = f_c \left[1 - 0.15 \left(\frac{\epsilon_c - \epsilon_{co}}{\epsilon_{cu} - \epsilon_{co}} \right) \right] \quad (3)$$

Ayrıca MATLAB programında kodlar geliştirilerek çalışmada incelenen örnekler için ÇYTHYE [1] yönetmeliğinde (Yöntem 2) için karşılıklı etki diyagramındaki A, C, D ve B noktalarının koordinatlarını hesaplanmıştır.

ÇYTHYE [1] yönetmeliğinde hassas bir aksenal kuvvet ve eğilme momenti karşılıklı etkileşim diyagramların dayanım kontrolü için yönetmeliğin 12.6.2 (Yöntem 2) esas alınarak değerlendirilebilir.



Şekil 6. Kompozit elemanlar için geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramı [1]

Bu durumda Şekil 6'da gösterilen geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramlarının oluşturulabilmesi için, Tablo 12.2'de verilen ifadeler kullanılarak A, C, D ve B noktalarının koordinatları belirlenmektedir [1]. Şekil 6'da gösterildiği gibi geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramlarının oluşturulabilmesi için ilgili yönetmelikte yer alan Tablo 12.2'de verilen denklemleri kullanılarak A, C, D ve B noktalarının koordinatlarını MATLAB programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Şekil 6'da gösterilen geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramında yer alan A, C, D ve B noktalarının W_p , W_c ve W_r ifadeleri çelik kesit, beton ve boyuna donatı kesitine ait plastik mukavemet momentleridir. W_{sn} ve W_{cn} ise Şekil 6'da gösterildiği gibi h_n bölgesi içindeki çelik kesit ve beton kesitine ait plastik mukavemet momentini ifade etmektedir.

ÇYTHYE [1] yönetmeliğinde çelik gömmeli kompozit kolon basınç tasarım dayanımları aşağıdaki gibidir [1];

$$\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25 \quad \text{için} \quad P_n = P_{no} \left[0.658 \frac{P_{no}}{P_e} \right] \quad (4)$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} > 2.25 \quad \text{için} \quad P_n = 0.877 P_e$$

$$P_{no} = F_y A_s + F_{y sr} A_{sr} + 0.85 f_{ck} A_c \quad (5)$$

$$P_e = \frac{\pi^2 (EI_{ef})}{(L_c)^2} \quad (6)$$

$$EI_{ef} = E_s I_s + E_{sr} I_{sr} + C_1 E_c I_c \quad (7)$$

$$C_1 = 0.25 + 3 \left(\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \quad (8)$$

$$P_{ys} = F_y A_s \quad (9)$$

$$\delta = \frac{P_{ys}}{P_{no}} \quad (10)$$

Burada sırasıyla yapısal çeliğin elastisite modülü, akma dayanımı, enkesit alanı ve atalet momenti (E_s , F_y , A_s , I_s), beton çeliğin elastisite modülü, akma dayanımı, enkesit alanı ve atalet momenti (E_{sr} , F_{ysr} , A_{sr} , I_{sr}), betonun elastisite modülü, dayanımı, birim hacim ağırlığı, enkesit alanı ve atalet momenti (E_c , f_{ck} , w_c , A_c , I_c) ve kompozit elemanın enkesit alanı, elastik burkulma yükü, etkin eğime rijitliği, burkulma boyu, burkulma katsayısı ve eleman uzunluğu (A_g , P_e , E_{Ief} , L_c , K , L) olarak ifade edilmiştir [1].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

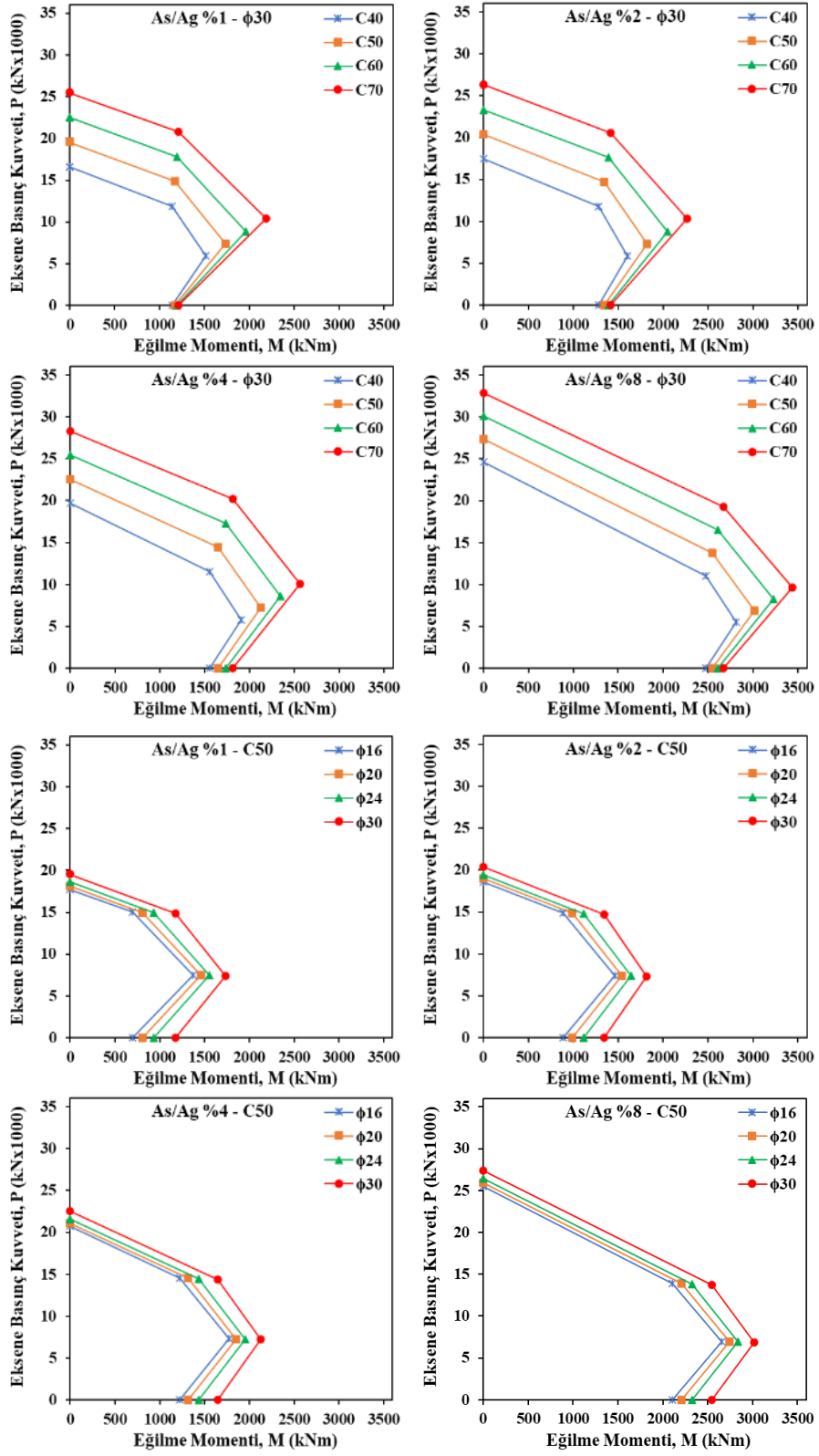
Bu çalışmada ortaya konulan altmış dört probleme ait karşılıklı etki diyagramı çizilmiş ve bu diyagramların A, C, D ve B noktaları incelenmiştir. Ayrıca örnek bir kolon, göçene kadar yük artışı uygulanarak davranışı incelenmiş ve bazı bulgulara ulaşılmıştır.

ÇYTHYE [1] yönetmeliğine göre kompozit kolonlar için eksenel kuvvet-moment karşılıklı etki diyagramının örnek grafikleri verilmiştir (Şekil 7). Parametrik çalışmadaki altmış dört adet karşılıklı etki diyagramının sonucunda, boyuna donatı çapı ile çelik alan oranı (A_s/A_g) sabit seçildiğinde, beton sınıfı arttırılırsa eksenel yük taşıma kapasiteleri 1.33-1.62 artar iken eğilme momenti değerleri ise 1.22-1.60 kat artış göstermiştir. Beton sınıfı ile boyuna donatı çapı sabit seçildiğinde, çelik alan oranı (A_s/A_g) arttırılırsa eksenel yük taşıma kapasiteleri 1.29-1.55 artar iken eğilme momenti değerleri ise 1.57-2.14 kat artış göstermiştir. Çelik alan oranı (A_s/A_g) oranı ile beton sınıfı sabit seçildiğinde, boyuna donatı çapı arttırılırsa eksenel yük taşıma kapasiteleri 1.05-1.13 artar iken eğilme momenti değerleri ise 1.11- 1.32 kat artış göstermiştir.

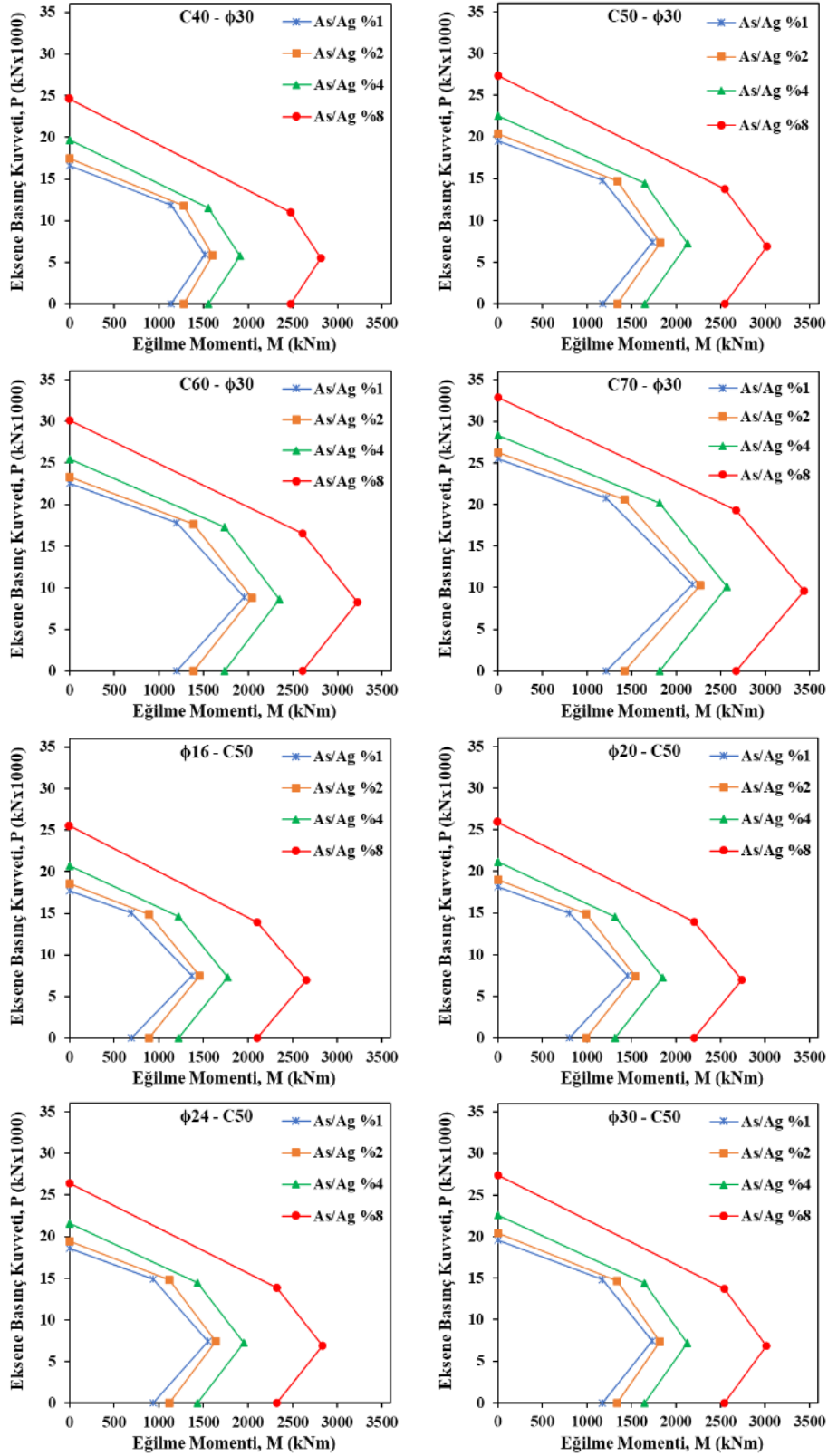
ÇYTHYE [1] yönetmeliğinde Eş. 4'te tanımlanan formüllerle tasarım dayanımları MATLAB programı yardımıyla hesaplanmıştır. ANSYS programında modellenen çelik gömmeli kompozit kolonların basınç dayanımları ise hesaplanarak karşılaştırılmıştır (Tablo 3).

Ayrıca Eş. 10'da tanımlanan denklem kullanılarak çelik katkı oranı (δ) tüm kompozit kolonlar için hesaplanmıştır. Çelik katkı oranı, $0.2 \leq \delta \leq 0.9$ arasında olduğunda kompozit kolon, 0.2'den küçük ise betonarme kolon ve 0.9'dan büyük ise çelik kolon gibi davranacağı belirtilmiştir [26]. Ancak kompozit kolonlarda çelik alan oranı minimum %1 olması gerektiği belirtilmektedir [1].

Bu nedenle ÇYTHYE [1] yönetmeliğine çelik gömmeli kompozit kolonlarda çelik alan oranı %1 ve %2 olduğunda $\delta < 0.2$ 'den küçük ve betonarme kolon gibi davranacağı, çelik alan oranı %4 ve %8 olduğunda ise $0.2 \leq \delta \leq 0.9$ arasında kompozit kolon gibi davranacağı görülmektedir (Tablo 3).



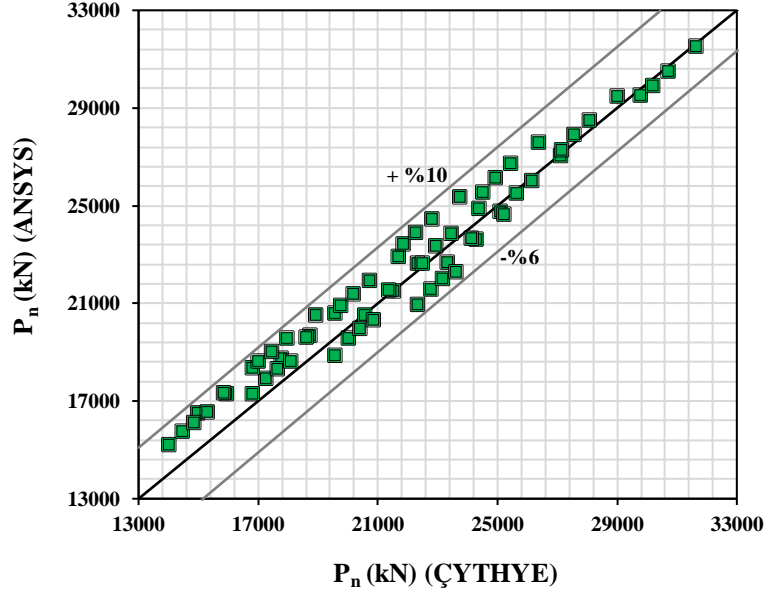
Şekil 7. Kompozit kolonlar için eksenel kuvvet-moment karşılıklı etki diyagramları



Şekil 7. (devam) Kompozit kolonlar için aksenal kuvvet-moment karşılıklı etki diyagramları

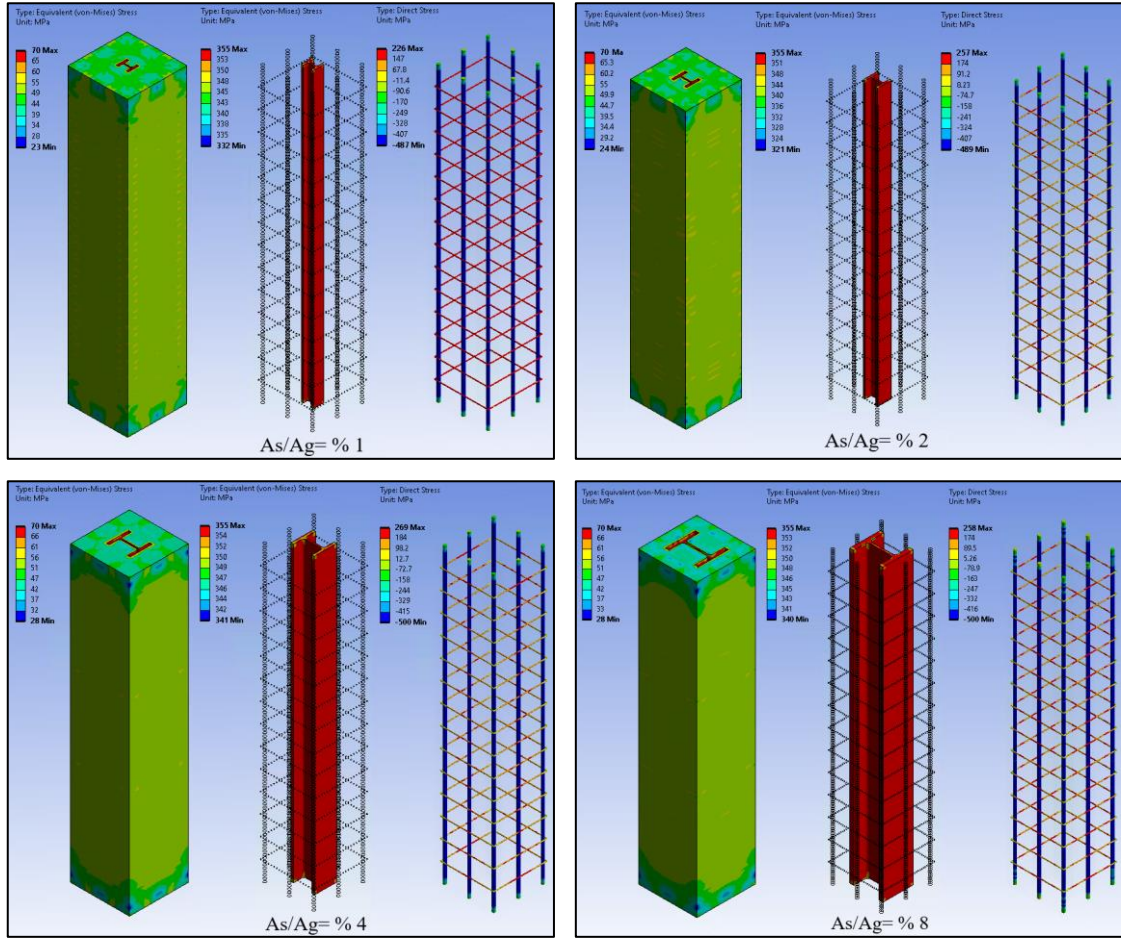
Tablo 3. Çelik gömmeli kompozit kolon dayanımlarının tasarım dayanımları ile karşılaştırılması

Grup	Numune	Kesit Tipi	A _s /A _g	Boyuna Donatı (mm)	f _{ck} (Mpa)	δ	ÇYTHYE [1]			ANSYS [2]		P _{ANSYS}
							P _{no} (kN)	P _e (kN)	P _{n, ÇYTHYE} (kN)	P _{n, ANSYS} (kN)	U _z (mm)	P _{ÇYTHYE}
G1	N1	HEM 100	1%	16	40	0.13	14697	133994	14038	15200	-7.96	1.08
	N2	HEM 100	1%	16	50	0.11	17698	147643	16832	17280	-7.82	1.03
	N3	HEM 100	1%	16	60	0.09	20699	159983	19608	18875	-7.81	0.96
	N4	HEM 100	1%	16	70	0.08	23701	171331	22367	20962	-7.83	0.94
G2	N5	HEM 100	1%	20	40	0.13	15119	145768	14477	15747	-8.15	1.09
	N6	HEM 100	1%	20	50	0.1	18112	159695	17273	17930	-8.08	1.04
	N7	HEM 100	1%	20	60	0.09	21106	172287	20051	19575	-7.93	0.98
	N8	HEM 100	1%	20	70	0.08	24099	183866	22813	21570	-7.88	0.95
G3	N9	HEM 100	1%	24	40	0.12	15634	159872	15007	16490	-8.34	1.10
	N10	HEM 100	1%	24	50	0.1	18618	174138	17803	18763	-8.32	1.05
	N11	HEM 100	1%	24	60	0.09	21602	187035	20583	20508	-8.19	1.00
	N12	HEM 100	1%	24	70	0.08	24586	198895	23347	22675	-8.21	0.97
G4	N13	HEM 100	1%	30	40	0.11	16583	185167	15973	17280	-8.21	1.08
	N14	HEM 100	1%	30	50	0.1	19550	200049	18766	19680	-8.28	1.05
	N15	HEM 100	1%	30	60	0.08	22516	213504	21544	21500	-8.21	1.00
	N16	HEM 100	1%	30	70	0.07	25483	225877	24308	23625	-8.21	0.97
G5	N17	HEM 140	2%	16	40	0.18	15577	144121	14888	16127	-8.13	1.08
	N18	HEM 140	2%	16	50	0.15	18555	158773	17669	18300	-8.08	1.04
	N19	HEM 140	2%	16	60	0.13	21532	172019	20433	19980	-7.97	0.98
	N20	HEM 140	2%	16	70	0.12	24510	184200	23183	22010	-7.94	0.95
G6	N21	HEM 140	2%	20	40	0.18	15998	155859	15326	16540	-8.23	1.08
	N22	HEM 140	2%	20	50	0.15	18969	170784	18107	18635	-8.11	1.03
	N23	HEM 140	2%	20	60	0.13	21939	184278	20872	20312	-8.01	0.97
	N24	HEM 140	2%	20	70	0.12	24909	196687	23623	22282	-7.96	0.94
G7	N25	HEM 140	2%	24	40	0.17	16514	169919	15856	17340	-8.47	1.09
	N26	HEM 140	2%	24	50	0.15	19474	185178	18636	19600	-8.45	1.05
	N27	HEM 140	2%	24	60	0.13	22435	198973	21401	21550	-8.46	1.01
	N28	HEM 140	2%	24	70	0.11	25396	211659	24152	23675	-8.45	0.98
G8	N29	HEM 140	2%	30	40	0.16	17462	195137	16820	18345	-8.44	1.09
	N30	HEM 140	2%	30	50	0.14	20406	211003	19596	20580	-8.39	1.05
	N31	HEM 140	2%	30	60	0.12	23349	225347	22358	22637	-8.46	1.01
	N32	HEM 140	2%	30	70	0.11	26293	238538	25107	24762	-8.44	0.99
G9	N33	HEM 220	4%	16	40	0.3	17785	173608	17039	18630	-8.38	1.09
	N34	HEM 220	4%	16	50	0.26	20705	190738	19785	20930	-8.41	1.06
	N35	HEM 220	4%	16	60	0.23	23624	206226	22518	22650	-8.27	1.01
	N36	HEM 220	4%	16	70	0.2	26543	220468	25239	24640	-8.21	0.98
G10	N37	HEM 220	4%	20	40	0.29	18207	185248	17473	19020	-8.39	1.09
	N38	HEM 220	4%	20	50	0.25	21119	202642	20217	21400	-8.49	1.06
	N39	HEM 220	4%	20	60	0.22	24030	218367	22949	23340	-8.49	1.02
	N40	HEM 220	4%	20	70	0.2	26942	232827	25668	25500	-8.52	0.99
G11	N41	HEM 220	4%	24	40	0.28	18722	199194	18000	19570	-8.41	1.09
	N42	HEM 220	4%	24	50	0.25	21624	216906	20741	21920	-8.47	1.06
	N43	HEM 220	4%	24	60	0.22	24527	232920	23469	23880	-8.49	1.02
	N44	HEM 220	4%	24	70	0.19	27429	247646	26186	26025	-8.51	0.99
G12	N45	HEM 220	4%	30	40	0.27	19671	224204	18962	20525	-8.41	1.08
	N46	HEM 220	4%	30	50	0.24	22556	242500	21695	22900	-8.49	1.06
	N47	HEM 220	4%	30	60	0.21	25441	259040	24416	24875	-8.51	1.02
	N48	HEM 220	4%	30	70	0.19	28326	274251	27127	27048	-8.54	1.00
G13	N49	HEM 300	8%	16	40	0.47	22719	250483	21873	23430	-8.07	1.07
	N50	HEM 300	8%	16	50	0.42	25508	272963	24529	25534	-8.02	1.04
	N51	HEM 300	8%	16	60	0.38	28296	293286	27177	27302	-8.21	1.00
	N52	HEM 300	8%	16	70	0.35	31085	311976	29815	29541	-8.18	0.99
G14	N53	HEM 300	8%	20	40	0.47	23141	261893	22301	23900	-8.16	1.07
	N54	HEM 300	8%	20	50	0.42	25922	284608	24952	26128	-8.22	1.05
	N55	HEM 300	8%	20	60	0.38	28703	305145	27595	27931	-8.19	1.01
	N56	HEM 300	8%	20	70	0.34	31484	324030	30229	29900	-8.17	0.99
G15	N57	HEM 300	8%	24	40	0.46	23656	275561	22821	24450	-8.17	1.07
	N58	HEM 300	8%	24	50	0.41	26428	298564	25466	26716	-8.25	1.05
	N59	HEM 300	8%	24	60	0.37	29199	319359	28103	28486	-8.19	1.01
	N60	HEM 300	8%	24	70	0.34	31971	338483	30732	30512	-8.21	0.99
G16	N61	HEM 300	8%	30	40	0.44	24605	300075	23775	25340	-8.12	1.07
	N62	HEM 300	8%	30	50	0.39	27359	323602	26408	27595	-8.18	1.04
	N63	HEM 300	8%	30	60	0.36	30113	344871	29033	29485	-8.21	1.02
	N64	HEM 300	8%	30	70	0.33	32868	364431	31650	31515	-8.22	1.00
Ortalama:											1.03	

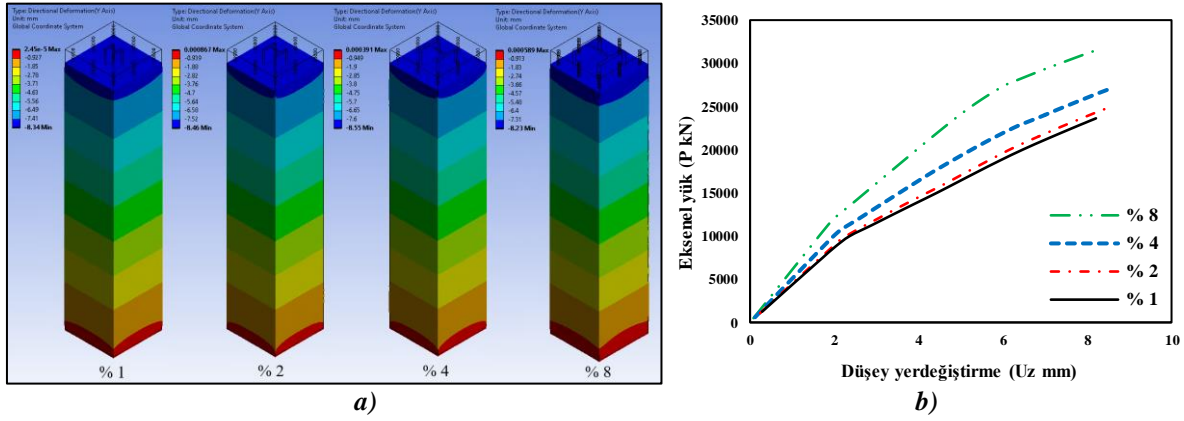


Şekil 8. Eksenel yük kapasitesi ÇYTHYE [1] ve ANSYS [2] sayısal karşılaştırılması

Kompozit kolona ait 64 adet parametrik çalışmada elde edilen en büyük eksenel yük kapasitesinin ÇYTHYE [1] ve ANSYS [2] sayısal karşılaştırılmasında bu oranlar $-\%6$ ile $+\%10$ aralığında yakınsadığı görülmüştür (Şekil 8).



Şekil 9. Beton sınıfı C70 ve boyuna donatı $\phi 30$ 'daki çelik gömmeli kompozit kolona ait malzemelerin gerilme davranışları



Şekil 10. Beton sınıfı C70 ve boyuna donatı $\phi 30$ 'daki çelik gömmeli kompozit kolona ait
a) ANSYS sonuçları b) Kuvvet-düşey yer değiştirme grafiği

Parametrik çalışmadaki altmış dört adet çelik gömmeli kompozit kolona ait analizde, üst levhaya yük artışları uygulanarak göçene kadar doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda göçme durumuna geldiğinde tüm kompozit kolonlardaki çelik profillerin tamamen akma dayanımına ulaştığı görülmüştür.

Örneğin beton sınıfı C70, boyuna donatı $\phi 30$ ve A_s/A_g oranı %1-2-4-8 olan çelik gömmeli kompozit kolona ait olan gerilme davranışları incelenmiştir. Kompozit kolonlar aksenal yük altında göçme durumuna ulaştığında, yapısal çelik profilin ve boyuna donatı çeliğinin akma sınırına yaklaştığı görülmüştür (Şekil 9). Ayrıca düşey yer değiştirme Şekil 10.a'da ve Tablo 3'te verilmiştir. Kompozit kolonların kuvvet-deplasman grafikleri de Şekil 10.b'de verilmiştir. Diğer kompozit kolon elemanlarında benzer şekilde davrandığı görülmüştür.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada iki ucu mafsallı kompozit kolonların, aynı kesit boyutları 600x600 mm, enine donatı çapları $\phi 10/200$ mm ve kolon yüksekliği 3000 mm, farklı boyuna donatı çapı, beton sınıfı ve çelik alan oranına sahip kompozit kolonların, tasarım basınç dayanımları ve aksenal kuvvet-moment eğrilerin davranışı incelenmiştir. Bu davranışa etki eden yapısal çelik alan oranı, beton dayanımı ve boyuna donatı oranı gibi parametrelerin etkisini araştırmak için ÇYTHYE [1] yönetmeliği kullanılarak toplamda altmış dört adet analiz yapılmıştır. Bu analizleri üç boyutlu ANSYS programı kullanılarak doğrusal olmayan (nonlinear) analizler yapılarak ÇYTHYE [1] yönetmeliği ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

Boyuna donatı çapı ile çelik alan oranı (A_s/A_g) sabit seçildiğinde, beton sınıfı arttırılırsa aksenal yük taşıma kapasiteleri 1.33-1.62 artar iken eğilme momenti değerleri ise 1.22- 1.60 kat artış göstermiştir. Beton sınıfı ile boyuna donatı çapı sabit seçildiğinde, çelik alan oranı (A_s/A_g) arttırılırsa aksenal yük taşıma kapasiteleri 1.29-1.55 artar iken eğilme momenti değerleri ise 1.57- 2.14 kat artış göstermiştir. Çelik alan oranı (A_s/A_g) oranı ile beton sınıfı sabit seçildiğinde, boyuna donatı çapı arttırılırsa aksenal yük taşıma kapasiteleri 1.05-1.13 artar iken eğilme momenti değerleri ise 1.11-1.32 kat artış göstermiştir. Çelik gömmeli kompozit kolondaki çelik profil tamamen akma dayanımına ulaşmış olup; inelastik davranış göstermiştir. Yapısal çelik için ANSYS den hesaplanan yük ile yönetmelikte hesaplanan en büyük aksenal yük oranları 0.94-1.10 aralığında iken ortalama ise 1.03 olarak bulunmuştur. ÇYTHYE [1] yönetmeliğine göre yapısal çelik alan oran %1'den büyük ise kompozit kolon olarak tasarlanmaktadır. Ancak Eurocode 4 [26] yönetmeliğine göre grup 1– 8 betonarme kolon davranışı gösterirken grup 9-16 kompozit kolon davranışı sergilediği görülmüştür.

Sonlu elemanlar ile analiz yapılırken seçilen eleman tipi-SOLID185'in analitik çalışma ile bulunan sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Bu tip bir çalışma yürütülürken, seçilecek sonlu eleman tipinin önemli olduğu ve modelin malzeme, geometri ya da hem malzeme hem de geometri bakımından lineer olmayan davranış açısından irdelenmesi gerekmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik, 2016.
- [2] ANSYS, ANSYS User's Manual Revision 19.0, ANSYS, Inc., USA, 2019.
- [3] D. Tjitradi, E. Eliatun ve S. Taufik, "3D ANSYS Numerical Modeling of Reinforced Concrete Beam Behavior under Different Collapsed Mechanisms," *International Journal of Mechanics and Applications*, c. 7, s. 1, ss. 14-23, 2017.
- [4] S. Taufik, G. Utomo ve A. Sugianto, "Behavior of filled and encased composite column using 3D numerical modelling ANSYS," *International Journal of Composite Materials*, c. 8, s. 1, ss. 18-23, 2018.
- [5] E. Ellobody, B. Young ve D. Lam D, "Eccentrically loaded concrete encased steel composite columns," *Thin-Walled Structures*, c. 49, s. 1, ss. 53-65, 2011.
- [6] D. Ertürkme, C. Dünder ve S. Tokgöz, "Karbon Lifli Polimer Sargılı Narin Betonarme Kolonların Moment Büyütme Yöntemi ile Analizi," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 31, s. 1, ss. 11-21, 2016.
- [7] T. Stolarski, Y. Nakasone ve S. Yoshimoto, "Application of ANSYS to stress analysis", Engineering Analysis with ANSYS Software, Linacre house, Oxford, 1st Edition, *Elsevier Butterworth*, 2006, ss. 51-142.
- [8] S. Taufik ve B. Tjahjono, "3D ANSYS Modeling behaviour of encased steel composite column with wide flange and hollow section," *International Journal of Mechanics and Applications*, c. 9, s. 1, ss. 10-18, 2019.
- [9] T. Kartheek ve T.V. Das, "3D modelling and analysis of encased steel-concrete composite column using ABAQUS," *Materials Today: Proceedings*, c. 27, s. 2, ss. 1545-1554, 2020.
- [10] K.S. Viridi ve P.J. Dowling, "The ultimate strength of composite columns in biaxial bending," *Proceedings Institution of Civil Engineers*, c. 55, s. 1, ss. 251-72, 1973.
- [11] P.R. Munoz ve C.T. Hsu, "Behaviour of biaxially loaded concrete-encased composite columns," *Journal of Structural Engineering, ASCE*, c. 123, s. 9, ss. 1163-1171, 1997.
- [12] C.C. Chen ve N.J. Lin, "Analytical model for predicting axial capacity and behavior of concrete encased steel composite stub columns," *Journal of Constructional Steel Research*, c. 62, s. 5, 424-433, 2006.
- [13] E. Ellobody ve B. Young, "Numerical simulation of concrete encased steel composite columns," *Journal of Constructional Steel Research*, c. 67, s. 2, 211-222, 2011.
- [14] B. Lai, J.Y. Richard Liew ve S. Li, "Finite element analysis of concrete-encased steel composite columns with off-center steel section," *12th International Conference on Advances in Steel-Concrete Composite Structures*, ss. 27-29, 2018.

- [15] D.H Nguyen ve W.K. Hong, “An analytical model computing the flexural strength and performance of the concrete columns confined by both transverse reinforcements and steel sections,” *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, c. 19, s. 6, ss. 647-66, 2020.
- [16] B. Lai ve J.Y. Richard Liew, “Axial-moment interaction of high strength concrete encased steel composite columns: Design recommendation,” *Journal of Constructional Steel Research*, c. 170, s. 7, ss. 106136, 2019.
- [17] O. Düğenci, “Artı kesitli çekirdeğe sahip burkulması önlenmiş basınç çubuklarının eksenel yük altında deneysel ve numerik araştırılması,” Doktora tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2015.
- [18] I. Montava, R. Irlles, J. Segura, J. M. Gadea ve E. Juliá “Numerical simulation of steel reinforced concrete (SRC) joints,” *Metals*, c. 9, s. 2, ss. 131, 2019.
- [19] S. Kedziora ve M. O. Anwaar, “Concrete-filled steel tubular (CFTS) columns subjected to eccentric compressive load,” *Proceedings of the 15th Stability of Structures Symposium*, ss. 20004, 2019.
- [20] F. P. M. Quevedo, R. J. Schmitz, I. B. Morsch, A. C. Filho, D. Bernaud, “Customization of a software of finite elements to analysis of concrete structures: long-term effects,” *Ibracon structures and materials journal*, c. 11, s. 4, ss. 696-718, 2018.
- [21] S. B. Krylov, V. I. Travush, A. S. Krylov ve D. V. Konin, “Contact technologies in design of reinforced concrete beams with cracks,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, ss. 456, 2018.
- [22] ANSI/AISC 360-16-Specification for structural steel buildings. American Institute of Steel Construction (AISC), 2016.
- [23] X. Yun and L. Gardner L, “Stress-strain curves for hot-rolled steels,” *Journal of Constructional Steel Research*, c. 133, s. 6, ss. 36–46, 2017.
- [24] E. Hognestad, N.W. Hanson and DMchenry, “Concrete Stress Distribution in Ultimate Stress Design,” *ACI Journal*, c. 27, s. 4, ss. 455-479, 1955.
- [25] H.B. Özmen, M. İnel and H. Bilgin, “Sargılı beton davranışının betonarme eleman ve sistem davranışına etkisi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 22, s. 2, ss. 375- 383, 2007.
- [26] Eurocode 4 : Design of composite steel and concrete structures-Part 1- 1. General rules and rules for buildings, EN 1994-1-1, 2004.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Çeşitli Yük Durumlarında Faz Kaydırıcı Transformatörlerin Güç Sistemine Etkileri

 Salih TOSUN ^{a,*},  Ali ÖZTÜRK ^b,  Beytullah BOZALI ^c

^a Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^c Elektrik ve Enerji Bölümü, Meslek Yüksek Okulu, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* salihotosun@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.825738

ÖZET

Son yıllarda elektrik enerjisine olan ihtiyaç devamlı artmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte ise güç sistemine yeni ve farklı yük çeşitleri eklenmektedir. Bunun sonucunda, elektrik güç sisteminin işletilmesinde yeni sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlardan biri de güç sisteminin güvenilir ve kararlı şekilde çalıştırılmasıdır. Geleneksel yüklerin yanı sıra farklı karakteristik yükler sistemde istenmeyen etkiler oluşturabilmektedir. Bu yüklerin aynı anda Faz Kaydırıcı Transformatör (FKT) ile birlikte işletilmesinde oluşabilecek durumların incelenmesi gerekmektedir. Bilhassa ülkeler arası veya bölgeler arası güç sistemi bağlantılarında tercih edilen FKT'ler sargıları arasında faz farkı oluşturarak aktif güç kontrolü yapmaktadır. Transformatörün faz kaydırma açıları, üzerindeki sargıların kademelerinin değiştirilmesiyle elde edilmektedir. Ayrıca yük akışını kontrol etmek suretiyle enerji iletim hatlarını maksimum kapasite ve verimde kullanmak imkânı da oluşmaktadır. Bu çalışma Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) benzetim programı üzerinden, FKT bulunan IEEE'nin 6 baralı güç sistemine çeşitli yükler bağlanarak güç sisteminin analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güç Sistemi, Yük Akışı, Gerilim Kararlılığı, Faz Kaydırıcı Transformatör

Effects of Phase Shifting Transformers on Power System in Various Load Situations

ABSTRACT

Today, ever-increasing demands for electrical energy and with the developing technology, new and different special loads are added to the system every day. As a result, new problems arise in the operation of the electric power system. One of these problems is the reliable and stable operation of the power system. Apart from traditional loads, different characteristic loads can create undesired effects in the system. Situations that may occur in operating these loads together with Phase Shifting Transformer (PST) must be carried out. PSTs, which are preferred especially in inter-country or inter-regional power system connections, create active power control by creating a phase difference between their windings. Phase shifting angles of the transformer are obtained by changing the stages of the windings on it. In addition, it is possible to use the energy transmission lines at maximum capacity and efficiency by controlling the load flow. In this study, the Power System Analysis Program (PSAT) simulation program was used to analyze the power system by connecting various loads to the 6-bus power system of IEEE with PST.

Keywords: Power System, Load Flow, Voltage Stability, Phase Shifting Transformers

Geliş: 17/11/2020, Düzeltme: 02/02/2021, Kabul: 12/02/2021

I. GİRİŞ

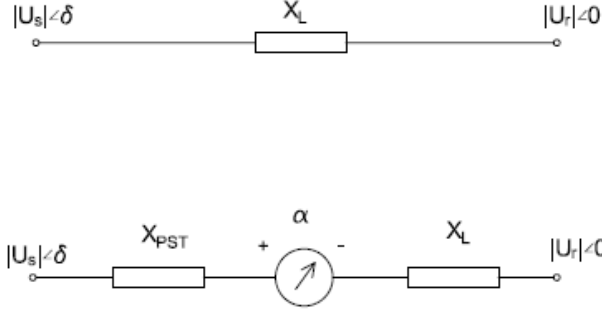
Günümüzde teknolojinin hızlı gelişimi ve elektrik enerjisine olan talebin artış göstermesi sonucunda güç sisteminde dengesizlikler oluşmaktadır. Bu durumda güç sisteminin iyileştirilmesi için sistem üzerinde yapısal düzenlemeler gerekmektedir. Genellikle elektrik güç sisteminde, iletim ve dağıtım seviyesindeki kararlılık veya güç dengelemeleri generatörlerin üretimi üzerinden yapılmaktadır. Ancak son yıllarda var olan enerji güç sistemi üzerinde eklemeler veya değişiklikler ile güç dengelemesi veya kararlılık düzeltilmesi yapılmaktadır [1]. Gerilim kararlılığı, enerji nakil hattının maksimum yüklenme kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir ve yük bara değerlerinin belirlenen sınırlar içerisinde tutulabilmesi yeteneği olarak ifade edilir [2]. Elektrik güç sistemlerinde tüketicilerin güç ihtiyaçları gelişmeye bağlı olarak devamlı artmaktadır. Güç sistemlerinde devreye her an yükler, hatlar ve üretim kaynaklar girip çıkmaktadır. Bu durum güç sistemini dinamik bir hale sokmaktadır. Bu dinamik yapı içerisinde olan yük baralarının kritik değerleri olan güç, gerilim genlik ve gerilim açısı değerlerinin bilinmesi gerekir. Sistemde yük akışı olduğunda yük baralarının bu kritik değerlere ulaşmaması gerekir. Güç sistemi bu değerlere ulaşmayacak şekilde tasarlanmalı ve işletilmelidir. Aksi durumda sistemde büyük ekonomik kayıplara mal olabilecek, gerilim çökmesi gibi durumlar yaşanacaktır [3]. Glover ve arkadaşları yaptıkları çalışmada gerilim kararlılığının kritik bara değerlerini Newton Raphson yük akışı analizi ile belirlemişlerdir [4]. Gerilim değerlerinin sınır değerleri altına düşmesi gerilim kararlılığını bozar. Bunun sonucunda iletim hatları generatörler ve yükler devre dışı kalabilir [5]. Thomas ve arkadaşları jakobien matrisin tekil değerini temel alan global bir gerilim kararlılık indikatörünü geliştirmişlerdir [6]. Begović ve arkadaşları thevenin eşdeğer empedansının büyüklük ve oranına dayanan gerilim kararlılık çalışmaları yapmıştır [7]. Farklı bir çalışmada ise güç akışının kontrol edilememesi ve sistemin aşırı yüklenmesi gibi sorunların çözümlerinde kullanılacak devre elemanlarından birisi de FKT'ler olduğu ifade edilmiştir [8]. Bu analizler sonucu gerilim kararsızlığı veya daha ileri seviyesi olan gerilim çökmeleri dinamik bir olay olduğu kabul edilmiştir [9]. Gerilim kararlılığının dinamik yapısına rağmen, analizlerinden birçoğu statik analiz yöntemleri kullanılarak yapılır.

Bu çalışma, IEEE'nin 6 baralı test sistemine uygulanmıştır. Yapılan yük akışı sonucu en yoğun güç akışının yaşandığı hat olan 2-4 nolu baralar arasına FKT bağlanmış ve açısı 20°'ye ayarlanmıştır. Daha sonra 4 nolu yük barasına sırasıyla Endüktif yük, ZIP yük, Gerilime Bağlı yük, Frekansa Bağlı yük ve Asenkron Motor yükü bağlanarak yük akışı analizleri yapılmıştır. Yapılan sürekli yük akışı sonucunda enerji iletim hattının en büyük değerleri olan kritik değerler elde edilmiştir. Bu çalışmada analizler ve elde edilen değerler, Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) simülasyonları ile elde edilmiştir.

II. FKT VE YÜK MODELLEMELERİ

A. FAZ KAYDIRICI TRANSFORMATÖRLER

FKT, enerji iletim hattı üzerine kurulu ve güç akışını kontrol etmek için tasarlanan özel bir transformatörler çeşididir. Transformatörün sahip olduğu özel sargı sayesinde giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasında faz farkı oluşturur. Bu durumda elektrik güç sistemine değişik faz açılara sahip gerilim uygulanmış gibi düşünülebilir. Bu durumda enerji iletim sistemlerinde FKT'ler enerji akış yönünü belirlemede kullanılırlar [10]. FKT'lerde faz değiştirme işlemi, iletim hattının gerilim genliğine değiştirilebilir gerilim bileşeni çıkarılarak veya eklenerek sağlanır. FKT'lerin elektriksel eşdeğer devresi Şekil 1'de belirtilmiştir.



Şekil 1. FKT'li ve FKT'siz olarak modellenmesi [11]

Şekil 1'de ifade edilen, U_s ve U_r hat başı ve hat sonu gerilim genlik ifadeleridir. δ ise sistemin güç açısıdır. α ifadesi ise FKT'nin ilave edilen veya çıkarılan açısıdır. X_L hattın reaktansı ve X_{PST} ise sisteme bağlanan FKT'nin reaktansıdır ve sisteme seri olarak bağlanmaktadır. Bu durum sonucunda iletim hattı üzerinden iletilen aktif ve reaktif güç denklemleri Eşitlik 1'de verilmiştir.

$$P = \frac{|U_s||U_r|}{X_L} \sin\delta \quad Q = \frac{|U_s||U_r|}{X_L} \left(\cos\delta - \frac{|U_r|}{|U_s|} \right) \quad (1)$$

Eşitlik 1'e göre; aktif güç P , hat başı ve hat sonundaki gerilimlerle ve her iki ucun faz farkı olarak $\sin\delta$ ile doğru orantılıdır. Hattın reaktansı ile ters orantılıdır. Eşitliğe göre Aktif güç, gerilimlerin değişimine bağlı olarak kontrol edilebilir. Ancak bunun sonucunda reaktif güçte de büyük değişimler olabileceğinden bu yöntem verimli olmaz. Bunun için diğer değişken olan hattın reaktansını değiştirmek gerekir. FKT devre modelinde transformatörün reaktansı, faza seri olarak bağlanması sebebiyle ve α açısının δ açısına eklenmesiyle güç akışı değiştirilir. Bu durumda güç akışı belli sınırlar içerisinde kontrol edilebilir duruma gelir [11]. Bunun sonucunda Eşitlik 1, Eşitlik 2'deki ifadeye dönüşmüş olur.

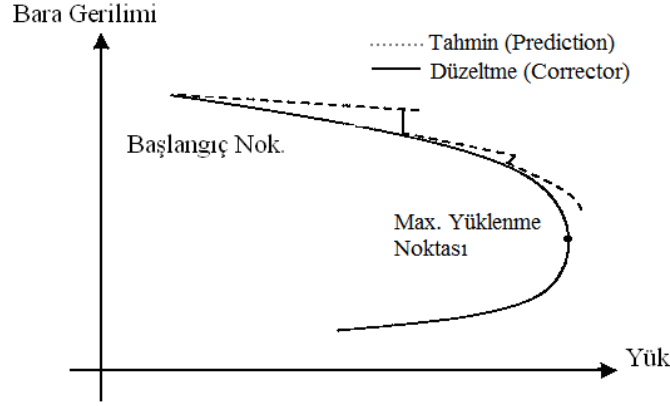
$$P = \frac{|U_s||U_r|}{X_L + X_{PST}} \sin(\delta + \alpha) \quad (2)$$

B. SÜREKLİ YÜK AKIŞI

Güç sisteminde gerilim kararlılık sınırlarının gözlemlenmesi en kolay yük baralarında elde edilen P-V değerleri ile sağlanır. Gözlemlenen bu değerler bara kritik değerleri olarak da ifade edilmektedir. Bu durumda yükün çektiği aktif güce kritik güç değeri denir. Şekil 2'de görüleceği üzere bara geriliminin azalması sistemin kararlı çalışmasını zorlaştırmaktadır [12]. Buradaki kararsızlık gerilim kararsızlığı olup, oluşumu ve devamındaki olaylar dinamik bir süreçtir. Sistemin ve olayların dinamik bir süreç olmasına karşın analizler genellikle statik analiz yöntemleri ile yapılır [13]. Eşitlik 3'de, güç sisteminin Gerilim-Yüklenme Parametresi ($V-\lambda$) ile baranın, aktif ve reaktif güç değerleri arasındaki bağlantı verilmiştir.

$$P_L = P_{L0} (1 + \lambda) \quad Q_L = Q_{L0} (1 + \lambda) \quad (3)$$

Eşitlikteki P_{L0} ve Q_{L0} ifadeleri güç sisteminin başlangıç aktif güç ve reaktif güç değerleridir. P_L ve Q_L ise yükün o andaki aktif güç ve reaktif güç değerleridir. λ ise maksimum yüklenme parametre değeridir. Gerilim ile yüklenme parametresi ($V-\lambda$) arasındaki bağlantıyı kurmak için sürekli güç akışı yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Sürekli güç akışı analizi ise tahmin ve düzeltme işlemlerini sıralı olarak işleyen bir süreçtir. Sürekli güç akışındaki temel prensip tahmin ve düzeltme bağlantısı üzerine kurulmuştur. Tahmin, o andaki çalışma noktasına teğet doğrultusu boyunca gerçekleşmesi Şekil 2'de görüldüğü gibidir. Düzeltme vektörü ise teğet doğrultusuna dik bir düzlem olarak kullanılmıştır [14]. Güç sisteminde bu ardışık işlemler yapılırken baralardan çekilen güç değerlerinin sabit olduğu kabul edilir.



Şekil 2. Baradan çekilen güç ve bara gerilimi (P-V) eğrisi üzerinde tahmin ve düzeltme

C. YÜK MODELLERİ

Yük modeli; sistem modelinde açıkça temsil edilmeyen sistemin bir kısmı, daha ziyade bir baraya bağlı tek güç tüketen aygıt olarak kabul edilir. Güç sistemlerinde yüklerin içeriği incelendiğinde, güç sisteminin içerdiği tüm elemanlar (yükseltici ve indirici transformatörler, seri ve şönt elemanlar, iletim hatları...) ve baralara bağlı tüm yüklerden oluşmaktadır [15]. Bu yükler sistem üzerinde tek yük haline indirgenir ve tek bir yük modeli haline getirilir. Güç sistemlerinde gerilim kararsızlığının itici gücü olarak genellikle yükler görülmektedir [16]. Güç sistemlerinde gerilim değişimlerine bağlı olarak yükler; sabit empedans yükleri, sabit akım yükleri, sabit güç yükleri olarak sınıflandırılabilir. Sabit empedans yükleri; aydınlatma, ısıtma, ark ocakları gibi örnekler olup çoğunlukla omik yüklerdir. Sabit akım yükleri; metalürji ve kimya alanındaki yükler olarak kabul edilirler. Sabit güç yükleri ise; empedans kontrollü yükler ile asenkron motorlar bu grubu oluşturmaktadır [3].

C.1. ZIP Yük Modeli

Polinom veya ZIP yüklerin modeli üstel bir fonksiyondur. Bu model statik yük modeli ve gerilime bağlı olup, zamana bağlı olmayan fonksiyondur. ZIP modeli yaygın olarak kullanılmaktadır. Fonksiyon, sabit gücü, sabit akımı ve sabit empedans yükünü temsil eden üç terimi göstermektedir [17]. ZIP yüklerini modelleyen eşitlikler, Eşitlik 4 ile gösterilmiştir.

$$P = g(V)^2 + I_P(V) + P_n \quad Q = b(V)^2 + I_Q(V) + Q_n \quad (4)$$

Burada V yük akışı sonucunda elde edilen bara gerilimidir. Diğer parametreler ise g ; konduktans, I_P ; aktif akım, P_n ; aktif güç, b ; suseptans, I_Q ; reaktif akım, Q_n ; reaktif güç'dür [18].

Denklem 4'de verilen eşitlikteki katsayılar; $g+I_P+P_n=1$, $b+I_Q+Q_n=1$ şeklinde olmalıdır.

C.2. Gerilime Bağlı Yük Modeli

Geleneksel yük akış çalışmalarında baraların gerilim genlik değerlerine bakılmaksızın aktif ve reaktif güç değerleri sabit olarak kabul edilirdi. Gerçek güç sistemlerinde ise farklı kategorilerde ve farklı tiplerde (konut, endüstri, ticarethane) yükler bulunabilir. Bu tip yüklerin doğası olarak aktif ve reaktif yükler gerilime ve frekansa bağlıdır. Çok yaygın statik yük modeli olup, aktif ve reaktif güç tek terimli ve üslü ifade fonksiyonu şeklindedir [19]. Gerilime bağlı yük modelini fonksiyon olarak ifade eden eşitlik Denklem 5'de verilmiştir.

$$P = P_0 V^{\alpha P} \quad Q = Q_0 V^{\beta Q} \quad (5)$$

Burada, V ; yük gerilimini, P_0 ve Q_0 ise nominal gerilimdeki aktif ve reaktif güçleri ifade etmektedir. Üstel olarak ifade edilen αP ve βQ aktif ve reaktif güçlerin üstel değerlerini ifade etmektedir. Bu tipik değerler farklı yük elemanlarının değerleridir [20].

C.3. Frekansa Bağlı Yük Modeli

Bu yük modeli, frekansa bağlı ve statik bir yük modeli şeklindedir. Genellikle bir polinom veya üstel yükün çarpımı ile temsil edilir ve Denklem 6 ve 7'deki eşitliklere göre hesaplanır [21].

$$P = k_P / 100 (V / V_0)^{\alpha P} (1 + \Delta\omega)^{\beta P} \quad (6)$$

$$Q = k_Q / 100 (V / V_0)^{\alpha Q} (1 + \Delta\omega)^{\beta Q} \quad (7)$$

Burada; k_P ve k_Q yüzde olarak aktif ve reaktif güç oranı, αP ve αQ aktif ve reaktif gerilim katsayısı, βP ve βQ aktif ve reaktif güç frekans katsayıları, $\Delta\omega$ yük barasındaki frekans sapmasını temsil etmektedir.

C.4. Asenkron Motor

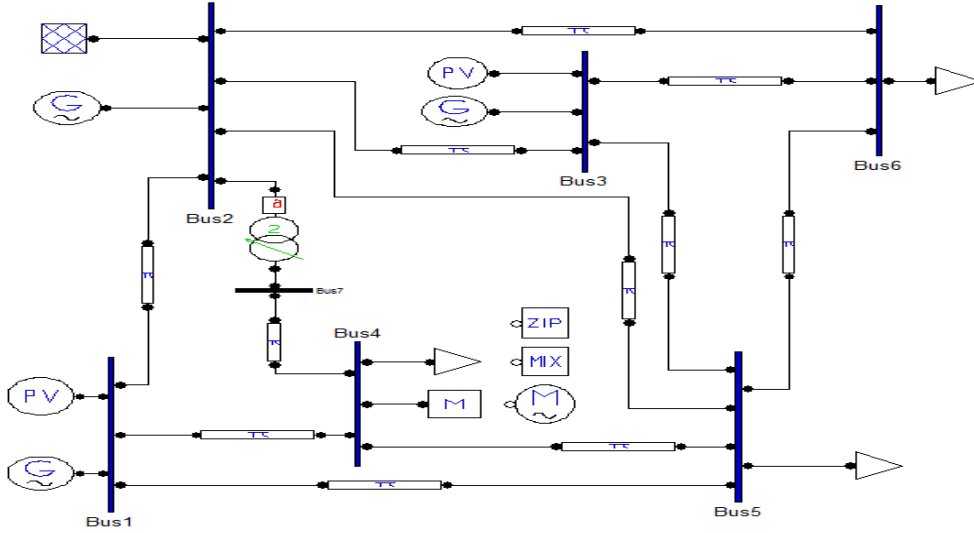
Günümüzde endüstride kullanılan motorların yaklaşık %95'i asenkron motorlardır. Geleneksel statik yük modelleri bu yükün davranışını temsil etmede yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı motorlarla ilişkili dinamiklerin doğru olarak modellenmesi gerekir. Güç sistem kararlılık çalışmalarında iki tip asenkron motoru ile modellenmektedir. Küçük tip motorlar için "Slip Model" ve büyük tip motorlar için "Slip Flux Model"dir [22-23]. Gerilim kararlılığı analizi için asenkron motorun dinamik yük modeli asenkron motorun karakteristik temellerinden türetilmiştir. Asenkron motorun yük talebi sürülen yükün talebine bağlıdır. Asenkron motorun güç değerleri aşağıdaki denklem 8'deki gibi hesaplanır.

$$P = x_p (E^2 / R_r) \quad Q = (x_s + x_r)(Ex_p / R_r)^2 \quad (8)$$

Eşitlikde, x_s , x_r ; motorun stator ve rotor endüktansını, E ; stator terminal gerilimini, R_r ; rotor direncini, x_p ; motorun kaymasını ifade etmektedir.

III. BENZETİM ÇALIŞMASI

Şekil 3'deki bu çalışmada, 6 baralı test sistemine, yük akışı sonucu en yoğun güç akışının yaşandığı hat olan 2-4 nolu baralar arasında FKT bağlanmış ve açı değeri 20'ye ayarlanmıştır. Sistemin toplam aktif ve reaktif gücü 280 MW ve 190 MVar değerindedir. Bu aktif ve reaktif güçler üç adet generatör ile sağlanmaktadır. Benzetim çalışmasında 4 nolu yük barasına ayrı ayrı olarak ZIP Yük modeli, Gerilime Bağlı Yük modeli, Frekansa Bağlı Yük modeli ve Asenkron motor yükü bağlanmıştır. Sistemde her yük modeli için, Newton-Raphson (NR) yük akışı yapılarak sistemin normal çalışma gerilim ve yük değerleri belirlenmiştir. Daha sonra sürekli yük akışı yapılarak güç akış denklem çözümlerinin tekil olduğu noktaya ulaşılarak sistemin kritik bara değerleri elde edilmiştir. Benzetim çalışması Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) üzerinde uygulanmıştır [21].



Şekil 3. Yeniden düzenlenmiş 6 baralı test sistemi

Güç sistemi normal işletme şartlarında yük akışı yapıldığında yük baralarının gerilim genlik değerleri ve açı değerleri, yük baralarından çekilen aktif ve reaktif güç değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Normal işletme şartlarında çeşitli yük modellerinde yük akışı sonucunda elde edilen değerler

Yük Modelleri	Bara	Gerilim (pu)	Açı (Derece)	Aktif Güç Kayıpları (pu)	Reaktif Güç Kay (pu)
Endüktif Yük Modeli	4	0.904	7.88	0.229	0.189
	5	0.903	-1.82		
	6	0.935	-3.62		
	7	0.980	15.79		
ZIP Yük Modeli	4	0.983	12.47	0.200	0.049
	5	0.914	0		
	6	0.937	-2.82		
	7	1.003	17.47		
Gerilime Bağlı Yük Modeli	4	0.835	4.03	0.323	0.507
	5	0.893	-3.29		
	6	0.933	-4.28		
	7	0.958	14.51		
Frekans Bağlı Yük Modeli	4	0.904	7.88	0.229	0.189
	5	0.903	-1.82		
	6	0.935	-3.62		
	7	0.980	15.79		
Asenkron Motor Yüğü	4	0.983	12.47	0.200	0.049
	5	0.914	0		
	6	0.937	-2.82		
	7	1.003	17.47		

Tablo 1’de, 4 nolu yük barasına çeşitli yük modelleri bağlandığında baraların gerilim genlik ve açı değerleri verilmiştir. Ayrıca yük akışı sonucunda sistemin aktif ve reaktif kayıpları da gösterilmiştir. Elde edilen bu değerlere göre baraların gerilim genlik değerleri normal sınırlar içerisinde kalmaktadır. Yalnızca Gerilime Bağlı Yük Modeli bağlandığında 4 ve 5 nolu baraların gerilim genlik değerleri 0.83 ve 0.89 pu değerlerine düşmektedir. Bu durumda 4 ve 5 nolu baraların gerilim genlik değerleri %10’dan fazla düşmektedir. Bu durum güç sistemlerinde gerilim kararlılığı bakımından istenmeyen bir durumdur.

Bunun sonucunda 4 nolu baraya bağlanacak olan Gerilime Bağlı Yük Modelinin gücünün düşürülmesi gerekmektedir. Aktif ve Reaktif güç kayıpları bakımından sistem incelendiğinde, tüm yük modellerinde kayıplar benzer değerlerde iken Gerilime Bağlı Yük Modelinde kayıplar artmaktadır. Özellikle bu kayıplar reaktif güç kayıplarında daha belirgin olmaktadır. Bu durum aslında gerilim kararlılığının reaktif güç ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

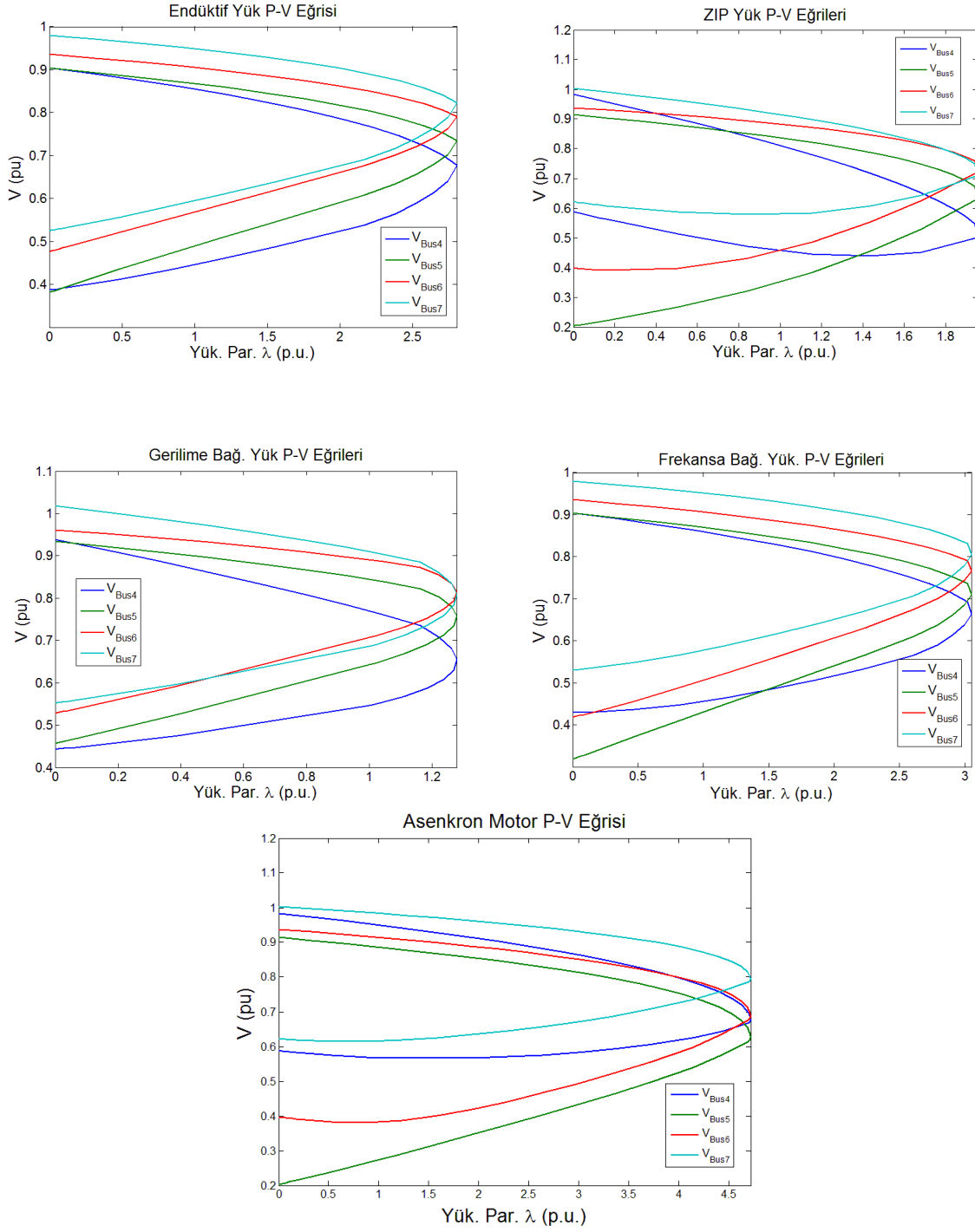
Güç sistemi üzerinde sürekli yük akışı yapılarak sistemin kritik değerleri olan, kritik bara gerilimi ve maksimum yüklenme değerleri bulunur. Sürekli yük akışı sonucunda elde edilen kritik değerler ve aktif reaktif kayıplar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Çeşitli yük modellerinde sürekli yük akışı sonucu elde edilen kritik değerler

Yük Modelleri	Bara	Gerilim (pu)	Açı (Derece)	Maksimum Yüklenme Par. λ (pu)	Aktif Güç Kayıp (pu)	Reaktif Güç Kayıp (pu)
Endüktif Yük Modeli	4	0.640	-0.15	2.804	0.590	1.566
	5	0.702	-8.58			
	6	0.762	-10.91			
	7	0.789	13.25			
ZIP Yük Modeli	4	0.512	2.73	1.951	0.753	2.071
	5	0.640	-5.25			
	6	0.729	-7.49			
	7	0.719	13.90			
Gerilime Bağlı Yük Mod.	4	0.630	-2.60	1.277	0.578	1.502
	5	0.735	-8.88			
	6	0.794	-9.84			
	7	0.783	12.58			
Frekansa Bağlı Yük. Mod.	4	0.663	0.74	3.049	0.572	1.500
	5	0.709	-8.42			
	6	0.765	-11.07			
	7	0.804	13.50			
Asenkron Motor Yük	4	0.676	7.23	4.715	0.687	1.844
	5	0.626	-6.42			
	6	0.687	-11.67			
	7	0.794	15.38			

Tablo 2’de, 4 nolu yük barasına çeşitli yük modelleri bağlanıp sürekli güç akışı yapıldığında baraların kritik gerilim genlik, açı ve maksimum yüklenme değerleri verilmiştir. Elde edilen bu değerlere göre, 4 nolu baraya Asenkron motor bağlandığında 4.715 pu olarak en fazla güç çekilebilmektedir. Daha sonra sırasıyla Frekansa bağlı yük modeli, Endüktif yük, ZIP yük modeli ve son olarak Gerilime bağlı yük modeli olmaktadır. Normal yük akışındaki benzer durum Gerilim yük modeli için sürekli yük akışında da görülmüştü. Kritik gerilim bakımından incelendiğinde ise tüm modeller için en dayanıklı bara 4 nolu bara görülmektedir. Sistemi kararsızlığa götüren en zayıf bara olarak ise 7 nolu bara görülmektedir. Gerilime bağlı yük modeli ve ZIP yük modelinde 4 nolu bara 0.63 ve 0.51 pu gerilime kadar sistemi kararlı halde tutarken, aynı yüklerde 7 nolu baranın kritik gerilimi 0.78 ve 0.71 pu olmaktadır. Kritik değerlerin elde edildiği sürekli yük akışı sonucunda aktif ve reaktif güç kayıpları, bütün yüklerde birbirine benzer iken ZIP yük modelinde kayıplar belirgin şekilde artmıştır.

Yük baralarındaki yük çeşitlerine göre kritik değerlerin değişimini gösteren P- λ eğrileri şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Çeşitli yük durumlarında yük baralarındaki P - λ değerlerinin değişimi

Şekil 4’de verilen P - λ eğrilerine göre güç sistemine asenkron motor bağlı iken maksimum güç transferi gerçekleşmektedir. En az güç transferi ise Gerilime bağlı yük modeli bağlı olduğunda gerçekleşmektedir. Bu değerler, en fazla 4.715 pu ve en az 1.277 olarak gerçekleşmiştir. Tüm baralarda en güçlü bara olarak 4 nolu bara gözlemlenmiştir. Ancak asenkron motor yükü bağlı olduğu durumda 5 nolu bara daha kararlı bara olarak ortaya çıkmıştır.

IV. SONUC

Yapılan bu çalışmada 6 baralı test sistemine, ayrı ayrı olarak ZIP Yük modeli, Gerilime Bağlı Yük modeli, Frekansa Bağlı Yük modeli ve Asenkron motor yükü bağlanmıştır. Sistemde her yük için, Newton-Raphson (NR) yük akışı yapılarak sistemin normal çalışma gerilim ve yük değerleri belirlenmiştir. Daha sonra sürekli yük akışı yapılarak güç akış denklem çözümlerinin tekil olduğu noktaya ulaşılarak sistemin kritik bara değerleri elde edilmiştir.

Yapılan analiz sonucunda; normal çalışma esnasında, yük baralarının gerilim genlik değerleri ve açı değerleri sistemin kararlılık sınırları içerisinde bulunduğu görülmektedir. Yalnızca Gerilime Bağlı Yük Modeli bağlandığında 4 ve 5 nolu baraların gerilim genlik değerleri normal işletme şart değerlerinin altına düşmektedir. Bu durum güç sistemlerinde gerilim kararlılığı bakımından istenmeyen bir durumdur. Aktif ve Reaktif güç kayıpları bakımından sistem incelendiğinde, tüm yük modellerinde kayıplar benzer değerlerde iken Gerilime Bağlı Yük Modelinde kayıplar artmaktadır. Özellikle bu kayıplar reaktif güç kayıplarında daha belirgin olmaktadır. Bu sonuç aslında gerilim kararlılığının reaktif güç ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

4 nolu yük barasına çeşitli yük modelleri bağlanıp sürekli yük akışı yapıldığında baraların kritik gerilim genlik, açı ve maksimum yüklenme değerleri elde edilir. $P-\lambda$ eğrileri olarak da ifade edilen maksimum yüklenme eğrilerinde, asenkron motor bağlı iken en fazla güç transferi gerçekleşmiştir. En az güç transferi ise Gerilime bağlı yük modeli bağlı olduğunda elde edilmiştir. Tüm baralarda en güçlü bara olarak yüklerin bağlandığı bara gözlemlenmiştir. Ancak asenkron motor yükü bağlı olduğu durumda bu bara değil, asenkron motora yakın başka bir bara daha karalı bara olarak ortaya çıkmıştır.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. P. G Verbic and F. Gubina., "On voltage collapse and apparent power losses," *Electric Power Systems Research*, Volume 76, Issues 9-10, pp. 760-767, June 2006.
- [2] C. W. Taylor, *Power System Voltage Stability*, New York, McGraw-Hill, 1994.
- [3] Yalçın Mehmet Ali, "Enerji İletim Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşım ile İncelenmesi", Doktora Tezi, İ.T.Ü., F.B.E., 1995.
- [4] J. D. Glover, M.S. Sarma and T. J. Overbye, *Power system analysis and design*, 4th ed., Nashville, Tenn: Thomson Learning, 2008.
- [5] M.Glavic, "Power System Voltage Stability A short Tutorial", University of Liege , Electrical Engineering and Computer Science Department , 2003.
- [6] A. Tiranuchit, R. J. Thomas, "A Posturing Strategy Against Voltage Instabilities in Electric Power Systems", *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 3, no. 1, pp. 87-93, February 1988.
- [7] K. Vu, M. M. Begović, D. Novosel, M. M. Saha, "Use of local measurements to estimate voltage-stability margin", *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 14, pp. 1029-1035, Aug.1999.
- [8] J. Verboomen, D. Van Hertem, P. H. Schavemaker, W. L. Kling, and R. Belmans, "Phase shifting transformers: Principles and applications," in Proc. *IEEE Int. Conf. Future Power Syst.*, Amsterdam, The Netherlands, Nov. , pp. 1-6, 2005.
- [9] T. Cutsem, T. Vournas, *Voltage Stability of Electric Power Systems*, New York:Springer, 2005.

- [10] T. Mehmet, et al. "Faz Kaydırıcı Transformatörlerin Dünyadaki Durumu ve Uygulama Alanlarının Literatür İncelemesi The Current Status of Phase Shifting Transformers Around The World and a Literature Review of The Application Areas", Güç Sistemleri Konferansı, CIGRE, İstanbul, November 2016.
- [11] D. Van Hertem, J. Verboomen, R. Belmans, W. Kling, "Power flow control devices: An overview of their working principles and their application range", *Proc. Int. Conf. Future Power Syst.*, vol. 6, pp. 16–18, November 2005.
- [12] S. G. Johansson, *Long-term Voltage Stability in Power Systems-Alleviating the Impact of Generator Current Limiters*, 1998.
- [13] M. K. Pal, *Voltage stability: analysis needs, modelling requirement, and modelling adequacy*, *IEE Proceedings C-Generation, Transmission and Distribution*. Vol. 140. No. 4. IET, 1993.
- [14] C. A. Cañizares, F. L. Alvarado, "Point of Collapse and Continuation Methods for Large AC/DC Systems", *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 8, no. 1, pp. 1-8, Feb. 1993.
- [15] Nuqui Reynaldo Francisco, *State estimation and voltage security monitoring using synchronized phasor measurements*. Diss. Virginia Polytechnic Institute and State University, 2001.
- [16]. K. Morison, H. Hamadani, W. Lei, "Load Modeling for Voltage Stability Studies", *Power Systems Conference and Exposition 2006. PSCE '06. 2006 IEEE PES*, pp. 564-568, 2006.
- [17] Genêt Benjamin and Jean-Claude Maun, *On monitoring methods and load modeling to improve voltage stability assessment efficiency*. Diss. PhD thesis, Université libre de Bruxelles, 2009.
- [18] M. Federico, *Power System Analysis Toolbox Quick Reference Manual* for PSAT version 2.1. 2., 2008.
- [19] U. Eminoglu, M. H. Hocaoglu, "A new power flow method for radial distribution systems including voltage dependent load models", *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 76, pp. 106-114, 2005.
- [20] L. M. Hajagos, B. Danai, "Laboratory measurements and models of modem loads and their effect on voltage stability studies", *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 13, no. 2, pp. 584-592, May 1998.
- [21] F. Milano, "An open source power system analysis toolbox," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 20, no. 3, pp. 1199-1206, 2005.
- [22] L. Sujit, et al. "Dynamic load model and its incorporation in MATLAB based Voltage Stability Toolbox", *17th Power Systems Computation Conference*, Stockholm Sweden, August 22-26, 2011.
- [23] Ragu Balanathan, Nalin C.Pahalawaththa, Udaya D. Annakkage, "Modelling Induction Motor Loads for Voltage Stability Analysis", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 24, pp. 469-480, 2002.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bankacılık Performans Sistemleri için Karar Destek Sistemi: R Dilinde Veri Zarflama Analizi ve Malmquist Endeks Uygulaması

 Mustafa İsa DOĞAN ^a,  Onur ONAN ^b

^a Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Müh.(Disiplinlerarası) Bölümü, Fen Bilimleri Ens., Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: onur75851@ogr.duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.860752

ÖZET

Yapılan bu çalışmada etkinlik ve performans konularında sıklıkla kullanılan Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi (MTFVE) ve Veri Zarflama Analizi (VZA) yardımıyla, ülkemizde 2008-2013 seneleri arasında işlem yürüten toplam 19 bankanın etkinlik ve performansları analiz edilmiştir. Özellikle şu günlerde yaşanan dijital sosyolojinin gelişmesinin hız kazandığı bilgi çağında, dağınık veri yapılarının üretilmesi adına ham madde olduğu gerçeği önem kazanmaktadır. Yüksek miktarda veri içeren yapılarda stratejik kararların alınmasında oldukça önem kazandığı bilişim tabanlı algoritmalar sayesinde güçlü kestirimler yapılabilmektedir. Mamafih, herhangi bir veri yapısı incelendiğinde popüler bir yöntem kullanılmadan reel sektör oyuncularının teknolojik ve teknik etkinlikleri ile ilgili yapılabilecek yorumlar ziyadesiyle nispi kalmaktadır. Matematiksel programlama tekniklerinin uzantısı olan etkinlik ve performans ölçme yöntemleri bu türde problemlere cevap verebilmeyi hedefler. Buna bağlı olarak kurumların alacakları kararlarda daha isabetli ve kâr maksimizasyonun sağlanması beklenir. İlaveten literatür de az sayıda çalışma olması nedeniyle analiz yöntemi olarak istatistiksel programlamada ve veri analizinde gün geçtikçe popülerleşen R yazılım dili kullanılmıştır. Analiz neticesinde farklı dönemlerde bazı bankaların gelişme gösterdikleri ve etkin oldukları görülmüştür. Performans ve etkinlik skorları düşük olan bankalara elde edilen sonuçlara göre bazı iyileştirmeler ve öneriler maddeler halinde verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Etkinlik analizi, Malmquist Endeksi, R programlama, Veri zarflama analizi

Decision Support System for Banking Performance Systems: Data Envelopment Analysis and Malmquist Index Application in R

ABSTRACT

In this study, with the help of Malmquist Total Factor Productivity Index (MTFV) and the basic Data Envelopment Analysis (DEA) methods, analyzing the effectiveness of performance support system has been developed which operates between 2008-2013 in Turkey 16 special and 3 state-owned banks. Especially in the information age where the development of digital sociology is accelerating, the fact that dispersed data structures are raw materials for the production of information becomes important. Strong estimates can be made by using to informatics-based algorithms, where big data structures are very important in making strategic decisions. However, when any data structure is examined, the comments that can be made about the technological and technical activities of the real sector players without using a popular method are highly relative. Activity and performance measurement methods, which are extensions of mathematical programming techniques, aim to answer such problems. Accordingly, it is expected that more accurate decisions will be taken and profit maximization will be achieved in the decisions to be taken by institutions. In addition, due to the limited number

of studies in the literature, the R software language, which is increasingly popular in statistical programming and data analysis, was used as an analysis method. As a result of the analysis, it was seen that some banks showed improvement and were effective in different periods. Some improvements and suggestions were given to banks with low performance and efficiency scores according to the results obtained.

Keywords: Data envelopment, Efficiency analysis, Malmquist, R programming

I. GİRİŞ

Küresel düzeyde hızla yükselen rekabetçi koşullar ve teknolojinin hızlı bir şekilde değişim göstermesi ülke ve devletleri daha fazla ileri dönük kararlar almaya ve planlama stratejilerine dikkat etme eğilimine itmiştir. Öte yandan, dünyada lider olan ülkeler, gelişme ve finansal büyüme evrelerini daha doğru adımlarla yönetmeye çalışmakta, ekonomi piyasalarını etkileyecek ortaklıklara imza atmaktadırlar. Son teknolojik ilerlemelerde beceri ve yeteneklerini geliştirmekle birlikte ekonomik tercihlerinde yüksek isabetli planlı bir izlenim sergilemektedirler. Bu durum öncelikli hedeflerin gerçekleşmesini sağlayan ve vizyon açısından ileriye görmeyi kolaylaştıran büyük veri yapılarının matematiksel programlama yardımıyla modellenebileceği durumudur [1]. Ülkemizde hem özel hem de kamu olmak üzere toplam banka adedi 52'dir. Yurtiçi toplam banka personeli sayısı 201.063' dür. Bahsi geçen 52 bankanın şube sayıları yurtiçi ve yurtdışı dahil olmak üzere 11.235'dir. Bankacılık işlemlerinin birçoğunun gerçekleştirildiği ATM sayısı ise 49.395'dir [2].

Bankaların sunduğu ürün verimliliği ve kalitesi, içinde bulunduğu toplumun kalkınmasında kayda değer bir değişime sahip olduğu gibi, benzer olarak toplum bireylerinin normal hayat aktivitelerini de etkilemektedir. Finansal şirketlerin sektörel gelişimlerini analiz etmek, planladıkları hedeflere ne kadar yaklaştıklarını ve bu süreçlerde kaynaklarını doğru kullanıp kullanmadığını belirlemek açısından etkinliklerin değerlendirilmesi hem üst yönetim, hem de müşteriler için var olan durumu kavramak ve ileriye yönelik stratejiler planlamakta azami derecede önemlidir [3]. Ekonomik manada önemli bir rol üstlenen bankacılık sektörü gün geçtikçe hem teknolojik hem de teknik konularda bir adım daha ileri gitmektedir. Tahminler, üretime bağımlı planlamalar ile devamlı bir biçimde güncellenmektedir. Elde edilen kazanımların kurumu ne ölçüde etkilediği önemli bir soru haline gelmektedir. Gelişmiş ya da gelişmekte olan birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de bankacılık sektörü eko-politik gelişim açısından önemli bir görev üstlenmektedir [4].

Etkinlik ve performans değerlendirme çalışmalarında sadece Veri Zarflama Analizi (VZA) veya Malmquist yöntemlerinden biri kullanılarak analizlerin yapıldığı görülmektedir [5][6][3][7][8][9]. Buna mukabil bu çalışmada ise her iki yöntem kullanılmış olup, sonuçları R programlama dili ile elde edilmiştir. Veri Zarflama Analizi (VZA), çok sayıda kaynak girdi verisi ve sonuç çıktılarının karşılaştırılıp analiz edilmesinin zorlaştığı durumlarda, Karar Verme Birimlerinin (KVB) nispi performanslarını ölçmeyi amaçlayan analiz tekniğidir [10]. KVB olarak isimlendirilen değerler üretim girdi-çıktıları vasıtasıyla aynı kısıtları kullanan işletmelerin genel etkinliklerini ölçebilen parametrik olmayan bir tekniktir [11].

1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes' un bulmuş oldukları VZA yöntemi, ileri zamanlarda ise doğrusal bir programlama olarak tanıtılmıştır. VZA genel anlamda çeşitli çalışma alanlarında görece etkinlik hesaplaması ve verimlilik gibi göstergeleri belirlemek için kullanılmaktadır. Günümüzde başlıca bankacılık, sigorta, finans, sigorta ve lojistik gibi konularda VZA metodu etkin bir şekilde uygulanmaktadır. Mevcut KVB miktarlarına bakarak bir işletmenin yatırımlarının pozitif veya negatif yönde mi eğilim gösterdiğini izah etmektedir. Özellikle bu birimler binleri ve sayfalari aşan elektronik tabloları bulduğunda analiz sonucunu yorumlamak azami derecede zorlaşmaktadır [12].

Paradi, Rouatt, ve Zhu (2011) Kanada bankalarının verimsizliğini ulusal şubelerini temel alarak VZA yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Garza ve Garcia (2012), 2001-2009 dönemleri arasında Meksika

bankaları üzerinde performans ve etkinlik gelişimini ve bu sonuçların neden olduğu temel etkenleri analiz etmişlerdir.

Wang, Lu ve Liu (2014), 2006-2007 yıllarında 56 ABD banka şirketinden oluşan bir veri seti üzerinde, banka şirketleri performansı ile mevcut sermaye arasındaki ilişkiyi analiz etmişlerdir. Sonuçlar göz önünde bulundurularak banka şirketlerinin yüksek gelir ve performanslarına odaklanılmıştır.

VZA yöntemi yalnızca banka ve şirketlerin işletme performansını değil, ayrıca diğer sektörlerde faaliyet gösteren firmaların stratejik kararlar almalarını da araştırmak için kullanılmıştır.

Francisco Moreira Pessanha ve Marinho (2013) Brezilya elektrik dağıtım şirketlerinin etkinlik değerlendirme çalışmasında R yazılımı ile temel VZA analizi uygulamışlardır. Kullanılan veriler üretim tesislerinden elde edilmiştir. İlk olarak kurgulanması gereken model, kodlar yardımıyla oluşturulmuştur, buna müteakip lineer programlama tekniği ile çözümlenmesi gereken matrisler hazırlanmıştır. Sonraki aşamada ise oluşturulan bu matrisler $lp()$ fonksiyonu ile çözümlenmiştir. CCR ve BCC olarak her iki metot da kullanılmıştır. Bazı KVB etkinlik değerleri 1, yani etkin değer olarak elde edilmiştir.

II. ANALİZ METODU VE YOLU

A. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

VZA yönteminin temeli doğrusal programlamaya dayanmaktadır. Verilen denklemler ile verilen kısıtlar kullanılarak istenen değerler hesaplanır. KVB değerlerinden yola çıkarak hesaplanan, etkinlik sınırı içerisindeki değerlerin bulunması ve etkinlik sınırında olmayan değerlerin sıfır noktasına uzaklığı hesaplanarak 1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından CCR yöntemi bilime kazandırılmıştır. KVB' ler içinde etkin olarak bulunan değerlerin yarattığı doğrusal etkinlik eğrisi, tüm değerlerin etrafında zarfa benzer bir şekil oluşturmaktadır [13].

Doğrusal programlama ile uygulanan VZA yönteminde, yapılan yeni çalışmalarla birlikte “ölçek etken değeri” ortaya atılmıştır. Ölçeğe göre sabit getiri ve değişken getiri olarak iki farklı yöntem ortaya konulmuştur. Literatürde bu yöntemler BCC (Banker, Charnes, Cooper) ve CCR olarak bilinmektedir [14]. Buradaki KVB birimleri banka, firma, sigorta şirketleri, kamu kuruluşları ve okul gibi büyük kurumların girdi ve çıktı değerleri olabilir [15].

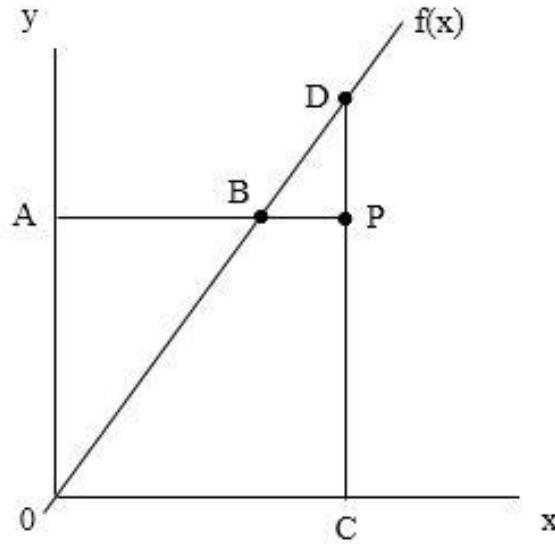
VZA tekniğinin önemli avantajlarından biri ise herhangi bir analitik fonksiyon içermemesi ve doğrusal programlama tabanlı olmasıdır. Çeşitli veri tabanlarından elde ettiğimiz büyük veri setlerinin anlamlı ve yorumlamaya açık sonuçlar elde etmeyi kolaylaştırmaktadır. Yöntem en basit manada girdilerin kaç birim artırılması gerektiğini ve kaç birim artırılırsa çıktılarının hangi yöne kayacağını göstermeyi hedefler. Filhakika yöntemde bu gruba girmektedir [16].

Bahsi geçen girdi ve çıktı seçiminde analizi yapılan firmanın etkin şekilde kullandığı birimler seçilmelidir. Ayrıçay ve Özçalıcı (2014) VZA analizinde kullanılan yazılım, paket program ve girdi-çıkıtı gibi değişkenleri incelemişlerdir. Yapılan çalışmalardan derledikleri özet bilgileri tablolar halinde aktarmışlardır. Finans ve banka sektörleri özelinde yapılan çalışmalarda toplam aktifler, özsermaye, net satışlar, net dönem gelirleri gibi girdi-çıkıtı birimleri seçilmiştir.

Kurşun ve Kuşakçı (2016) VZA analizinin bankacılık sektörü üzerinde yapılan literatür çalışmalarını taramış ve özet bilgiler sunmuşlardır. Girdi ve çıktı değerleri kullanımının tablolar halinde verildiği çalışmada, genellikle girdi olarak özsermaye, şube giderleri, faiz giderleri, toplam mevduat, personel giderleri, personel sayısı değişkenleri seçilmiştir. Diğer taraftan çıktı değerleri ise krediler, mevduat, gelir ve likit değerler gibi değişkenler seçilmiştir. Çalışmada bulunan girdi-çıkıtı seçimleri ise benzer çalışmalarda ki seçimler göz önünde bulundurularak tercih edilmiştir.

A. 1. CCR Yöntemi

1978 senesinde ölçüğe göre sabit getiri CRS (Contant Return to Scale) adı altında yazarların Charnes, Cooper, Rhodes soyisimlerinden meydana gelen CCR yöntemini literatüre kazandırmışlardır [17]. CCR yöntemindeki asıl amaç girdi ve çıktıların orantılı şekilde artmasıdır. Doğal olarak bu yöntem çoğu gerçek hayat durumlarını ve analizlerini yansıtmayabilir. Her zaman için 20 birim yatırım yapıp 20 birim getiri elde edemeyebiliriz. Bu hesaplama sonucunda oluşan zarf eğrisi veya etkinlik eğrisinin üzerinde kalan değerler etkin, altında kalan değerler ise etkinsiz olarak tanımlanmaktadır [18].



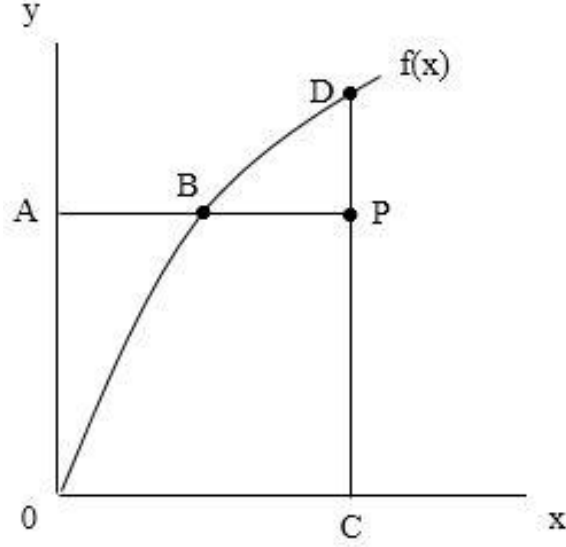
Şekil 1. Ölçüğe göre sabit getiri eğrisi - x girdileri, y çıktıları ve $f(x)$ ise etkinlik sınırını temsil etmektedir [4].

A. 2. BCC Yöntemi

Banker, Charnes ve Cooper tarafından literatüre geçmiş ve CCR yöntemi temel alınarak çalışılmıştır. Burada bulunan sabit ve orijinden geçen doğru yani etkinlik dışbükey eğri sınırı bire eşitlenmiştir

$$\left(\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1 \right). \quad (1)$$

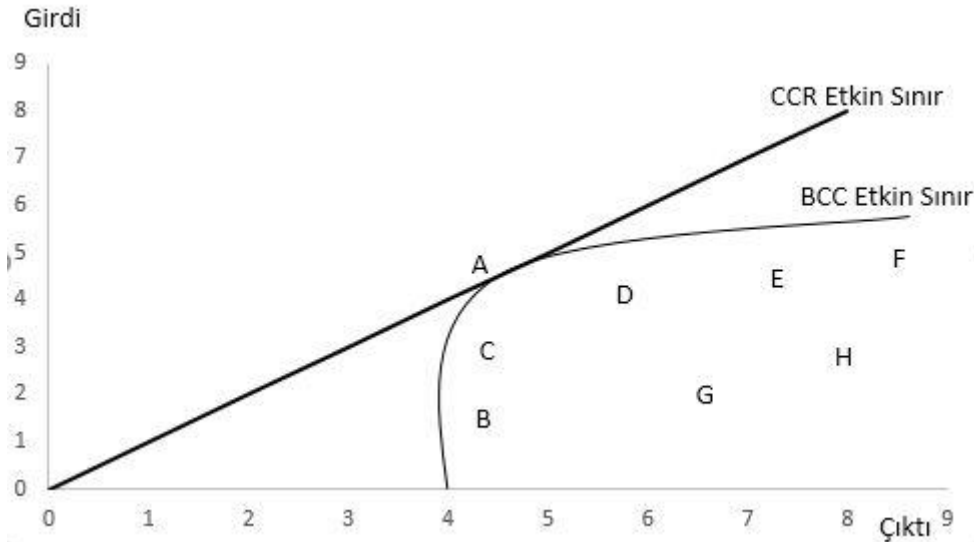
Bu şekilde değişken bir ölçek elde edilerek, değişken etkinlik skorlarının hesaplanmasına olanak sağlanmıştır. Maksimum faydayı, belirlenen sabit girdi değerlerinden alınması hedeflenir. Bahsedilen etkinlik ölçüt değeri ise ağırlığı belirlenmiş ve hesaplanmış çıktılar toplamının ağırlıklı toplam girdilere bölünmesiyle bulunmaktadır. [13][19].



Şekil 2. Ölçeğe göre değişken eğrisi - x girdileri, y çıktıları ve $f(x)$ ise etkinlik sınırını temsil etmektedir [4].

A. 3. Girdi ve Çıktı Odaklılık

Verilerin hangi yönde maksimize veya minimize edileceği sorusu hem CCR hem de BCC yöntemlerinde kullanılan yönelim değerleri ile ifade edilebilir. Girdi odaklı yaklaşımda mevcut çıktı değerleri sabit tutularak girdilerin ne kadar minimize edileceği araştırılır. Çıktı odaklı yaklaşımda ise mevcut girdi değerleri sabit tutularak, çıktı değerleri maksimize edilmek istenir. BCC yöntemini CCR yönteminden ayıran temel fark, CCR yöntemine ek olarak $\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1$ dışbükeylik sınır kısıtının eklenmesidir. Eklenmiş olan bu dışbükeylik kısıtı ile ölçeğe göre değişken getirilerin sonuçlara yansımaları sağlanmıştır [16].



Şekil 3. CCR ve BCC modellerinin karşılaştırılması

A. 4. Malmquist Endeksi

Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi (MTFVE) iki ekonominin performans ve etkinliklerinin karşılaştırılmasında kullanılır. Bu karşılaştırmayı ise teknik ve teknolojik yönden ifade eder. İsmi Profesör Sten Malmquist' den almıştır. Malmquist verimlilik endeksi olarak da adlandırılmaktadır [20]. Sten Malmquist temel analitik konularından biri olan "uzaklık fonksiyonu" kullanarak yeni bir endeks kurmuştur. En sade anlamda yöntem, belirlenen periyot ve dönemlerde bulunan çıktı değerlerinin bir sonraki dönemin girdileri arasındaki uzaklığı hesaplamaktadır. Hesaplama işlemleri bir sonraki döneme benzer şekilde uygulanarak bir zincir şeklinde devam etmektedir [21].

Uzaklık fonksiyonunda etkinlik;

$$d(x, y) = \min \{ \delta : (y / \delta) \in S \} \quad (2)$$

y vektörü S sınırında ise (üretim sınırı) =1;

y vektörü S sınırında olmayan bir teknik noktaysa >1;

y vektörü S sınırında olmayan gerçekleşmesi mümkün olmayan bir noktaysa <1'dir.

B. R Yazılım Dili

R, ücretsiz, bir istatistiksel programlama dilidir. AT&T Bell çalışma merkezlerinde 1993 yılında Ross Ihaka ve Robert Gentleman tarafından geliştirilmiştir. Windows, macos ve linux gibi işletim sistemlerinde çalışabilmektedir. Ücretsiz dağıtılan sürümünün yanı sıra kurumsal müşteriler içinde ücretli ve servis desteği alınabilir paketi de mevcuttur. R hali hazırda R core team tarafından güncellenmektedir [22][23].

Hedeflenen istatistiksel analizin yapılması için gerekli paketi indirip kurmak ve sonrasında R ortamına eklemek yeterli olacaktır. R' da paket güncelleme ve yükleme merkezi olarak <https://cran.r-project.org/> web sayfasının paketler bölümü kullanılır. Harf duyarlılığı olan bir dildir (case sensitive). Çalışmada R yazılım dilinde bulunan VZA ve Malmquist Endeksi hesaplamalarını yapabilen paketler kullanılmıştır. Buna ek olarak veri aktarma ve sonuçları kaydetme işlemlerini kolaylaştırmak adına bazı excel paketleri de sisteme dahil edilmiştir.

- ("productivity")
- ("Benchmarking")
- ("deaR")
- ("xlsx")
- ("readxl")
- ("rJava")
- ("writexl")
- ("datasets")
- ("stats")
- ("methods")
- ("lpSolve")

III. UYGULAMA

Veri seti olarak Türkiye'de 2008-2013 yılları arası faaliyette olan bankaların mevduat, gider, krediler, özkaynak, gelir, personel sayısı ve şube sayısından oluşan bir veri seti ele alınmıştır [24]. Hedeflenen bulgular ise hangi dönemde/dönemlerde genelde veya özelde hangi bankalar ülkemiz açısından pozitif veya negatif eğilim gösterdiği. Girdi değerleri olarak gider, krediler, özkaynak ve mevduat, çıktı değerleri ise gelir, personel sayısı ve şube sayısı seçilmiştir. Veri setinin R studio ortamına aktarılması

hali Şekil 4 ve Şekil 5’ de verilmiştir. Burada bulunan filtreleme seçenekleri ile kolon bazında girdi ve çıktı değişkenleri detaylı şekilde izlenebilir.

DMUs	Date	KREDILER.I.	OZKAYNAK.I.	GIDER.I.	MEVDUAT.I.	Ş.S.O.	P.S.O.	GELIR.O.
ZIRAAT BANKASI	2008	30836194	7361236	10990362	83883435	1269	21299	13706479
TURKIYE HALK BANKASI	2008	25836298	4288827	5668929	40271114	622	12467	7156120
TURKIYE VAKIFLAR BANKASI	2008	30502299	5670999	5758139	37120277	525	9567	6726362
TURK EKONOMI BANKASI	2008	8504777	3228628	1962619	9271747	336	6400	2049114
AKBANK	2008	44374104	11208372	8399790	52181947	868	15127	10441320
SEKERBANK	2008	4799814	975271	1122556	5931571	250	4089	1535513
TURKIYE GARANTI BANKASI	2008	49907407	9469074	8742822	52715281	726	16350	9676363
TURKIYE IS BANKASI	2008	47610332	9449011	9797390	63539185	1039	20924	11247683
YAPI VE KREDI BANKASI	2008	38672952	6853047	6967259	41705329	861	14795	7390966
ARAP TURK BANKASI	2008	325521	257228	41757	98000	3	170	76587

Şekil 4. Kullanılan veri setinin R yazılımındaki görüntüsü

Yazılım arayüzü yardımıyla ayrıntılı şekilde veri seti incelenebilmektedir. Yapılacak olan analize uygun şekilde sıralama yapıldığında veri seti kolon ve satırları görüntülenebilmektedir.

DMUs	Date	KREDILER{I}	OZKAYNAK{I}	GIDER{I}	MEVDUAT{I}	Ş.S{O}	P.S{O}	GELIR{O}
108 ALTERNATIFBANK	2013	6062871	574941	440148	4427519	73	1413	640659
109 ANADOLUBANK	2008	1958164	509124	393282	2086935	77	1718	482641
110 ANADOLUBANK	2009	2430016	631146	344578	2464330	86	1851	479365
111 ANADOLUBANK	2010	3026845	755561	338630	2636693	86	1834	443054
112 ANADOLUBANK	2011	3733354	840483	443134	3666639	88	1911	560435
113 ANADOLUBANK	2012	4176102	1159595	565440	3921371	91	2024	773153
114 ANADOLUBANK	2013	4441669	1104134	377906	4507204	115	2111	478852
55 ARAP TURK BANKASI	2008	325521	257228	41757	98000	3	170	76587
56 ARAP TURK BANKASI	2009	349717	282213	40557	179133	6	230	63256
57 ARAP TURK BANKASI	2010	495724	305882	44858	318837	6	255	48852
58 ARAP TURK BANKASI	2011	878446	353977	64817	1946223	6	254	85568
59 ARAP TURK BANKASI	2012	736309	412677	82067	1029738	7	272	122244
60 ARAP TURK BANKASI	2013	1282938	445468	56244	1848957	7	277	79856
91 DEUTSCHE BANK	2008	137141	336428	142165	277329	1	94	103057

wing 12 to 26 of 114 entries, 9 total columns

Şekil 5. Kullanılan veri setinin R yazılımındaki diğer bir görüntüsü

KVB değerleri seçilirken, analizi yapılan kuruluşların ortak noktaları ve değerleri olmasına dikkat edilmelidir. Sadece ticari müşterilere kredi veren bir banka ile bu koşulu ayırt etmeden kredi veren bir bankanın etkinlik karşılaştırılmasında, aşikârdır ki çok tutarlı sonuçlar elde edilemeyecektir [5][18]. Bu önemli nokta göz önünde bulundurularak imkân dâhilinde ortak yönde çalışan girdi-çıkıtı değerleri seçilmiştir. VZA metodu uygulanması için hazırlanan R kodunda ihtiva edilen;

```
data <- read_data(data1,inputs=3:6,outputs=7:9)
#Vza modelinin çalıştırılması:
sonuc <- model_basic(data1,orientation = c("oo"),rts = "vrs")
```

satırlarında ki *inputs* değeri girdi değişkenlerimizin başlangıç sütun ve bitiş sütun numaralarıdır. *Outputs* parametresi ise çıktı değişkenlerimizin başlangıç sütun ve bitiş sütun numaralarını temsil

etmektedir. Uygulama aşamasında dört farklı yöntemde kullanılacaktır. Girdi-çıkıtlı yönlü CCR ve BCC yöntemleri uygulanıp dört farklı sonuç tablosu halinde dışa aktarılmıştır.

```
#Malmquist modelinin çalıştırılması
data <- read_malmquist(data1,
  percol=2,
  arrangement="vertical",
  inputs= 3:6,
  outputs= 7:9)
sonuc <- malmquist_index(data1,orientation = c("oo"))
```

IV. SONUÇ VE TARTIŞMA

Elde edilen sonuçlar toplam beş farklı yöntem tablosu olarak ayrılmış ve aşağıda verilmiştir. Dışa aktarımda *writexl()* komutu kullanılmıştır. Bu farklı etkinlik sonuç tabloları Tablo 1,2,3,4 ve 5’ de izlenebilir. Sonuç verileri göstermektedir ki tanımını verdiğimiz dört klasik VZA uygulama yöntemi benzer sonuçlar vermektedir. Genel anlamda dört tablo göz önüne alınırsa VZA analizinde 2008 yılında Ziraat Bankası, Şekerbank ve Anadolu Bank etkin olmuşlardır.

Tablo 1. CCR modelinin girdi yönelimli skorları

DMUs	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Ziraat Bankası	1	1	0,92382	0,85015	0,88671	0,97106
Türkiye Halk Bankası	0,96167	0,96436	0,93916	0,89379	0,84382	0,86043
Türkiye Vakıflar Bankası	0,81631	0,86511	0,81548	0,81837	0,8202	0,87291
Türk Ekonomi Bankası	0,83713	0,8007	0,75769	0,72714	0,75201	0,7862
Akbank	0,80608	0,83206	0,80017	0,73405	0,72092	0,79891
Şekerbank	1	1	0,90363	0,81344	0,87202	0,93025
Türkiye Garanti Bankası	0,75525	0,82267	0,75793	0,7407	0,71198	0,74283
Türkiye İş Bankası	0,80954	0,88223	0,82618	0,77188	0,72785	0,78211
Yapı Kredi Bankası	0,7418	0,80554	0,84433	0,75157	0,71521	0,77355
Arap Türk Bankası	1	1	0,97419	0,80218	0,83234	0,89424
Turkish Bank	1	1	1	1	0,81139	1
Ing Bank	0,96831	1	0,91932	0,78679	0,82026	0,85656
Turkland Bank	0,91676	0,76264	0,73925	0,64071	0,69767	0,67417
Tekstil Bankası	1	0,83818	0,87076	0,75217	0,7649	0,96294
Finansbank	0,90606	0,97523	0,91116	0,80059	0,8372	0,85943
Deutsche Bank	1	1	0,86307	0,93024	1	0,69464
HSBC Bank	0,92332	0,93194	0,87034	0,76394	0,76104	0,7533
Alternatifbank	0,92854	1	0,8521	0,84697	1	0,97059
Anadolubank	1	1	0,98779	0,87235	0,8712	0,99724

Tablo 2. CCR modelinin çıktı yönelimli skorları

DMUs	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Ziraat Bankası	1	1	0,923813	0,850145	0,886706	0,971062
Türkiye Halk Bankası	0,961668	0,964367	0,939152	0,893783	0,843818	0,86043
Türkiye Vakıflar Bankası	0,816307	0,865104	0,815481	0,818364	0,820197	0,872905
Türk Ekonomi Bankası	0,837135	0,800698	0,757691	0,727146	0,75201	0,786201
Akbank	0,806081	0,832064	0,800173	0,734047	0,720918	0,798913
Şekerbank	1	1	0,903636	0,813445	0,872014	0,93025
Türkiye Garanti Bankası	0,755247	0,822673	0,757926	0,740697	0,711982	0,742826
Türkiye İş Bankası	0,80954	0,882231	0,82618	0,771885	0,72785	0,782105
Yapı Kredi Bankası	0,741801	0,805542	0,844331	0,751575	0,71521	0,773545
Arap Türk Bankası	1	1	0,974184	0,802182	0,832341	0,894238
Turkish Bank	1	1	1	1	0,811392	1
Ing Bank	0,968307	1	0,91932	0,786788	0,820264	0,85656
Turkland Bank	0,916758	0,762643	0,739251	0,640709	0,697666	0,674168
Tekstil Bankası	1	0,838181	0,870754	0,752168	0,7649	0,962946
Finansbank	0,906068	0,975229	0,911153	0,800589	0,837205	0,859424
Deutsche Bank	1	1	0,863073	0,930233	1	0,694637
HSBC Bank	0,923327	0,93194	0,870345	0,763942	0,761041	0,753301
Alternatifbank	0,92854	1	0,852101	0,846962	1	0,970591
Anadolubank	1	1	0,987791	0,872349	0,871194	0,997238

Tablo 3. BCC modelinin girdi yönelimli skorları

DMUs	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Ziraat Bankası	1	0,95111	0,9	0,80291	0,74718	0,74421
Türkiye Halk Bankası	1	0,88487	0,87341	0,84119	0,70317	1
Türkiye Vakıflar Bankası	0,98031	0,89217	0,91383	0,91227	1	1
Türk Ekonomi Bankası	1	0,78654	0,85216	1	0,84046	1
Akbank	1	0,93602	1	1	0,88003	0,79891
Şekerbank	1	1	1	1	0,76181	0,81002
Türkiye Garanti Bankası	1	1	1	1	0,77884	0,86739
Türkiye İş Bankası	0,99947	0,96309	1	0,9029	0,96426	0,98345
Yapı Kredi Bankası	1	0,87935	1	1	1	1
Arap Türk Bankası	0,95942	0,89798	0,92138	1	1	0,86661
Turkish Bank	0,95571	0,89362	1	1	1	0,86722
Ing Bank	0,92207	1	1	1	0,85586	1
Turkland Bank	0,93119	1	0,98203	0,80565	0,96135	0,97061
Tekstil Bankası	0,94878	0,95298	0,87014	0,88989	1	1
Finansbank	0,91541	0,82973	0,86749	0,92529	1	1
Deutsche Bank	0,90132	0,89159	0,83762	0,97226	1	1
HSBC Bank	0,92916	1	1	0,87208	0,88177	0,88186
Alternatifbank	0,95413	0,9614	1	0,88087	0,97948	0,90938
Anadolubank	1	0,98789	0,97903	0,69675	1	1

Tablo 4. BCC modelinin çıktı yönelimli skorları

DMUs	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Ziraat Bankası	1	1	0,986096	1	1	1
Türkiye Halk Bankası	1	0,99948	1	0,959896	0,956562	0,923131
Türkiye Vakıflar Bankası	0,936487	0,949668	0,916775	0,902812	0,930042	0,954836
Türk Ekonomi Bankası	1	0,965167	0,903979	0,937067	0,838659	0,946530
Akbank	1	1	0,963698	0,88115	0,898973	0,894967
Şekerbank	1	1	0,955301	0,838286	0,896588	1
Türkiye Garanti Bankası	0,967155	0,989962	0,902926	0,87687	0,937479	0,854621
Türkiye İş Bankası	1	1	1	1	1	0,973179
Yapı Kredi Bankası	1	1	0,985251	0,88949	0,887666	0,843932
Arap Türk Bankası	1	1	0,980806	0,8142	0,849242	0,918611
Turkish Bank	1	1	1	1	0,843369	1
Ing Bank	1	1	1	0,812592	0,895576	0,931021
Turkland Bank	0,963104	0,837184	0,841255	0,666391	0,710142	0,676892
Tekstil Bankası	1	0,843875	0,883135	0,752559	0,768539	0,964322
Finansbank	1	1	1	0,883228	0,967343	1
Deutsche Bank	1	1	0,867814	0,970196	1	0,697258
HSBC Bank	1	1	1	0,812269	0,827458	0,876916
Alternatifbank	0,977699	1	0,859705	0,85446	1	0,970855
Anadolubank	1	1	1	0,890758	0,915206	1

BCC çıktı yönelimli skorlar değerlendirildiğinde 2008 yılında 15 banka etkinlik sınırına ulaşmış ve etkin olmuştur. 2009 yılında 13, 2010 yılında 7, 2011 yılında 3, 2012 yılında 4, 2013 yılında 5 banka etkindir.

Tabloda bulunan banka etkinlikleri 2008 yılından itibaren düşmekte ve bazı bankalar etkinliğini 2013 yılına kadar devam ettirmektedir. 2008 yılı ile 2013 yılı karşılaştırıldığında etkin olan banka sayısı 2013 yılına kadar yaklaşık %60 oranında azalmıştır. Bu sayı 10 banka azalarak 5 adete düşmüştür. Bu düşüşte ülke ekonomisinde oluşan dalgalanmalar etkili olmuştur. Ayrıca 2008 küresel krizinden kaynaklı likidite darlığı ve finansal kriz gibi olayların gerçekleşmesi de bu düşüşe sebep olabilmektedir. Türkiye Vakıflar Bankası, Garanti Bankası ve Turkland Bank hiçbir dönem etkinlik gösterememiştir. Bu beklenmeyen negatif yönlü ilerleme kapanan şube sayıdan ve azalan personel sayısından da anlaşılabilir. Benzer bir durum Tekstil Bankasında da bulunmaktadır. Sadece 2008 yılında etkin olduğu Tablo 4'te görülmektedir.

İlerleyen süreç içerisinde 2013 yılına doğru etkin olan banka sayısı yeniden, azda olsa artış göstermektedir. Burada Türkiye ekonomisinin 2008 Küresel krizinden çok etkilenmemesi bu sonucun ortaya çıkmasında düşünülebilir. Mamafih, Banka üst yönetimlerinin aldıkları kararları, banka plan bütçelerini, stratejilerini, yatırım yapılan sektör ve kâr yüzde oranlarını gözden geçirmeleri kurumları açısından stratejik bir yol olarak görülmektedir.

Tablo 5. *engine.deaos.com* internet sitesi yardımıyla BCC modelinin 2013 yılı çıktı yönelimli skorları

DMUs	Skor
Ziraat Bankası	1
Türkiye Halk Bankası	0.923130
Türkiye Vakıflar Bankası	0.954836
Türk Ekonomi Bankası	0.946530
Akbank	0.894966
Şekerbank	1
Türkiye Garanti Bankası	0.854620
Türkiye İş Bankası	0.973179
Yapı Kredi Bankası	0.843931
Arap Türk Bankası	0.918611
Turkish Bank	1
Ing Bank	0,931020
Turkland Bank	0.676892
Tekstil Bankası	0.964320
Finansbank	1
Deutsche Bank	0,697257
HSBC Bank	0,876916
Alternatifbank	0.970854
Anadolubank	1

Son olarak, bulunan sonuçların ve bunlara dayalı olarak ortaya atılan tavsiye ve yorumların desteklenmesi açısından, Tablo 4 ve Tablo 5 birlikte değerlendirilmiştir. Karşılaştırma yapıldığı takdirde sadece yuvarlama hesabı sonucunda oluşan ve yaklaşık 0,000001-0,000003 aralığında bulunmuş olan farklar dikkati çekmektedir. Bu önemli analiz sayesinde DEA modelinin kurgusunun farklı yazılım dilleri ile tasarlanmış olsa da sonuçların değişmediği görülmektedir. Her iki tabloda da 1 değerini alarak etkin olan bankalar benzer olarak bulunmuştur. Veriler ve DMU değerleri değişmemek koşuluyla başka bir masaüstü veya internet ortamında çevrimiçi yapılacak analiz sonucunun da benzer olmasını beklemek olağan bir durumdur. Karşılaştırmanın diğer bir sonucu ise, çalışmalarda kullanılan VZA analizinin güvenilirliğinin yüksek olduğunu kanıtlar nitelikte olmasıdır.

A. MALMQUIST ENDEKS SONUÇLARI

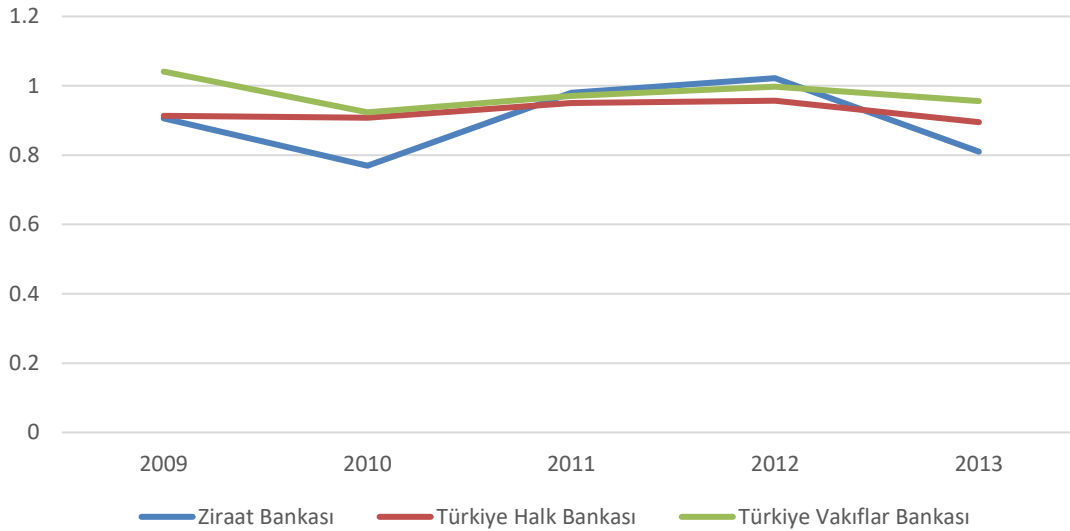
Tablo 6. *Malmquist Endeksi dönemsel etkinlik skorları*

DMUs	2009	2010	2011	2012	2013
Ziraat Bankası	0,906040	0,7693795	0,9795996	1,0220080	0,8101085
Türkiye Halk Bankası	0,913451	0,9075262	0,9503065	0,9569447	0,8951035
Türkiye Vakıflar Bankası	1,040995	0,9234653	0,9708139	0,9970518	0,9559406
Türk Ekonomi Bankası	0,965576	0,8207149	0,9920189	0,9021000	0,9074488
Akbank	1,065921	0,8661747	0,9081397	0,9769605	0,9572013
Şekerbank	0,879631	0,7855421	1,0020877	0,9398765	0,8599784
Türkiye Garanti Bankası	1,103028	0,8656599	0,9660610	0,9581755	0,8937746
Türkiye İş Bankası	1,071363	0,8749877	0,9099142	0,9460982	0,9151024
Yapı Kredi Bankası	1,030079	0,9954784	0,8885685	0,9527870	0,9233390
Arap Türk Bankası	0,773850	0,7236228	0,7840010	0,9956044	1,0065986

Turkish Bank	0,874290	0,7204294	1,1564669	0,7724845	0,9680698
Ing Bank	0,911188	0,8471054	0,8495984	0,9188699	0,9075005
Turkland Bank	0,825589	0,9189151	0,7899241	1,0224797	0,8165836
Tekstil Bankası	0,803854	0,9692951	0,8634911	0,9660357	1,0576302
Finansbank	0,964451	0,8556330	0,9424569	0,9918897	0,9024355
Deutsche Bank	0,794987	0,7538783	1,4035604	1,3503668	0,3792226
HSBC Bank	0,972320	0,8147685	0,8789301	0,9558854	0,8568771
Alternatifbank	1,030278	0,8422530	1,0134659	1,1119964	0,8604073
Anadolubank	1,0328990	0,9228786	0,8464243	0,9052479	0,9448084

Endeks değışimleri izlendiğinde Deutsche Bank 2011 ve 2012 dönemlerinde bankalar içerisinde en yüksek skora sahip olmuştur. 2010 yılından bu dönemlere kıyasla %86,2'lik bir performans artışı gözlemlenmektedir. Analiz başlangıç yılı olan 2009 döneminde Garanti Bankası 1.1'lik puan ile en yüksek performans göstergesine sahiptir. Arap Türk Bankası ise 0,77 ile son sırada yer almıştır. 2010 dönemine gelindiğinde ise Turkish Bank ve Arap Türk Bankası 0,72'lik skorlar ile diğer bankalara göre etkinlikleri daha düşük gözlemlenmiştir. 2010 dönemi izlenirse performans göstergeleri Yapı Kredi Bankası'ndan yana olmuştur. 0,99'luk skor ile ilk sırada yer almaktadır.

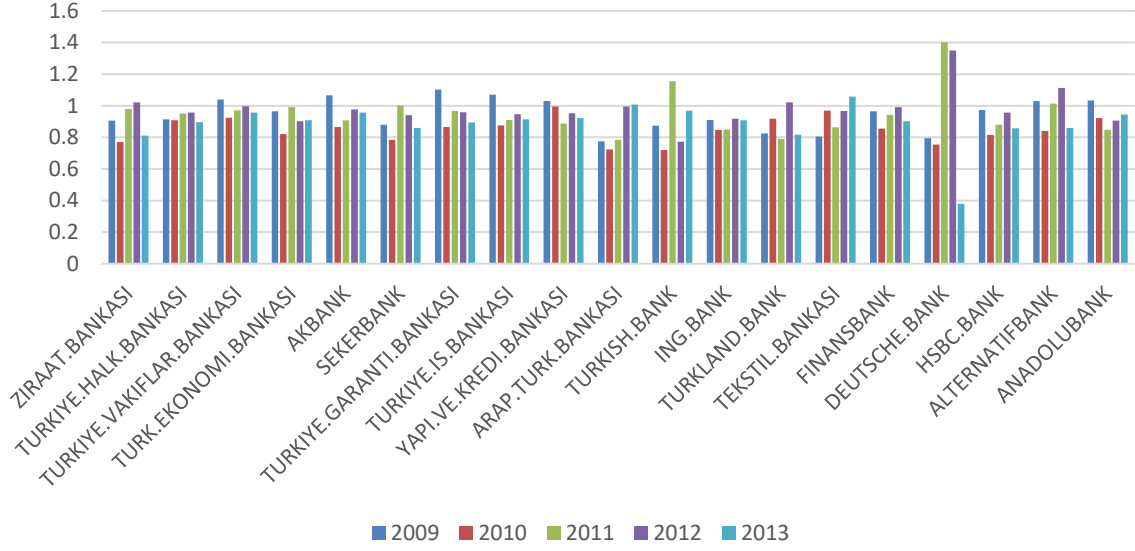
2011-2012 yıllarındaki etkinlik tablosu skorlarını ele alırsak Turkland Bank, Arap Türk Bankası ve Turkish Bank etkinliği düşük olan bankalar olmuşlardır. 2013 yılında Tekstil Bank 1,05 etkinlik puanıyla en üst sırada ve yaklaşık 0,38 lik skor ile Deutsche Bank ise en alt sırada yer almıştır. Burada negatif yönde ve ülke ekonomisini etkileyecek önemli bir yönelim Deutsche Bank, Turkland Bank, Arap Türk Bankası ve Turkish Bank'ta olmuştur. Girdi ve çıktılar bağlamında ilgili yöneticilerinin bazı önlemleri almaları stratejik bir hamle olacaktır. Performans düşüklüğüne sebep olan kaynak sorunlar yakından takip edilip gereken maddi, teknik ve teknolojik destekler sağlanmalıdır.



Şekil 6. Malmquist endeksi skorlarının yıl bazında dağılımları

Kamu bankaları etkinlik endekslerine bakılırsa Ziraat Bankası, Türkiye Vakıflar Bankası ve Türkiye Halk Bankası 2008-2013 yılları arası nispeten dalgalı bir etkinlik sergilemişlerdir. Ziraat Bankası 2009 yılında 0,90, 2010 yılında 0,76, 2011 yılında 0,97, 2012 yılında 1,02 ve 2013 yılında 0,81 puan elde etmiştir. Türkiye Vakıflar Bankası 2009 yılında 1,04, 2010 yılında 0,92, 2011 yılında 0,97, 2012 yılında 0,99 ve 2013 yılında 0,95 puan almıştır. Türkiye Halk Bankası 2009 yılında 0,91, 2010 yılında 0,90, 2011 yılında 0,95, 2012 yılında 0,95 ve 2013 yılında ise 0,89 puana sahip olmuştur.

Üç kurum arasından en düşük skor 2010 yılında Ziraat Bankası tarafından alınmıştır (0,76). En yüksek etkinlik puanı ise Türkiye Vakıflar Bankası tarafından 2009 döneminde 1,04 olarak alınmıştır. Kamu bankalarının 2011 ve 2012 senesinde Malmquist endeksleri birbirlerine kıyasla çok yakın izlenmiştir (0,97 ve 0,99). 2012 yılından 2013 yılına doğru gerçekleşen aşağı yönlü kırılım ise gelirlerdeki düşüş ile açıklanabilir. Bu geçiş dönemi incelenirse üç devlet bankasının da kredi tutarları, şube sayıları, mevduat toplamı, özkaynakları ve personel sayısı artmıştır. Buna mukabil gelirleri önemli ölçüde azalmıştır. İşte tam bu noktada gelir düşüş sebepleri banka yönetimleri ve ilgili departman tarafından incelenmesi gerekmektedir.



Şekil 7. Malmquist endeksi skorlarının yıl bazında dağılımları

Son dönem etkinliğindeki Deutsche Bank'ın ani negatif eğilimi nedeniyle, aşağıdaki maddeler değerlendirilmelidir. Arap Türk Bankası, Turkland Bank ve Turkish Bank içinde bu maddeler göz önüne alınmalıdır. Çalışma neticesinde elde edilen dönemsel etkinlik skorlarında performans sorunu yaşayan kurumlar belirlenmiştir. Sağlanan karar destek sistemi ile aşağıdaki maddelerin gerçekleşmesi banka yöneticilerinin etkin senaryolar geliştirmesi açısından faydalı olacaktır.

- Personel veya şube sayısındaki yetersiz olma ihtimalinin incelenmesi.
- Şubelere verilecek etkinlik skorlarının değerlendirilmesi.
- Kredi miktarının artırılması ve geri dönüşünün sağlanması.
- Öz kaynak yetersizliği giderilmesi.
- Giderlerin kontrol altında tutulması veya kısıtlanması için yapılacak çalışmalar.
- Gelirlerin yukarıdaki maddelere bağlı olarak artırılması.
- Teknolojik gelişmelerin yakından takip edilmesi ve uygulanması.
- Kredi verilecek müşterilerin güçlü sınıflandırma programları yardımıyla doğru şekilde belirlenmesi.
- Yapılan yatırım sektörlerinin gözden geçirilmesi.
- 2008 global ekonomik krizinin, bankacılık sektörüne etkisi değerlendirilmelidir.

Bu etkinlik/performans değerlerinin doğru planlama ve verilen maddeler ile düzeltilmesiyle beraber bankaların ve paralelinde ülkemizin ekonomik verimliliği de artacaktır.

V. KAYNAKLAR

- [1] T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, “On Birinci Kalkınma Planı”, s. 198, 2019.
- [2] Anonim, (2021, 20 Aralık), “İstatistik Adı Türk Bankacılık Sektörü Aylık Bülten – Diğer Bilgiler Tablosu”, [Online], Erişim: <https://www.bddk.org.tr/BultenAylık>.
- [3] İ. Akhisar ve S. Tezergil, “Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi: Türk Sigorta Sektörü Uygulaması”, *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, c. 5, sayı 10, ss. 1–14, 2014.
- [4] F. Emiral, “Türk Bankacılık Sisteminde Etkinlik Analizi”, *Deloitte Finansal Rapor*, 2002.
- [5] K. O. Oruç, “Veri Zarflama Analizi İle Bulanık Ortamda Etkinlik Ölçümleri Ve Üniversitelerde Bir Uygulama”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, s. 212, 2008.
- [6] H. Fukuyama ve R. Matousek, “Efficiency of Turkish banking: Two-stage network system. Variable returns to scale model”, *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, c. 21, sayı 1, ss. 75–91, 2011.
- [7] F. Lorcu, “Malmquist toplam faktör verimlilik endeksi: Türk otomotiv sanayi uygulaması”, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, c. 39, sayı 2, ss. 276–289, 2010.
- [8] M. Öner ve N. D. Arıcı, “Türk Bankacılık Sektörünün Etkinlik ve Verimlilik Analizi: 2012-2017 VZA ve Malmquist TFV Endeksi Uygulaması”, *Bankacılar Dergisi*, sayı 106, ss. 18–36, 2018.
- [9] E. Partovi ve R. Matousek, “Bank efficiency and non-performing loans: Evidence from Turkey”, *Research in International Business and Finance*, c. 48, sayı December 2018, ss. 287–309, 2019, doi: 10.1016/j.ribaf.2018.12.011.
- [10] E. Çakmak ve H. H. Örkücü, “Türkiye’deki İllerin Etkinliklerinin Sosyo- Ekonomik Temel Göstergelerle Veri Zarflama Analizi Kullanarak İncelenmesi”, c. 6 sayı 2, 2016.
- [11] A. Kutlar, “Türkiye’deki Kamu Üniversitelerinde CCR Etkinliği-Ölçek Etkinliği Analizi: DEA Tekniği Uygulaması”, *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, sayı 15, ss. 148–172, 2008.
- [12] D. Okursoy, A. Tezsürücü, “Veri Zarflama Analizi ile Görelî Etkinliklerin Karşılaştırılması: Türkiye’deki İllerin Kültürel Göstergelerine İlişkin Bir Uygulama”, *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 21, sayı 2, 2014.
- [13] B. Hollingsworth ve P. Smith, “Use of ratios in data envelopment analysis”, *Applied Economics Letters*, c. 10, sayı 11, ss. 733–735, 2003.
- [14] N. G. Özel, İ. E. Şahin, ve R. Göral, “Türk Bankacılık Sektöründe Etkinlik Verimlilik Analizinin Veri Zarflama Yöntemi İle İncelenmesi: 2013- 2015 Dönemi Uygulaması”, *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, c. 17, ss. 85–100, 2017.
- [15] H. Budak, “Veri Zarflama Analizi ve Türk Bankacılık Sektöründe Uygulaması”, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 23, sayı 3, ss. 95–110, 2011.
- [16] A. Charnes, W. W. Cooper, ve E. Rhodes, “Measuring the efficiency of decision making units”, *European Journal of Operational Research*, c. 2, sayı 6, ss. 429–444, 1978.

- [17] D. Oh, H. Löf, ve A. Heshmati, “The Icelandic Economy: A victim of the financial crisis or simply inefficient”, *Royal Institute of Technology*, c. No.199, sayı July 2014, ss. 1–28, 2009.
- [18] İ. Özer, “Veri Zarflama Analizi Ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, İstatistik Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- [19] Y. Akyüz, F. Yıldız, ve Z. Kaya, “Measuring Total Factor Productivity with The Malmquist Index and Data Envelopment Analysis (DEA): An Application in Deposit Banks Listed in BIST”, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 27, sayı 4, ss. 110–130, 2013.
- [20] Anonim, (2021, 3 Ocak) “Malmquist index”, c. 92, sayı Mi, ss. 1–2, 2020.
- [21] S. Malmquist, “Index numbers and indifference surfaces”, *Trabajos de Estadística*, c. 4, sayı 2, ss. 209–242, 1953.
- [22] M. C. Hochberg, “R for Beginners”, *Osteoarthritis and Cartilage*, c. 25, s. S1, 2017, doi: 10.1016/j.joca.2017.02.005.
- [23] J. F. M. Pessanha, A. Marinho, L. C. Laurencel, ve M. R. S. Amaral, “Implementing DEA models in the R program”, *11th International Conference on Data Envelopment Analysis*, sayı January 2013, 2013.
- [24] Anonim, (2021, 3 Ocak), [Online], Erişim: www.tbb.org.tr.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Manyetik Sıvı Hipertermi İçin Parametrik Olarak Üretilen Gradyan Örüntülerinin Haritalanması

 Serhat KÜÇÜKDERMENCİ ^{a,*}

^a *Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, TÜRKİYE*

* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: kucukdermenci@balikesir.edu.tr*

DOI: [10.29130/dubited.755963](https://doi.org/10.29130/dubited.755963)

ÖZET

Manyetik sıvı hipertermi (MFH) geliştirilmekte olan yeni nesil kanser tedavi yöntemlerinden biridir. MFH'nin pratik uygulamalarında ortaya çıkan zorluklardan biri manyetik nanoparçacıkların (MNP) sınırlı kontrolüdür. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için MFH testlerinde yeni yaklaşımlar araştırılmaktadır. MNP salınımlarının bölgeselleştirilmesi sabit mıknatıs veya elektromıknatıslar tarafından üretilen manyetik alansız bölge (FFR) ve statik manyetik alan (SMF) gradyanları aracılığıyla sağlanabilir. Bu çalışmada elektromıknatıslara göre teknik ve ekonomik avantajlar sunmasından dolayı SMF kaynağı olarak sabit mıknatıslar tercih edilmiştir. Çalışma alanında ortaya çıkacak gradyan örüntülerini kestirebilmek için sonlu elemanlar yöntemi benzetimi kullanılmıştır. Gradyan örüntüsünün parametrik değişimlerle oluşturulacağı platform bilgisayar destekli çizim ortamında tasarlanarak 3B yazıcı ile üretilmiştir. Sabit mıknatıslarla üretilen gradyan örüntüsünün hedeflemeli MFH kullanımı için haritalanması bu çalışma ile ilk defa ele alınmıştır. Elde edilen bulgular tümör tipine göre hangi gradyan örüntüsünün kullanılabileceği hakkında bilgiler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Manyetik sıvı hipertermi, statik manyetik alan gradyanları, kanser tedavileri*

Mapping Parametrically Generated Gradient Patterns for Magnetic Fluid Hyperthermia

ABSTRACT

Magnetic fluid hyperthermia (MFH) is one of the new generation cancer treatment methods under development. One of the challenges that arise in the practical applications of MFH is the limited control of magnetic nanoparticles (MNP). In order to overcome this problem, new approaches in MFH tests are being investigated. The localization of the MNP oscillation can be achieved through magnetic field-free zone (FFR) and static magnetic field (SMF) gradients generated by permanent magnets or electromagnets. In this study, permanent magnets are preferred as SMF source because of their technical and economic advantages compared to electromagnets. Finite element method simulation is used to predict the gradient patterns that will appear in the study area. The platform, where the gradient pattern will be created with parametric changes, is designed in computer-aided drawing environment and produced with a 3D printer. The mapping of the gradient pattern generated by permanent magnets for targeted MFH use is discussed for the first time in this study. The obtained findings provide information about which gradient pattern can be used according to the tumor type.

Keywords: *Magnetic fluid hyperthermia, static magnetic field gradients, cancer treatments*

I. GİRİŞ

Manyetik alan ile etkileşime giren MNP uygulamaları arasında manyetik rezonans görüntüleme [1,2], hedeflemeli ilaç salınımı teknolojileri [3-4] ve MFH [5-6] örnek olarak sayılabilir. MFH, kanserli hücrelerin MNP'ler ile 42-46 °C arası sıcaklığa getirildiği tıbbi bir işlemdir [7]. MNP'ler alternatif manyetik alana (AMF) maruz kaldığında ortaya çıkan salınım hareketi ile manyetik enerji ısı enerjisine çevrilmiş olur. Kanserli hücreler ortamdaki yüksek sıcaklık ile birlikte etkinliğini kaybeder. Sağlıklı hücreler ise kanserli hücrelere göre ısıya karşı daha dirençlidir. MNP'lerin ısı üretme kapasitesi, özgül soğurma oranı (SAR) olarak tanımlanır ve Eşitlik 1 ile ifade edilir. Burada, c ortamın özgül ısı kapasitesi, V_s numunenin hacmi, m_{MNP} manyetik parçacıkların kütlesi ve dT/dt sıcaklık farkının zamana göre türevidir.

$$SAR = c \frac{V_s}{m_{MNP}} \times \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

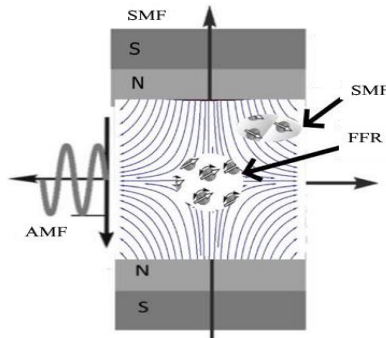
MNP'lerin AMF etkisi ile ısı üretimi gevşeme kayıpları ile açıklanmaktadır. MNP momentlerinin yön değiştirme hareketi Neel gevşemesi olarak tanımlanır. Brownian gevşemesinde ise MNP'ler ortam akışkanıyla etkileşime girerek mekanik bir hareket yapar. Neel ve Brownian karakteristik gevşeme süreleri sırasıyla τ_N ve τ_B olarak ifade edilir. Etkin gevşeme süresi (τ_{eff}) Eşitlik 2 ile verilmiştir.

$$\tau_{eff} = (\tau_B * \tau_N) / (\tau_B + \tau_N) \quad (2)$$

AMF'ye maruz kalan MNP'ler tarafından ortama yayılan hacimsel güç yoğunluğunu tanımlayan modellerden biri Rosensweig modelidir ve Eşitlik 3 ile ifade edilir. Burada, χ_0 manyetik duygunluk, H_{ac} ve f sırasıyla alternatif manyetik alan genliği ve frekansı, τ etkin gevşeme süresi ve ω açısal frekanstır.

$$P = \pi \mu_0 \chi_0 H_{ac}^2 f \frac{\omega \tau}{1 + (\omega \tau)^2} [W / m^3] \quad (3)$$

MFH uygulamalarındaki tipik problem, sağlıklı dokulara zarar vermeden tümöre aktarılacak ısıyı bölgeselleştirmenin zorluğudur. Çünkü MFH testleri süresince MNP'lerin tümör bölgesinden sağlıklı dokulara doğru geçme eğilimi söz konusudur. Bu nedenle, sıcaklık artışını kontrol etmek için çeşitli yaklaşımlar araştırılmaktadır. MFH testlerine SMF kaynakları eklenmesiyle AMF etkisi altındaki MNP davranışlarının değiştirebileceğini gösteren teorik ve deneysel çalışmalar [8-11] mevcuttur. MFH test ortamına eklenecek SMF gradyan örüntüsü uygun şekilde düzenlenirse MNP'ler bulunduğu konuma göre farklı SAR değerlerine sahip olabilir. Şekil 1'de gösterildiği gibi SMF kaynaklarının manyetik akı yoğunluğu vektörleri birbirini bükecek şekilde konumlanır ve hedeflemeli MFH'ye uygun bir gradyan örüntüsü oluşturulmuş olur. FFR içinde kalan MNP'ler AMF etkisiyle salınım yapar. SMF gradyanı etkisinde kalan MNP'lerin salınımları AMF'ye rağmen ya kısıtlanmış ya da tamamen engellenmiş olur.



Şekil 1. Gradyan örüntüsü ile SMF gradyanları ve FFR oluşturulması.

MFH ile ilgili çalışmalardan Tasci vd. önerdikleri yöntemde [12] in vivo MFH deneylerinde MNP sıcaklık artışının kontrol edilebileceğini göstermiştir. Çalışmalarında DC bobinlerle yapılan SMF kaynağı AMF üreten sarımın her iki tarafına konumlandırılmıştır. Bobinler eşit şiddette ve ters yönlü DC akımlarla beslenerek çalışma alanında FFR'yi çevreleyen SMF gradyanları elde edilmiştir. Diğer bir çalışmada ise Hensley vd. ısıyı istenen bölgeye FFR yardımıyla odaklamak için sabit mıknatısların kullanıldığı bir sistem kurmuşlardır. Önerdikleri sistem manyetik parçacık görüntüleme (MPI) ve MFH işlemlerini gerçekleştirebilecek özelliktedir [13]. Başka bir çalışmada Ma vd. [14], kurdukları deney düzeneklerinde SMF kaynağı olarak 40 mm × 40 mm × 20 mm boyutlarında Neodimyum Demir Bor (NdFeB) sabit mıknatıslar kullanmışlardır. Mıknatıslar, AMF üretici bobinin her iki yanında bulunur. FFR içinde kalan MNP numunelerinin etkili bir şekilde ısı ürettiği ve statik gradyan bölgesindeki MNP'lerin SAR değerinin sınırlandırıldığı bildirilmiştir. SMF kaynaklarının dahil edildiği MFH çalışmalarını içeren kısa bir literatür karşılaştırması Tablo 1 ile sunulmuştur. Bu çalışmalara göre SMF kaynağı olarak hem DC akım beslemeli bobinler hem de sabit mıknatıslar kullanılmıştır. Çalışma alanına bakan SMF kutupları bazen manyetik akı vektörleri birbirini destekleyecek şekilde bazen de FFR oluşturacak şekilde konumlanmıştır. Tabloya göre SMF kaynaklarının manyetik akı yön ve şiddetleri; AMF kaynaklarının genlik, frekans ve salınım yönleri farklı değerler alabilmektedir. Bu ve benzeri SMF kaynaklarının dahil edildiği MFH çalışmalarının hiçbirinde gradyan örüntüsünün haritalanması ele alınmamıştır.

Tablo 1. SMF kaynaklarının dahil edildiği MFH çalışmalarının karşılaştırması

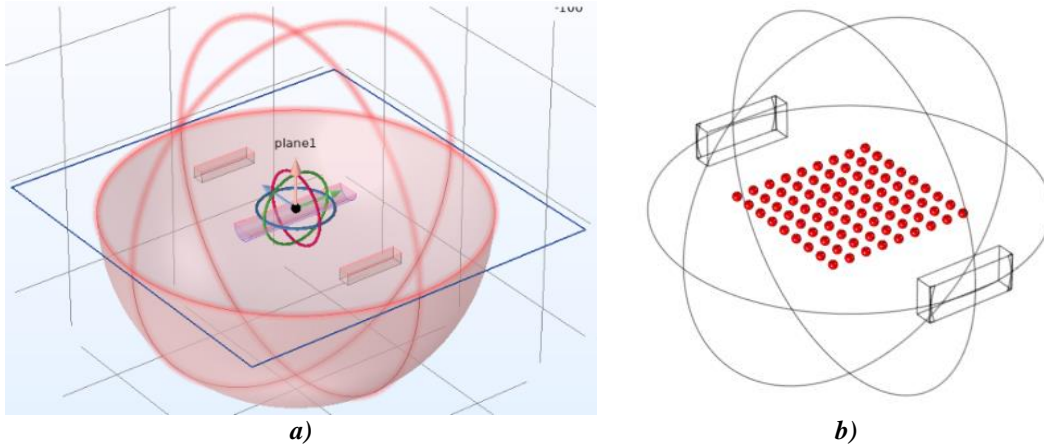
SMF kaynağı / Büyüklük	SMF kaynaklarının sayısı / Akı yönü	Boyut / SMF yönü	AMF bobin konumu / Salınım yönü / Büyüklüğü ve frekansı	Kaynak
Sabit mıknatis / 2,6 mT - 15,4 mT	Tek mıknatis ve mıknatis çifti / aynı yön	1D / z yönünde (boyuna)	Dikey / z yönünde / H = 16 kA/m ve f = 380 kHz	[11]
Bobin + DC akım	Bir çift / zıt yön	1D / y yönünde (boyuna)	Yatay / y yönünde / H = 4,5 kA/m ve f = 80 kHz	[12]
Sabit mıknatis / 5mT - 0.2 T	Bir çift / zıt ve aynı yön	1D / y yönünde (enine)	Dikey / z yönünde / H = 34 kA/m, f = 50kHz	[14]
Bobin + DC akım	Bir çift / aynı yön	1D / y yönünde (enine)	Dikey / z yönünde / 1,1, 1,5 ve 1,9 kA / m ve f = 600 kHz	[15]
Bobin + DC akım	Bir çift / aynı yön	1D / z yönünde (enine)	Yatay / y yönünde / H = 7 kA/ m ve f = 130 kHz	[16]

Biyoelektromanyetik uygulamalarda SMF kaynağı olarak ya sarımlarla oluşturulan akım beslemeli elektromıknatıslar [17] ya da sabit mıknatıslar [18,19] tercih edilir. Sabit mıknatıslar, NdFeB ve Samarium Kobalt (SmCo) gibi nadir toprak alaşımlarıyla imal edilebilir. NdFeB ve SmCo mıknatıslar, geleneksel mıknatıslar ve sarımlarla oluşturulan elektromıknatıslara kıyasla daha güçlü manyetik akı yoğunluğu üretir ve fiyat performans oranları tatmin edicidir [20, 21]. Sarımlarla oluşturulan elektromıknatısların dezavantajları arasında gerilim kaynaklarına bazen de soğutma sistemlerine ihtiyaç duymaları sayılabilir. Yukarıda anılan avantajlarından dolayı bu çalışmada SMF kaynağı olarak Neodymium mıknatıslar tercih edilmiştir.

II. YÖNTEM VE YAKLAŞIM

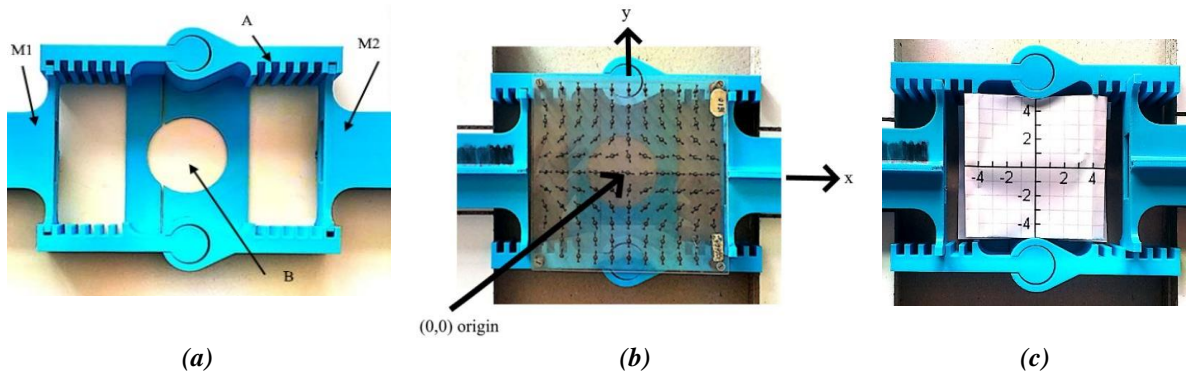
Gradyan örüntüsü modellemesi için hesaplama alanlarını ayırklaştırmada sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanan benzetim programından yararlanılmıştır. 3B uzayda, "Magnetic Fields, No Currents-mfnc" ara yüzü ile modellenen benzetim ortamı; kaynak mıknatıslar, hedef nesne ve deney ortamından meydana gelmektedir. Kaynak mıknatıslar; 50 mm eni, 10 mm derinliği ve 20 mm yüksekliği olan dikdörtgenler prizması şeklindedir. Mıknatısların ağırlık merkezleri (0, d, 0) mm ve (0, -d, 0) mm noktalarına konumlanmıştır. d değeri parametrik taramada kullanılacak olan y eksenindeki değişken mesafe olarak belirlenmiştir. Hedef nesne; ağırlık merkezi (-50, 0, 0) mm'de bulunan, 10 mm

yarıçapında, 100 mm yüksekliğinde, x eksenı boyunca uzanmış bir silindirdir. Bu silindir test tüpü veya kobay gibi in vivo veya in vitro testler için temsili bir gösterimdir. Deney ortamı; 150 mm yarıçapında merkezi (0, 0, 0) mm noktasında olan bir küreden oluşmaktadır. Benzetimde mıknatısların S kutupları birbirine bakacak şekilde konumlanmıştır. Böylece manyetik akı yoğunluğu vektörlerinin merkezde birbirini bükmesi sağlanmıştır. Deney ortamı malzemesi olarak atanan hava ve sabit mıknatısların bağlı manyetik geçirgenlikleri sırasıyla 1,0 ve 1,05'tir. Sabit mıknatısların B_r değeri 1,47 T'dir. Mıknatıs çifti arasındaki mesafe "Parametrik Sweep" yöntemi ile taranarak parametreye bağımlı benzetim yapılmıştır. Deney ortamı kesiti gösterimi Şekil 2 a'da sunulmuştur. SAR performansı için ortamdaki etkin noktaları belirlemek adına x ve y eksenlerinde -40 mm'den 40 mm'ye 10 mm aralıklarla toplam 81 adet "Domain Point Probe" Şekil 2 b'deki gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 2. a) Deney ortamı kesit gösterimi, b) Domain Point Probe konumları.

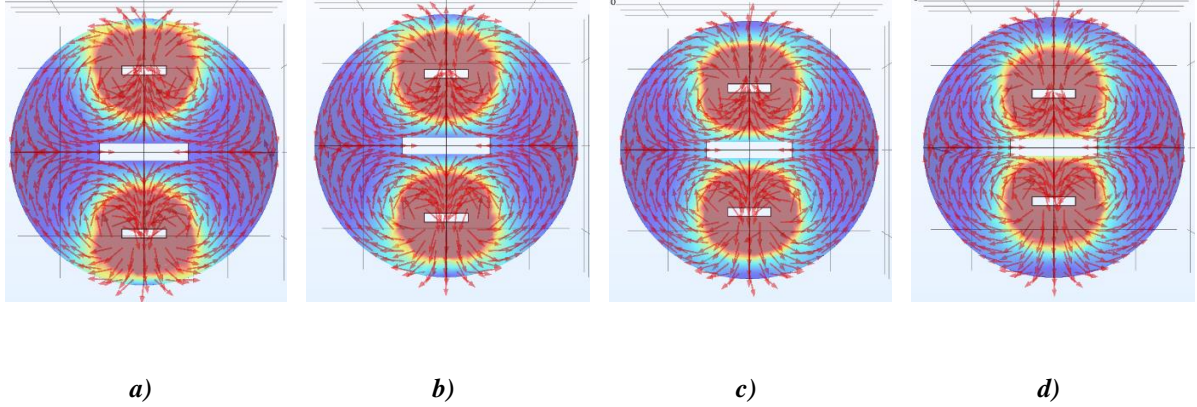
Benzetimden elde edilen bilgiler ışığında gradyan örüntüsünü deney ortamında oluşturmak için 20 mm × 10 mm × 50 mm ebatlarında N54-NdFeB mıknatıs çifti kullanılmasına karar verilmiştir. Mıknatısların konumlanacağı platform 3B yazıcı ile Şekil 3 a'da gösterildiği gibi tasarlanmıştır. Burada M_1 ve M_2 ile gösterilen yerlere sabit mıknatısların yerleştirilebileceği yuvalar oluşturulmuştur. A ile gösterilen yandaki tırtıklar sayesinde mıknatıslar arasındaki mesafe 10 mm kademelerle değiştirilebilmektedir. B ile gösterilen bölge ise gradyan örüntüsünün oluşturulacağı çalışma alanıdır. Şekil 3 b'de gösterildiği gibi yerleştirilen manyetik alan gösterge plakası matris formunda dizilmiş birbirinden bağımsız pusula okları içerir. Bu oklar sayesinde kaynak mıknatısların hangi kutbunun çalışma alanına doğru baktığı, oluşan FFR ve etrafındaki SMF gradyanı da rahatça gözlemlenebilmektedir. Milimetrik ölçüm kâğıdı Şekil 3 c'deki gibi yerleştirilerek x ve y eksenlerinde -40 mm'den 40 mm'ye 10 mm aralıklarla toplam 81 adet ölçüm noktası belirlenmiştir.



Şekil 3. a) Deney düzeneği yapısı, b) Şeffaf manyetik alan gösterge plakası, c) xy düzleminde matris düzeninde ölçüm noktaları belirlenmesi.

III. ÖLÇÜMLER

Benzetim ortamında mıknatıslar arası mesafenin parametrik olarak azaltılmasıyla ara bölgede oluşan gradyan örüntüsü Şekil 4’te gösterilmektedir. Buna göre mesafe 2×92 mm’den 2×62 mm’ye 10 mm’lik adımlarla hedef nesneye yaklaştırılırken manyetik akı çizgilerinin güçlendiği ve ara bölgedeki hedef nesneye etkileyen FFR’nin daraldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4. Mıknatıslar ağırlık merkezleri arası mesafe (a) 2×92 mm, (b) 2×82 mm, (c) 2×72 mm, (d) 2×62 mm iken gradyan örüntüsünün benzetim ile belirlenmesi.

Benzetim ortamında mıknatısların ağırlık merkezleri arası mesafe 2×92 mm’den 2×62 mm’ye 10 mm’lik adımlarla değiştirilerek xy düzleminde konumlanan “Domain Point Probe” grubu ile B_x ve B_y ölçümleri alınmıştır ve bileşke manyetik akı yoğunluğu Eşitlik 4 ile hesaplanmıştır. Aynı ölçümler deney düzeneğinde WT10A akı ölçer manyetik alan test cihazı ile tekrar edilmiştir.

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad (4)$$

Bileşke vektör değerleri benzetim ortamı için Tablo 2’de, deney düzeneği ölçümleri Tablo 3’de listelenmektedir. Benzetim ortamı ve deney düzeneği ölçümleri arasındaki küçük sapmaların sebebi benzetim ortamının ideal olması, deney ortamındaki prob konumlama, ölçü aleti kalibrasyonu gibi sebepler olabilir.

Tablo 2. Benzetim ortamında mıknatıslar arası mesafe a) 2×92 mm, b) 2×82 mm, c) 2×72 mm, d) 2×62 mm iken manyetik akı yoğunlukları bileşke vektörleri

B (G)		x ekseninden uzaklık (mm)								
		-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
y ekseninden uzaklık (mm)	40	71	86	92	112	127	101	100	76	61
	30	32	46	58	62	66	64	55	52	41
	20	30	33	34	34	35	34	33	32	31
	10	21	22	19	17	16	18	20	21	22
	0	20	17	12	7	0	7	13	16	19
	-10	22	20	17	16	15	17	20	22	21
	-20	30	32	35	37	36	35	23	32	31
	-30	40	52	57	56	64	65	60	47	42
	-40	66	79	92	110	111	103	96	84	65

a)

B (G)		x ekseninden uzaklık (mm)								
		-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
y ekseninden uzaklık (mm)	40	91	140	167	194	183	185	131	111	97
	30	68	85	97	109	104	104	100	73	72
	20	43	54	46	56	56	54	55	53	44
	10	32	36	31	27	29	27	32	32	33
	0	28	26	20	10	0	11	20	26	29
	-10	34	34	29	28	26	28	31	34	33
	-20	46	47	50	54	64	55	46	49	42
	-30	59	77	98	104	117	110	99	80	64
	-40	103	140	167	190	196	181	167	128	93

b)

B (G)		x ekseninden uzaklık (mm)								
		-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
y ekseninden uzaklık (mm)	40	150	251	299	391	365	372	391	288	156
	30	96	139	183	222	212	177	134	133	98
	20	69	77	85	81	113	112	94	87	66
	10	51	57	52	47	45	49	48	53	49
	0	43	43	32	17	2	18	31	42	43
	-10	49	48	43	41	45	53	46	54	52
	-20	70	88	88	107	94	104	98	80	66
	-30	95	87	173	184	178	166	165	143	101
	-40	119	258	358	401	401	387	298	207	155

c)

B (G)		x ekseninden uzaklık (mm)								
		-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
y ekseninden uzaklık (mm)	40	195	509	891	715	731	904	662	491	242
	30	214	212	267	415	438	392	309	172	176
	20	127	138	160	174	262	193	157	133	112
	10	83	84	87	78	83	82	85	80	76
	0	68	68	51	31	5	31	57	63	71
	-10	80	84	79	85	81	80	85	83	80
	-20	105	149	144	180	169	170	120	140	101
	-30	147	213	332	327	329	379	340	253	137
	-40	261	488	584	821	928	842	600	565	177

d)

Tablo 3. Deney düzeneğinde mıknatıslar arası mesafe a) 2×92 mm, b) 2×82 mm, c) 2×72 mm, d) 2×62 mm iken manyetik akı yoğunlukları bileşke vektörleri

B (G)		x ekseninden uzaklık (mm)								
		-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
y ekseninden uzaklık (mm)	40	72	88	93	113	130	105	101	77	64
	30	36	47	61	62	67	68	55	56	41
	20	32	35	36	35	37	38	35	33	33
	10	22	24	22	19	16	19	21	21	24
	0	23	19	15	9	1	10	17	17	22
	-10	23	23	21	20	18	18	20	24	23
	-20	33	35	36	38	36	37	26	33	32
	-30	41	55	60	58	68	67	61	50	44
	-40	69	80	95	113	111	104	96	87	67

a)

B (G)		x ekseninden uzaklık (mm)								
		-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
y ekseninden uzaklık (mm)	40	93	143	171	195	186	188	134	113	98
	30	70	87	97	111	106	107	102	77	75
	20	45	55	47	58	59	58	55	56	47
	10	33	37	33	30	32	27	36	35	36
	0	28	30	21	14	1	11	23	28	30
	-10	37	36	31	28	27	29	35	36	35
	-20	48	50	51	56	67	56	49	52	46
	-30	60	79	102	105	119	112	99	82	66
	-40	107	143	168	193	200	183	171	130	94

b)

B (G)		x ekseninden uzaklık (mm)								
		-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
y ekseninden uzaklık (mm)	40	152	255	303	392	366	375	393	290	160
	30	98	142	187	224	212	179	138	135	101
	20	69	80	89	85	114	113	95	88	67
	10	52	60	54	48	47	51	49	55	51
	0	46	46	34	18	2	20	34	43	46
	-10	49	48	46	45	49	55	49	56	55
	-20	74	91	91	107	95	106	101	81	67
	-30	97	87	176	187	178	170	168	143	102
	-40	122	258	358	402	405	389	299	210	155

c)

B (G)		x ekseninden uzaklık (mm)								
		-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
y ekseninden uzaklık (mm)	40	198	513	895	715	733	906	663	492	245
	30	214	215	268	418	440	393	311	175	176
	20	130	141	161	176	263	195	159	137	112
	10	85	86	88	80	84	85	88	84	79
	0	69	71	53	34	7	34	60	64	71
	-10	83	87	80	89	85	82	86	84	82
	-20	109	151	145	182	170	171	121	141	104
	-30	149	215	332	328	331	382	342	256	137
	-40	264	490	587	821	931	845	602	568	179

d)

IV. SONUC VE TARTIŞMA

Literatürde MFH deney koşulları geniş yelpazede çeşitlilik göstermektedir. Örneğin, AMF şiddeti 0,8 - 115 kA/m arasında olabilir [22]. Buna göre MNP salımlarını engelleyecek SMF şiddeti bu çalışmadaki gradyan örüntüleri için 50 G (yaklaşık 3,978 kA/m) seçilirse Tablo 4'deki FFR'ler ortaya çıkar.

Tablo 4. Mıknatıslar arası mesafe a) 2×92 mm, b) 2×82 mm, c) 2×72 mm, d) 2×62 mm iken FFR'ler.

B (G)		x ekseninden uzaklık (mm)								
		-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
y ekseninden uzaklık (mm)	40	72	88	93	113	130	105	101	77	64
	30	36	47	61	62	67	68	55	56	41
	20	32	35	36	35	37	38	35	33	33
	10	22	24	22	19	16	19	21	21	24
	0	23	19	15	9	1	10	17	17	22
	-10	23	23	21	20	18	18	20	24	23
	-20	33	35	36	38	36	37	26	33	32
	-30	41	55	60	58	68	67	61	50	44
	-40	69	80	95	113	111	104	96	87	67

B (G)		x ekseninden uzaklık (mm)								
		-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
y ekseninden uzaklık (mm)	40	93	143	171	195	186	188	134	113	98
	30	70	87	97	111	106	107	102	77	75
	20	45	55	47	58	59	58	55	56	47
	10	33	37	33	30	32	27	36	35	36
	0	28	30	21	14	1	11	23	28	30
	-10	37	36	31	28	27	29	35	36	35
	-20	48	50	51	56	67	56	49	52	46
	-30	60	79	102	105	119	112	99	82	66
	-40	107	143	168	193	200	183	171	130	94

a)

B (G)		x ekseninden uzaklık (mm)								
		-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
y ekseninden uzaklık (mm)	40	152	255	303	392	366	375	393	290	160
	30	98	142	187	224	212	179	138	135	101
	20	69	80	89	85	114	113	95	88	67
	10	52	60	54	48	47	51	49	55	51
	0	46	46	34	18	2	20	34	43	46
	-10	49	48	46	45	49	55	49	56	55
	-20	74	91	91	107	95	106	101	81	67
	-30	97	87	176	187	178	170	168	143	102
	-40	122	258	358	402	405	389	299	210	155

b)

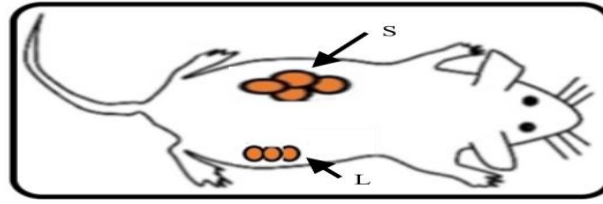
B (G)		x ekseninden uzaklık (mm)								
		-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
y ekseninden uzaklık (mm)	40	198	513	895	715	733	906	663	492	245
	30	214	215	268	418	440	393	311	175	176
	20	130	141	161	176	263	195	159	137	112
	10	85	86	88	80	84	85	88	84	79
	0	69	71	53	34	7	34	60	64	71
	-10	83	87	80	89	85	82	86	84	82
	-20	109	151	145	182	170	171	121	141	104
	-30	149	215	332	328	331	382	342	256	137
	-40	264	490	587	821	931	845	602	568	179

c)

Deney ortamında mıknatısların ağırlık merkezleri arası mesafe $2 \times 92 \text{ mm}$ 'den $2 \times 62 \text{ mm}$ 'ye 10 mm 'lik adımlarla değiştirildiğinde 81 ölçüm noktasındaki 50 G ve altında kalan nokta sayısı sırasıyla 50, 34, 18 ve 3 adettir. Bu noktalar kırmızı renk ile işaretlendiğinde SMF kaynakları hedefe yaklaştıkça FFR'nin küçüldüğü ve FFR deseninin ince çizgiye döndüğü görülmektedir.

d)

Hedef nesne olarak Şekil 5'deki gibi bölgesel tümör kitlelerine sahip bir kobay faresi düşünülebilir. Hedeflemeli MFH için FFR tümör üzerinde konumlanmalıdır. Bu konumlama kaynak veya hedefin uygun şekilde yerleştirilmesiyle sağlanabilir. Gradyan örüntüsü haritalaması sayesinde farklı tümör geometrilerine uygun olan FFR'ler belirlenebilecektir. Eğer *L* harfiyle gösterilen çizgisel bir tümör kitlesi mevcutsa Tablo 4d'deki gibi, *S* harfiyle gösterilen yüzeysel tümör kitlesi mevcutsa Tablo 4c'deki gibi FFR'ye sahip bir gradyan örüntüsü daha uygundur. Daha büyük tümör kitleleri için sırasıyla Tablo 4b ve Tablo 4a'daki örüntülere geçilebilir.



Şekil 5. Hedef tümör tiplerinin bir kobay üzerinden gösterimi.

Bu çalışmada; hedeflemeli MFH testlerinde kullanmak için sabit mıknatıslarla oluşturulan gradyan örüntüsünün haritalanması ilk defa ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar klinik deneyler öncesi yapılan in vitro ve in vivo MFH testleri için önem arz etmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] J. Huang, X. Zhong, L. Wang, L. Yang, H. Mao, "Improving the Magnetic Resonance Imaging Contrast and Detection Methods with Engineered Magnetic Nanoparticles", *Theranostics*, vol. 2, no. 1, pp. 86–102, 2012.
- [2] M. A. Busquets, J. Estelrich, M. J. Sánchez-Martín, "Nanoparticles in magnetic resonance imaging: from simple to dual contrast agents", *International Journal of Nanomedicine*, p. 1727, 2015.
- [3] M. Arruebo, R. Fernández-Pacheco, M. R. Ibarra, J. Santamaría, "Magnetic nanoparticles for drug delivery", *Nano Today*, vol. 2, no. 3, pp. 22–32, 2007.
- [4] S. Mura, J. Nicolas, P. Couvreur, "Stimuli-responsive nanocarriers for drug delivery", *Nature Materials*, vol. 12, no. 11, pp. 991–1003, 2013.

- [5] K. Mahmoudi, A. Bouras, D. Bozec, R. Ivkov, C. Hadjipanayis, “Magnetic hyperthermia therapy for the treatment of glioblastoma: a review of the therapy’s history, efficacy and application in humans”, *International Journal of Hyperthermia*, vol. 34, no. 8, pp. 1316–1328, 2018.
- [6] L.Y. Zhao, J. Y. Liu, W. W. Ouyang, J. T. Tang, “Magnetic-mediated hyperthermia for cancer treatment: Research progress and clinical trials”, *Chinese Physics B*, vol. 22, no. 10, p. 108104, 2013.
- [7] A. E. Deatsch, B. A. Evans, “Heating efficiency in magnetic nanoparticle hyperthermia”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 354, pp. 163–172, 2014.
- [8] K. Murase, “A Simulation Study on the Specific Loss Power in Magnetic Hyperthermia in the Presence of a Static Magnetic Field”, *Open Journal of Applied Sciences*, vol. 06, no. 12, pp. 839–851, 2016.
- [9] R. Dhavalikar, C. Rinaldi, “Theoretical predictions for spatially-focused heating of magnetic nanoparticles guided by magnetic particle imaging field gradients”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 419, pp. 267–273, 2016.
- [10] P. Cantillon-Murphy, L. L. Wald, M. Zahn, E. Adalsteinsson, “Proposing magnetic nanoparticle hyperthermia in low-field MRI”, *Concepts in Magnetic Resonance Part A*, vol. 36A, no. 1, pp. 36–47, 2010.
- [11] L. M. Bauer, S. F. Situ, M. A. Griswold, A. C. S. Samia, “High-performance iron oxide nanoparticles for magnetic particle imaging – guided hyperthermia (hMPI)”, *Nanoscale*, vol. 8, no. 24, pp. 12162–12169, 2016.
- [12] T. O. Tasci, I. Vargel, A. Arat, E. Guzel, P. Korkusuz, E. Atalar, “Focused RF hyperthermia using magnetic fluids”, *Medical Physics*, vol. 36, no. 5, pp. 1906–1912, 2009.
- [13] D. Hensley, Z. W. Tay, R. Dhavalikar, B. Zheng, P. Goodwill, C. Rinaldi, S. Conolly, “Combining magnetic particle imaging and magnetic fluid hyperthermia in a theranostic platform”, *Phys. Med. Biol.*, vol. 62, no. 9, pp. 3483–3500, Apr. 2017.
- [14] M. Ma, Y. Zhang, X. Shen, J. Xie, Y. Li, N. Gu, “Targeted inductive heating of nanomagnets by combined AC and static magnetic field”, 2015.
- [15] K. Murase, H. Takata, Y. Takeuchi, S. Saito, “Control of the temperature rise in magnetic hyperthermia with use of an external static magnetic field”, *Phys Medica*. 2013; 29:624–630.
- [16] Q. Zhao, L. Wang, R. Cheng, L. Mao, R. D. Arnold, E. W. Howerth, Z. G. Chen, S. Platt, “Magnetic Nanoparticle-Based Hyperthermia for Head & Neck Cancer in Mouse Models”, *Theranostics* 2012, 2, 113.
- [17] E. J. Kastner, R. Reeves, W. Bennett, A. Misra, J. D. Petryk, A. A. Petryk, P. J. Hoopes, “Alternating magnetic field optimization for IONP hyperthermia cancer treatment”, *Energy-based Treatment of Tissue and Assessment VIII*, 2015.
- [18] H.C. Roth, A. Prams, M. Lutz, J. Ritscher, M. Raab, S. Berensmeier, “A High-Gradient Magnetic Separator for Highly Viscous Process Liquors in Industrial Biotechnology”, *Chemical Engineering & Technology*, vol. 39, no. 3, pp. 469–476, 2016.
- [19] A. Garraud, C. Velez, Y. Shah, N. Garraud, B. Kozissnik, E. G. Yarmola, K. D. Allen, J. Dobson, D. P. Arnold, “Investigation of the Capture of Magnetic Particles From High-Viscosity Fluids Using Permanent Magnets”, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 63, no. 2, pp. 372–378, 2016.


- [20] W. W. Mahadi, S. Adi, K. Nor, “Application of the rare earth permanent magnet in linear generator driven by an internal combustion engine”, Proceedings. National Power Engineering Conference, 2003.
- [21] S. Erni, S. Schürle, A. Fakhraee, B. E. Kratochvil, B. J. Nelson, “Comparison, optimization, and limitations of magnetic manipulation systems”, Journal of Micro-Bio Robotics, vol. 8, no. 3-4, pp. 107–120, 2013.
- [22] Vilas-Boas, V., Carvalho, F., Espiña, B., “Magnetic Hyperthermia for Cancer Treatment: Main Parameters Affecting the Outcome of In Vitro and In Vivo Studies”, Molecules, 25(12), p.2874, 2020.



Düzce University Journal of Science & Engineering

Research Article

Conformable Fractional Order PI Controller Design and Optimization for Permanent Magnet Synchronous Motor Speed Tracking System

 Erdem İLTEN ^{a, *}

^a Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.756699

ABSTRACT

The use of permanent magnet synchronous motor (PMSM) is increasing rapidly to meet the need to increase efficiency in variable speed drive systems used in the industry, in recent years. This paper aims to improve the speed control performance of the PMSM based systems. To achieve this, a PMSM speed controller is designed based on the conformable fractional order proportional integral (CFOP) method. CFOP controller coefficients k_p , k_i and γ are optimized using response surface method (RSM). To validate the success of the proposed scheme, the CFOP controller and the integer order PI (IOPI) controller are tested under the same simulation model and the results are compared. The proposed method grants robust performance with less computational load than the classical fractional order controllers for variable referenced PMSM speed tracking systems. The CFOP controller can be applied easily for industrial variable speed drive systems which is using PMSM to improve the performance and stability of the systems.

Keywords: Fractional calculus, Response surface methodology, Permanent magnet motors, Variable speed drives

Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Hız Takip Sistemi için Uygun Kesirli PI Kontrolör Tasarımı ve Optimizasyonu

ÖZET

Son yıllarda, endüstride kullanılan değişken hızlı tahrik sistemlerinde verimliliği artırma ihtiyacını karşılamak için sürekli mıknatıslı senkron motor (PMSM) kullanımı hızla artmaktadır. Bu makalede PMSM tabanlı hız kontrol sistemlerinin performansının artırılması hedeflenmektedir. Bu amaçla, uygun kesirli oransal-integral (CFOP) tabanlı PMSM hız kontrolörü tasarlanmıştır. CFOP kontrolör katsayıları k_p , k_i ve γ yanıt yüzey metodu (RSM) kullanılarak optimize edilmiştir. Önerilen sistemin başarısının kanıtlanması için CFOP ve tamsayı PI (IOPI) kontrolörler aynı simülasyon modeli üzerinde test edilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntem klasik kesirli kontrolörlere göre daha az hesaplama yüküne sahiptir ve değişken referanslı PMSM hız izleme sistemleri için daha dayanıklı performans sağlamaktadır. CFOP kontrolörü, PMSM kullanan endüstriyel değişken hızlı tahrik sistemlerinin performansını ve kararlılığını artırmak için kolaylıkla uygulanabilir.

Anahtar Kelimeler: Kesirli analiz, Yanıt yüzeyi metodu, Sabit mıknatıslı motorlar, Değişken hızlı sürücüler

I. INTRODUCTION

In recent years, with the increasing competition in the industry, the use of more efficient systems has gained great importance. Increasing the performance of variable speed control systems, which are widely used in the industry, has also become mandatory. Therefore, the use of permanent magnet synchronous motor (PMSM), which have a robust construction and high efficiency in variable speed control systems, is increasing rapidly. Two types of control methods are applied in PMSMs, scalar control and vector control [1]. Scalar control method has a simple algorithm. In this method, the v/f (voltage / frequency) ratio should be kept constant [2]. Although this method is sufficient for simple applications, it cannot be used in every application since it cannot work at low-speed values. The vector control method has more complex algorithm than the scalar method. In response to this, it is more preferred because it can work efficiently at low speeds.

Fractional calculus has become popular in control engineering applications in recent years. Thanks to its memory structure, it can control the systems more effectively. It is also more flexible as it has more coefficients compared to the integer order controllers. Besides these advantages, it is a disadvantage that there is excessive computational load. In addition, traditional fractional order definitions cannot satisfy some cases such as Leibniz rule, product rule, chain rule and formula of the derivative of the quotient [3]. In order to find solutions to these problems, a new fractional order definition was proposed by Khalil et al. in 2014. This method is called conformable fractional order (CFO) calculus. A distinct advantage of this method is its simple structure, so its computational load is very low compared to the traditional fractional order methods.

One of the biggest problems in industrial control systems is the performance improvement. To do this, many optimization methods are used. These are artificial neural network [4-6], fuzzy logic [7-9], particle swarm algorithm [10-12], genetic algorithm [13, 14], response surface method (RSM) [15-20] etc. Applications using RSM have been increasing rapidly in recent years. The ability of modelling the systems easily on an experimental basis is effective in this increase. RSM can give successful results using only a few experimental data.

There are many studies about fractional order control and parameter tuning methods used in PMSM systems: Haghghatnia and Shandiz presented a study about CFO sliding mode controller [21]. Proposed controller is tested on three different nonlinear system such as dynamic model of a gyro system, a second-order nonlinear spring damper system and a fractional order Arneodo system. The simulation results show that the proposed controller have faster convergence speed and lower chattering effect. Luo et al. proposed a fractional-order robust controller for position and velocity control of a PMSM servo system [22]. The study aims the cogging effect compensation. The proposed controller is compared with a traditional integer order controller in simulation and experimental tests. The results indicate the success of the proposed method against the integer order method. Zong et al. presented the fractional order proportional integral (PI) controller application for PMSM speed adjusting system [23]. They used Riemann-Liouville definition in integral controller part of the PI controller. The simulation results demonstrate the fractional order PI controller has great performance on disturbance rejection of the PMSM system. Zhang et al. presented a study about fractional order sliding mode velocity control of a PMSM [24]. In this study, the proposed controller is designed according to Lyapunov stability method. Simulation and experimental results show that the proposed method has smaller chattering effect than the integer order sliding mode controller. Also, it has robust structure to external load disturbance and parameter variations. Zheng and Pi studied on optimization method for tuning the fractional order PI controller of a PMSM system [25]. They used differential evolution algorithm as the tuning method. Integral of time absolute error and the phase margin values is taken for the optimization criterion. To validate the robustness and the dynamic response performance of the proposed method, speed tracking experiments are performed. Experimental results illustrate the proposed tuning method has a robust structure and optimal dynamic response performance under gain variations. Qiao et al. presented an adaptive fractional order two degree of freedom PI speed control of PMSM [26]. Fractional order

generalized predictive control method is used as adaptation mechanism. Simulation and experimental results demonstrate the effectiveness of the proposed method. Rajasekhar et al. presented an optimization study about tuning the fractional order controller for PMSM drive system [27]. In this study, hybrid differential artificial bee colony algorithm is used in tuning the fractional order controller. They compared the proposed method with conventional methods in simulations. The results show the success of the proposed algorithm. Tabatabaei proposed an adaptive fractional order velocity controller for PMSM system [28]. Lyapunov method is used as an adaptation mechanism. The simulation results demonstrate the proposed controller has robust performance under the external load torque and the mechanical parameter uncertainties. Karthikeyan et al. presented a study about speed and current regulation of permanent magnet synchronous generator (PMSG) wind turbine [29]. In this study, fractional order nonlinear adaptive control method is used as a speed and current controller. PMSG model is simulated in LabVIEW environment and the results show the success of the proposed method. Saraji and Ghanbari proposed a fractional order PID speed controller for PMSM in aerospace applications [30]. They stated the tuning advantage of the fractional order controller due to it has more parameters than the integer order controller. The simulations are implemented in MATLAB environment for comparison of the fractional order controller and the integer order controller. The results demonstrate the proposed controller has better performance than the other method.

CFO operator advantages are given in many studies [3, 31-34]. On the other hand, using CFO as a controller is a new study area. This paper aims to design a CFO based PI controller to improve the performance of PMSM speed control system.

The paper is organized as the following order: Dynamic model of PMSM is explained in Section 2; Conformable Fractional Calculus expressions are given in Section 3; Conformable Fractional Order PI (CFOPI) Controller design is given in Section 4; the simulation studies and results are presented in Section 5; and the conclusion is given in Section 6.

II. DYNAMIC MODEL OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR

d-q axis rotating reference frame model of the PMSM can be described as following equation [35]

$$\begin{aligned} \frac{di_d}{dt} &= -\frac{R_s}{L_d} i_d + \omega_e \frac{L_q}{L_d} i_q + \frac{1}{L_d} v_d \\ \frac{di_q}{dt} &= -\omega_e \frac{L_d}{L_q} i_d - \frac{R_s}{L_q} i_q - \omega_e \frac{\lambda_f}{L_q} + \frac{1}{L_q} v_q \end{aligned} \quad (1)$$

where i_d and i_q are the d-q axis currents; v_d and v_q are the d-q axis voltages; R_s is the stator winding resistance; L_d and L_q are the d-q axis inductances; λ_f and ω_e are the permanent magnet flux linkage and the electrical angular speed, respectively. The electromagnetic torque equation can be written as

$$T_e = \frac{3p}{4} \lambda_f i_q, \quad \left(K_t = \frac{3p}{4} \lambda_f \right) \quad (2)$$

this equation can be simplified as follows

$$T_e = K_t i_q \quad (3)$$

In Equation (2) T_e is the electromagnetic torque and p is the pole pairs. Dynamic equation of PMSM for mechanical load can be described as

$$J_m \frac{d}{dt} \omega_r + B_m \omega_r = T_e - T_L \quad (4)$$

where J_m is the rotor inertia, ω_r is the rotor speed, B_m is the friction factor and T_L is the load torque.

II. CONFORMABLE FRACTIONAL ORDER PI CONTROLLER

Let consider $f : [0, \infty) \in \mathbb{R}$ as a function. The conformable derivative of f of order γ can be defined as [3]

$$T_\gamma (f)(t) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{f(t + \varepsilon t^{1-\gamma}) - f(t)}{\varepsilon} \quad (5)$$

where $t > 0$, $\gamma \in (0, 1)$. T_γ is the CFO derivative operator. Let $h = \varepsilon t^{1-\gamma}$ in Equation (5) and $\varepsilon = ht^{\gamma-1}$. If $f(t)$ is a γ differentiable function, CFO derivative of $f(t)$ can be defined as follows

$$\begin{aligned} T_\gamma (f)(t) &= \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{f(t + \varepsilon t^{1-\gamma}) - f(t)}{\varepsilon} \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(t+h) - f(t)}{ht^{\gamma-1}} \\ &= t^{1-\gamma} \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(t+h) - f(t)}{h} \\ &= t^{1-\gamma} \frac{df}{dt}(t) \end{aligned} \quad (6)$$

The CFO integral of $f(t)$ can be defined as Equation (7) or (8)

$$I_\gamma (f)(t) = \int_i^t \frac{f(t)}{t^{1-\gamma}} dt \quad (7)$$

$$I_\gamma (f)(t) = \sum_{i \geq 0} \frac{f(t_i)}{t_i^{1-\gamma}} dt_i \quad (8)$$

where $i \geq 0$, $\gamma \in (0, 1)$ and I_γ is the CFO integral operator.

Integer order IOPI controller input expression is follows:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt \quad (9)$$

where $e(t)$ is the error function, k_p is the proportional control coefficient and k_i is the integral control coefficient. CFOPI controller can defined as changing of the integral operator part of the integer order PI (IOPI) controller. CFOPI controller input equation can be described as below:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i I_\gamma [e(t)] dt \quad (10)$$

where I_γ is the CFO integral operator from the Equation (7), $e(t)$ is the error function, k_p is the proportional control coefficient, k_i is the integral control coefficient and γ is the order of the conformable fractional integral.

III. OPTIMIZATION AND SIMULATIONS

In this study, Three-phase 1.1 kW, 50 Hz PMSM is used and its parameters are listed in Table 1. The proposed simulation model of the system is designed on MATLAB/Simulink program. CFOPI based PMSM speed control system block diagram is shown in Figure 1. The proposed CFOPI controller algorithm is written in a function block and it is used as speed controller in Figure 1.

Table 1. PMSM parameters

Parameter	Value
Rated Voltage (line-line)	220 V
Rated Speed	750 rpm
Stator Resistance (R_s)	2.875 Ω
Armature Inductance (L_s)	0.00153 H
Permanent magnet flux linkage (λ_f)	0.175 Wb
Pole Pairs (p)	4
Rotor Inertia (J)	0.002 kg.m ²
Friction Factor (F)	0.0008 N.m.s

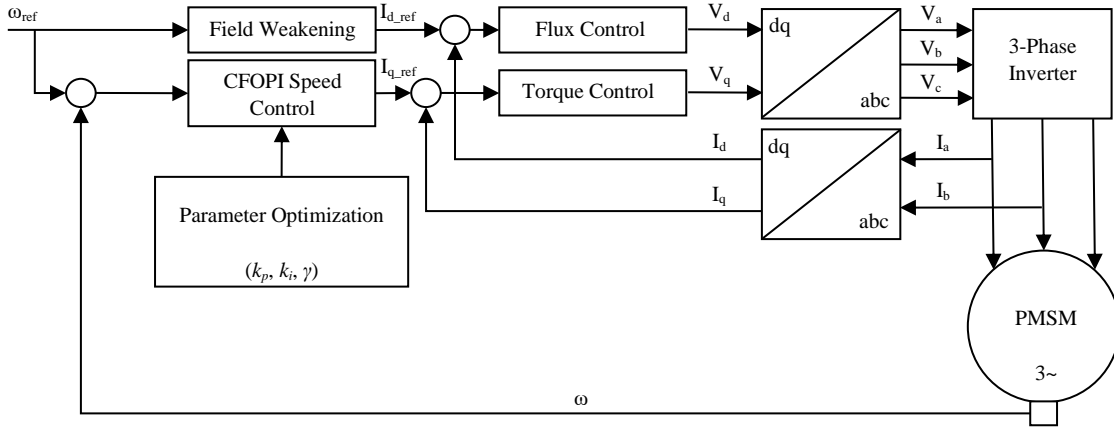


Figure 1. CFOPI based PMSM speed control system block diagram.

In Figure 1, flux and torque controllers are used in simple PI controller type and pulse width modulation (PWM) based full bridge inverter with gate driver is used in 3-phase inverter block. Flux controller parameters are $k_p= 0.1$, $k_i= 10$ and torque controller parameters are $k_p= 0.1$, $k_i= 10$. In vector control method, the rated flux and the maximum speed is limited by the stator voltages, the rated current and the back emf of the PMSM. This limited speed is called the rated speed. In order for the motor to run above this speed, the back emf must be reduced. If the I_d current is reduced to zero, the back emf decreases and thus the motor speed rises above the rated speed. This method is called as field weakening control of the motor.

In Figure 1, CFOPI speed controller parameters k_p , k_i , γ are optimized by using RSM for minimizing the steady-state error in ramps (e_{ss_r}) and constant sections (e_{ss_c}), chattering effect in error (e_{cht}) and the settling time (T_s).

RSM is a mathematical and statistical technique used in the development of a functional relationship between a response y and a number of associated input variables x_1, x_2, \dots, x_k . In general, low-degree polynomial model of RSM can be defined as [36]

$$y = f'(x)\beta + e \quad (11)$$

where $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)'$, $f(x)$ is a vector function of p elements that consists of powers and cross-products of powers of x_1, x_2, \dots, x_k up to a certain degree denoted by $d \geq 1$. β is a vector of unknown constant coefficients of p . e is a random experimental error (approximately zero). This is conditioned on the belief that the model provides an appropriate representation of the response. The quantity $f'(x)\beta$ represents the mean response, the expected value of y and is defined by $\mu(x)$. Two models are generally used in RSM. The first-order model is

$$Y_u = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_{iu} + e_u \quad (12)$$

and the second-order model can be defined as follows

$$Y_u = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_{iu} + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_{iu} X_{ju} + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_{iu}^2 + e_u \quad (13)$$

In Equation (12) and (13), Y_u is the system response; X_{iu} and X_{ju} are coded values of i^{th} and j^{th} input parameters, respectively; β_0, β_i , and β_{ij} are the regression coefficients; i and j are the linear and quadratic coefficients; e_u is the residual experimental error of u_{th} observation.

In this study, RSM tool of Minitab program is used. In this program, a simulation table is created according to selected design mode (central composite full design) and the limit values of inputs (k_p, k_i, γ for CFOPI and k_p, k_i for IOPI). 20 simulations were performed for optimization of CFOPI controller coefficients. The simulation results for CFOPI controller are given in Table 2.

Table 2. Simulation table for CFOPI controller

Simulation	k_p	k_i	γ	e_{ss_r}	e_{ss_c}	e_{cht}	T_s
1	100	0.10	0.1	0.010	0.006	0.076	0.135
2	55	1.55	0.5	0.050	0.003	0.043	0.280
3	55	1.55	0.1	0.005	0.004	0.046	0.103
4	100	3.00	0.1	0.001	0.001	0.085	0.102
5	55	0.10	0.5	0.119	0.005	0.045	2.200
6	10	3.00	0.9	0.615	0.014	0.040	2.950
7	55	1.55	0.5	0.050	0.003	0.043	0.280
8	10	3.00	0.1	0.050	0.004	0.046	0.102
9	55	1.55	0.5	0.050	0.003	0.043	0.280
10	55	1.55	0.9	0.120	0.021	0.041	12.540
11	100	0.10	0.9	0.070	0.055	0.070	0.101
12	10	1.55	0.5	0.011	0.015	0.041	0.142
13	55	3.00	0.5	0.020	0.001	0.041	0.190
14	55	1.55	0.5	0.050	0.003	0.043	0.280
15	100	1.55	0.5	0.045	0.008	0.068	0.101
16	10	0.10	0.1	0.005	0.015	0.039	0.105
17	100	3.00	0.9	0.075	0.021	0.065	4.550
18	10	0.10	0.9	0.640	0.153	0.045	40.500
19	55	1.55	0.5	0.050	0.003	0.043	0.280
20	55	1.55	0.5	0.050	0.003	0.043	0.280

According to Table 2, e_{ss_r} , e_{ss_c} , e_{cht} and T_s based mathematical model of the system is obtained from Minitab RSM tool. These are given in Equation (14), (15), (16) and (17), respectively.

$$e_{ss_r} = -0.023 + 0.00004k_p - 0.0920k_i + 0.430\gamma + 0.000011k_p^2 + 0.0306k_i^2 + 0.358\gamma^2 - 0.000046k_p * k_i - 0.00740k_p * \gamma - 0.0121k_i * \gamma \quad (14)$$

$$e_{ss_c} = 0.0296 - 0.001011k_p - 0.0149k_i + 0.0531\gamma + 0.000006k_p^2 + 0.00218k_i^2 + 0.0881\gamma^2 + 0.000213k_p * k_i - 0.000549k_p * \gamma - 0.0338k_i * \gamma \quad (15)$$

$$e_{cht} = 0.04143 - 0.000265k_p + 0.00099k_i + 0.00035\gamma + 0.000006k_p^2 + 0.000562k_i^2 + 0.01051\gamma^2 + 0.000004k_p * k_i - 0.000181k_p * \gamma - 0.005603k_i * \gamma \quad (16)$$

$$T_s = 4.04 - 0.047k_p - 4.09k_i + 5.4\gamma - 0.00026k_p^2 + 0.26k_i^2 + 35.5\gamma^2 + 0.0804k_p * k_i - 0.270k_p * \gamma - 7.13k_i * \gamma \quad (17)$$

Optimum values for k_p , k_i , γ are determined by using Minitab RSM tool to minimize the e_{ss_r} , e_{ss_c} , e_{cht} and T_s . RSM optimization plot for CFOPI controller is given in Figure 2. The optimum CFOPI controller parameters are shown in Table 3.

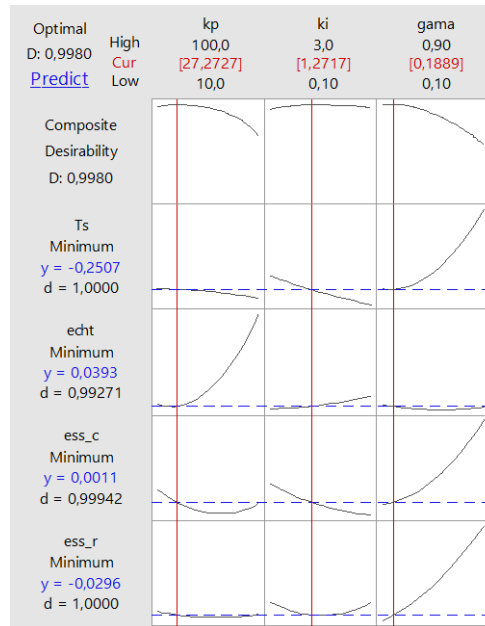


Figure 2. RSM optimization plot for CFOPI controller

Table 3. The optimum CFOPI controller parameters

Parameter	Value
k_p	27,2727
k_i	1,2717
γ	0,1889

To show the success of the proposed controller, it is compared with integer order PI (IOPI) controller which is known to all. Similar studies can be seen in reference [37] and [38] for speed tracking of PMSM. IOPI controller parameters k_p and k_i are optimized under the same conditions as the proposed controller in Minitab RSM tool. The simulation results for IOPI controller are given in Table 4.

Table 4. Simulation table for IOPI controller

Simulation	k_p	k_i	e_{ss_r}	e_{ss_c}	e_{cht}	T_s
1	55	1.55	0.130	0.049	0.030	47.70
2	55	1.55	0.130	0.049	0.030	47.70
3	100	3.00	0.070	0.037	0.075	17.25
4	55	1.55	0.130	0.049	0.030	47.70
5	55	3.00	0.120	0.017	0.044	24.35
6	55	1.55	0.130	0.049	0.030	47.70
7	55	0.10	0.135	0.067	0.048	72.15
8	10	0.10	0.642	0.129	0.042	97.50
9	100	0.10	0.073	0.052	0.057	58.20
10	100	1.55	0.071	0.039	0.078	31.30
11	55	1.55	0.130	0.049	0.030	47.70
12	10	3.00	0.633	0.006	0.037	10.50
13	10	1.55	0.630	0.007	0.041	27.20

According to Table 4, e_{ss_r} , e_{ss_c} , e_{cht} and T_s based mathematical model of the system is obtained from Minitab RSM tool. These are given in Equation (18), (19), (20) and (21).

$$e_{ss_r} = 0.81514 - 0.018447k_p - 0.00531k_i - 0.000110k_p^2 + 0.000303k_i^2 + 0.000023k_p * k_i \quad (18)$$

$$e_{ss_c} = 0.1192 - 0.000330k_p - 0.0625k_i - 0.000003k_p^2 + 0.00586k_i^2 + 0.000414k_p * k_i \quad (19)$$

$$e_{cht} = 0.05411 - 0.000809k_p - 0.01121k_i + 0.000009k_p^2 + 0.00239k_i^2 + 0.000088k_p * k_i \quad (20)$$

$$T_s = 91.14 + 0.202k_p - 42.15k_i - 0.00528k_p^2 + 3.95k_i^2 + 0.1764k_p k_i \quad (21)$$

Optimum values for k_p and k_i are determined by using Minitab RSM tool to minimize the e_{ss_r} , e_{ss_c} , e_{cht} and T_s . RSM optimization plot for IOPI controller is given in Figure 3. The optimum IOPI controller parameters are shown in Table 5.

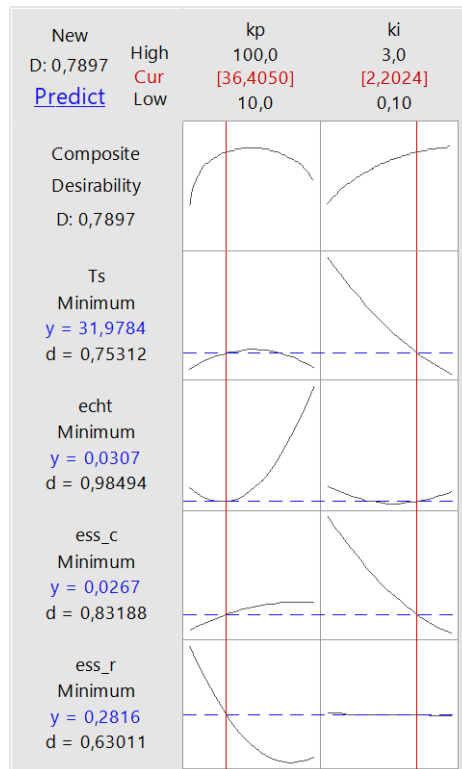


Figure 3. RSM optimization plot for IOPI controller

Table 5. The optimum IOPI controller parameters

Parameter	Value
k_p	36.405
k_i	2.2024

The speed controller models CFOPI and IOPI are tested with the optimum parameters which are given in Table 3 and Table 5.

In first test, PMSM is started with nominal load. It reaches 700 rpm reference speed at 0.1th second. Reference speed and actual speed trends are compared in Figure 4 for CFOPI controller and Figure 7 for IOPI controller. The zoomed graphs are also given in Figure 5 and Figure 8 so that the difference is clearly visible. Finally, error graphs for each controller are shown in Figure 6 and Figure 9.

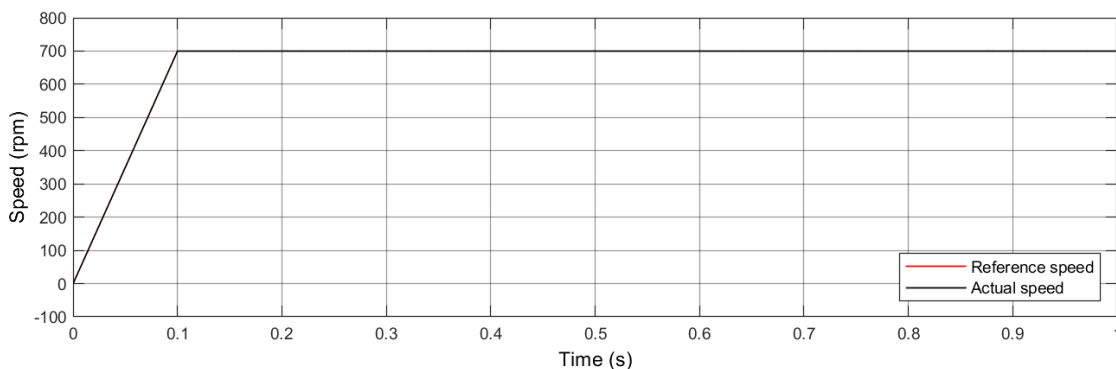


Figure 4. Comparison of the reference and the actual speeds for CFOPI controller (Test 1).

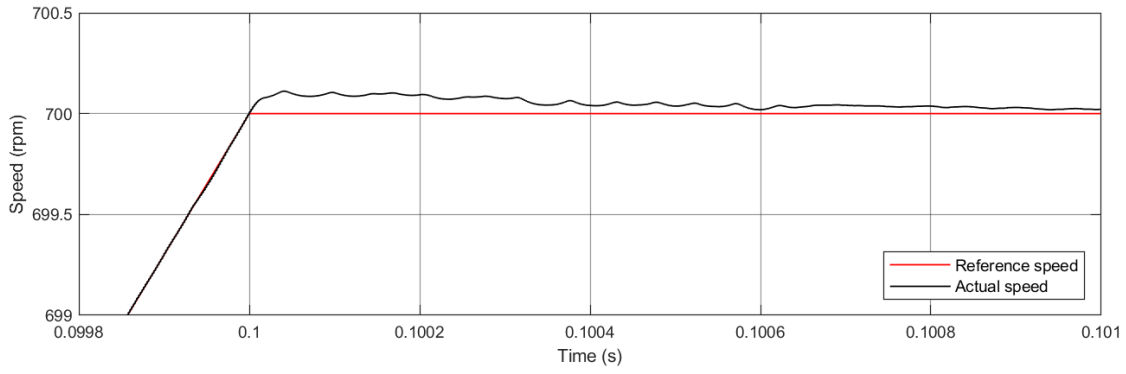


Figure 5. Comparison of the reference and the actual speeds (zoomed graph) for CFOPI controller (Test 1).

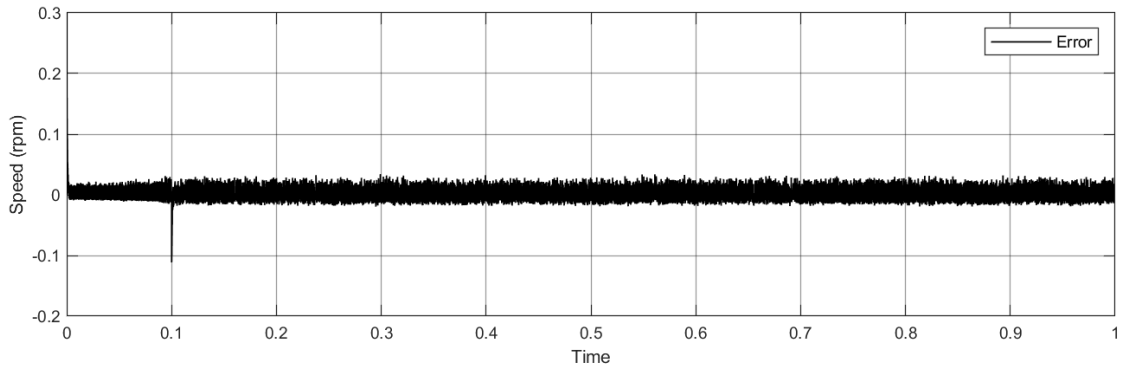


Figure 6. CFOPI controller error (Test 1).

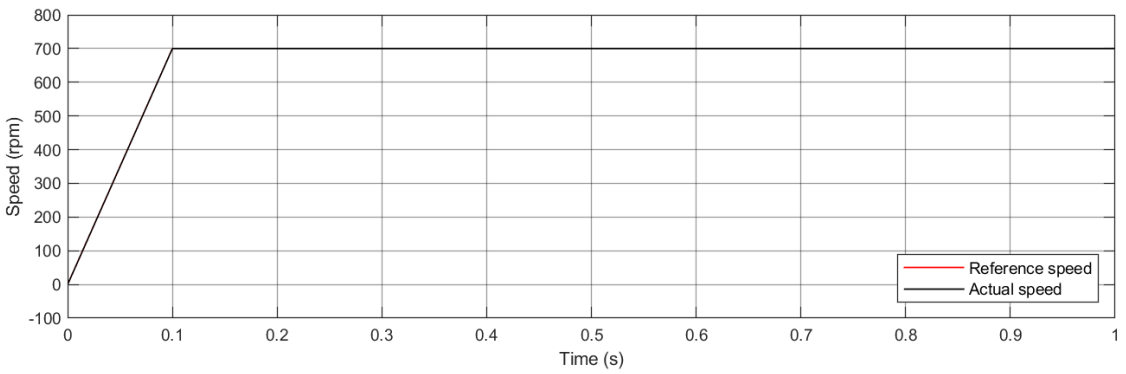


Figure 7. Comparison of the reference and the actual speeds for IOPI controller (Test 1).

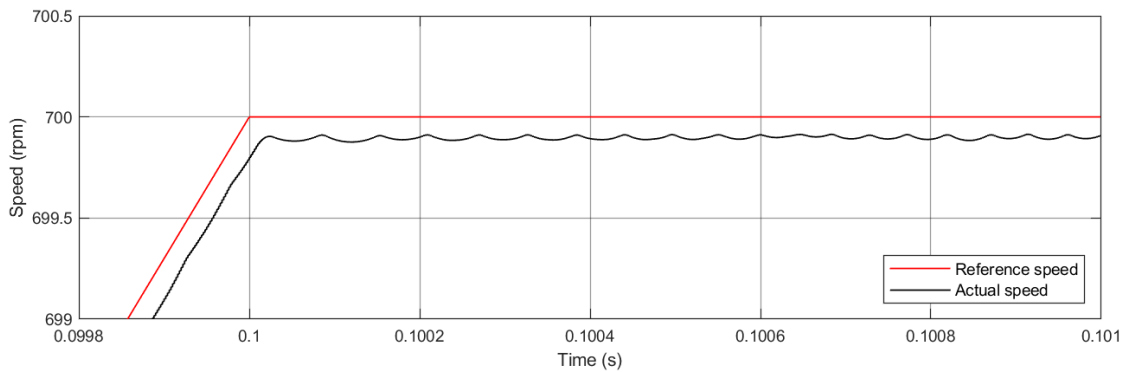


Figure 8. Comparison of the reference and the actual speeds (zoomed graph) for IOPI controller (Test 1).

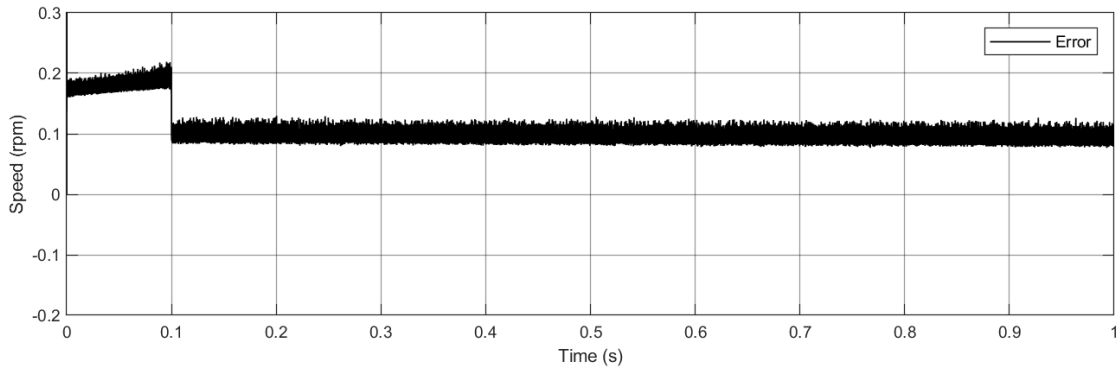


Figure 9. IOPI controller error (Test 1).

When Figure 6 is examined for CFOPI controller, the e_{ss_r} , e_{ss_c} , e_{cht} and T_s values are 0.004, 0.005, 0.039 and 0.104, respectively. The e_{ss_r} , e_{ss_c} , e_{cht} and T_s values for IOPI controller are also examined on Figure 9 and the values are obtained as 0.18, 0.016, 0.036 and 31.95, respectively.

In second test, reference speed is setting in different values while operating. This test shows the CFOPI and IOPI controllers' speed tracking performance. PMSM is started with nominal load and tracks the reference speed value. Reference speed and actual speed trends are compared in Figure 10 for CFOPI controller and Figure 12 for IOPI controller. Error graphs for each controller are shown in Figure 11 and Figure 13.

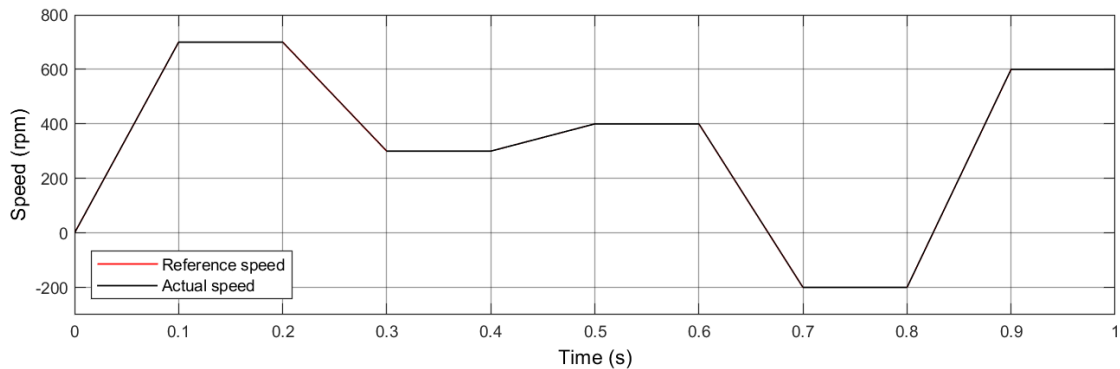


Figure 10. Comparison of the reference and the actual speeds for CFOPI controller (Test 2).

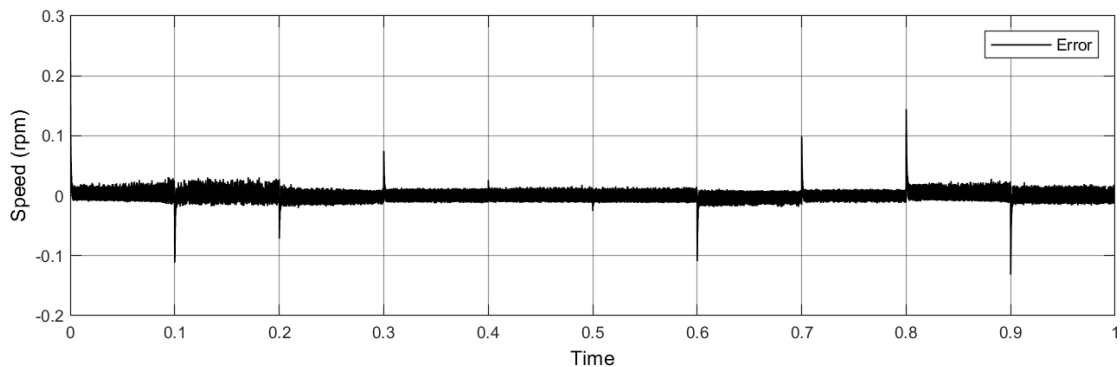


Figure 11. CFOPI controller error (Test 2).

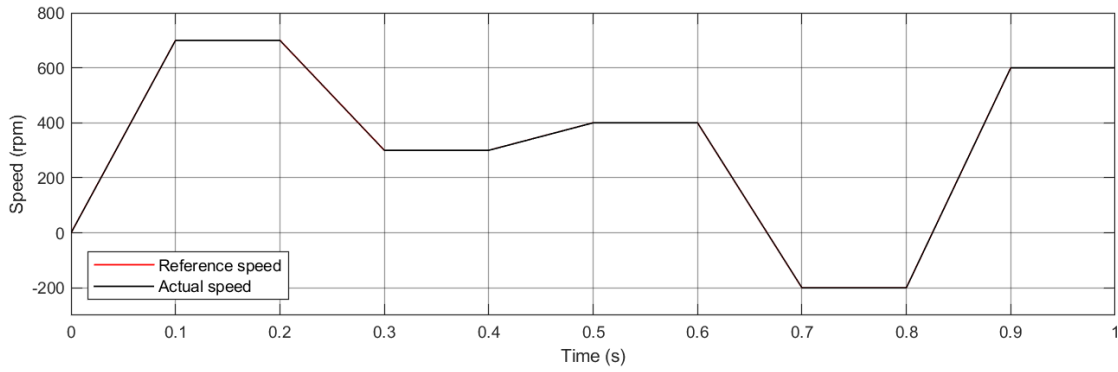


Figure 12. Comparison of the reference and the actual speeds for IOPI controller (Test 2).

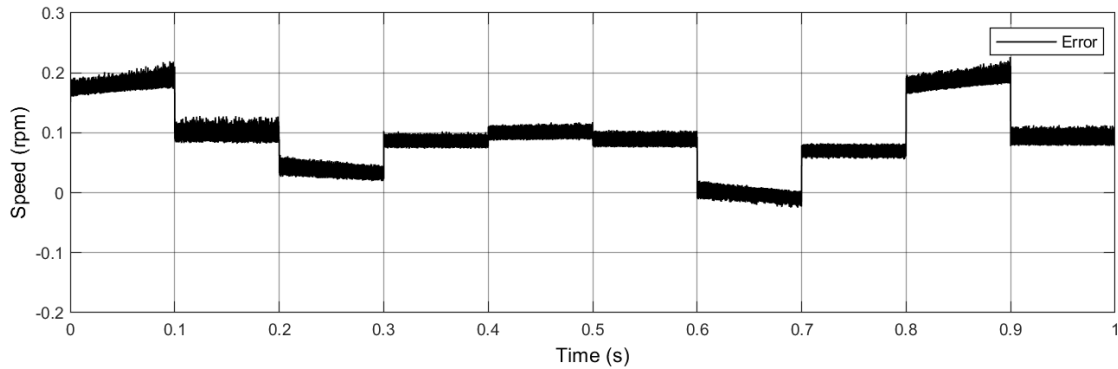


Figure 13. IOPI controller error (Test 2).

When Figure 11 and Figure 13 are examined for both controllers, it is seen that the IOPI controller error value changes depending on the reference speed value. In response to this, the CFOPI controller error is almost the same value for each sector of the speed tracking test. This shows that the proposed controller has a robust structure. The results show that the CFOPI controller has less steady-state error on ramp and constant sections. Also, it has better settling time than IOPI controller. It is observed that the IOPI controller is better only at error chattering amplitude value. When the results of references [37] and [38] and the results of the CFOPI controller are examined, it is seen that the proposed method is successful.

IV. CONCLUSION

In this study, CFOPI controller is designed for PMSM speed control system. The proposed controller is established on conformable fractional integral definition proposed by Khalil et al. in 2014. The controller coefficients k_p , k_i and γ are optimized using RSM for minimizing the e_{ss_r} , e_{ss_c} , e_{cht} and T_s values. CFOPI controller coefficients are obtained as $k_p=27.2727$, $k_i=1.2717$ and $\gamma=0.1889$. The optimum e_{ss_r} , e_{ss_c} , e_{cht} and T_s values are obtained as 0.004, 0.005, 0.039 and 0.104, respectively. The proposed controller compared with IOPI controller to validate the success. The simulations results show that the CFOPI controller has a little much bigger error chattering amplitude than IOPI controller. In response to this it has less steady-state error on ramp and constant sections, and shorter settling time. It is also shown that the proposed controller has a robust structure for variable reference speed tracking systems. As a result, the CFOPI controller can be used effectively in industrial variable speed systems because of its robust structure and simple algorithm.

V. REFERENCES

- [1] J. -I. Itoh, N. Nomura and H. Ohsawa, "A comparison between V/f control and position-sensorless vector control for the permanent magnet synchronous motor," *Proceedings of the Power Conversion Conference (Cat. No.02TH8579)*, 1310-1315,3, Osaka, Japan, 2002.
- [2] P. D. C. Perera, F. Blaabjerg, J. K. Pedersen and P. Thogersen, "A sensorless, stable V/f control method for permanent-magnet synchronous motor drives," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol 39, no 3, pp 783-791, 2003.
- [3] R. Khalil, M. Al Horani, A. Yousef and M. Sababheh, "A new definition of fractional derivative" *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol 264, pp 65-70, 2014.
- [4] F. F. El-Sousy, "Intelligent optimal recurrent wavelet Elman neural network control system for permanent-magnet synchronous motor servo drive", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol 9, no 4, pp 1986-2003, 2012.
- [5] M. Demirtas, E. Ilten and H. Calgan, "Pareto-based multi-objective optimization for fractional order PI^λ speed control of induction motor by using elman neural network", *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(3), 2165-2175, 2019.
- [6] F. Kheyrinataj and A. Nazemi, "Fractional Chebyshev functional link neural network-optimization method for solving delay fractional optimal control problems with Atangana-Baleanu derivative", *Optimal Control Applications and Methods*, 41(3), 808-832, 2020.
- [7] K. Y. Cheng and Y. Y. Tzou, "Fuzzy optimization techniques applied to the design of a digital PMSM servo drive", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 19(4), 1085-1099, 2004.
- [8] F. Hicham, D. Yousfi, A. D. Youness, E. M. Larbi and N. A. Rahim, "Sliding-mode speed control of PMSM with fuzzy-logic chattering minimization-design and implementation", *Information*, 6(3), 432-442, 2015.
- [9] V. Kumar, P. Gaur and A. P. Mittal, "Finite-state model predictive control of NPC inverter using multi-criteria fuzzy decision-making", *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 25(5), 876-897, 2015.
- [10] A. Medjghou, M. Ghanai and K. Chafaa, "Improved feedback linearization control based on PSO optimization of an extended Kalman filter", *Optimal Control Applications and Methods*, 39(6), 1871-1886, 2018.
- [11] L. Knypiński, L. Nowak and C. Jedryczka, "Optimization of the rotor geometry of the line-start permanent magnet synchronous motor by the use of particle swarm optimization", *COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, vol. 34, no. 3, pp. 882-892, 2015.
- [12] A. M. Sharaf and A. A. El-Gammal, "Multi-objective PSO/GA optimization control strategies for energy efficient PMDC motor drives", *European Transactions on Electrical Power*, 21(8), 2080-2097, 2011.
- [13] W. M. Elawady, S. M. Lebda and A. M. Sarhan, "An optimized fuzzy continuous sliding mode controller combined with an adaptive proportional-integral-derivative control for uncertain systems", *Optimal Control Applications and Methods*, 2020, <https://doi.org/10.1002/oca.2580>

- [14] W. K. Wibowo and S. K. Jeong, "Genetic algorithm tuned PI controller on PMSM simplified vector control", *Journal of Central South University*, 20(11), 3042-3048, 2013.
- [15] L. Jolly, M. A. Jabbar and L. Qinghua, "Design optimization of permanent magnet motors using response surface methodology and genetic algorithms", *IEEE Transactions on Magnetics*, 41(10), 3928-3930, 2005.
- [16] J. M. Park, S. I. Kim, J. P. Hong and J. H. Lee, "Rotor design on torque ripple reduction for a synchronous reluctance motor with concentrated winding using response surface methodology", *IEEE Transactions on Magnetics*, 42(10), 3479-3481, 2006.
- [17] S. Saha, G. D. Choi and Y. H. Cho, "Optimal rotor shape design of LSPM with efficiency and power factor improvement using response surface methodology", *IEEE Transactions on Magnetics*, 51(11), 1-4, 2015.
- [18] E. Ilten and M. Demirtas, "Off-Line tuning of fractional order PI^λ controller by using response surface method for induction motor speed control", *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, Vol. 18, pp. 20-27, 2016.
- [19] H. Calgan, E. Ilten and M. Demirtas, "Thyristor controlled reactor-based voltage and frequency regulation of a three-phase self-excited induction generator feeding unbalanced load", *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2020, e12387. <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12387>
- [20] E. Ilten and M. Demirtas, "Fractional order super-twisting sliding mode observer for sensorless control of induction motor", *COMPEL-The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering*, vol. 38, no. 2, pp. 878-892, 2019.
- [21] S. Haghghatnia and T. Shandiz, "Design of nonlinear conformable fractional-order sliding mode controller for a class of nonlinear systems", *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 30(5), 622-631, 2019.
- [22] Y. Luo, Y. Chen, H. S. Ahn and Y. Pi, "Fractional order robust control for cogging effect compensation in PMSM position servo systems: stability analysis and experiments", *Control Engineering Practice*, 18(9), 1022-1036, 2010.
- [23] K. Zong, S. Li and X. Lin, "The application of fractional-order PI control algorithm to the PMSM speed-adjusting system", *In International Conference on Intelligent Computing*, pp. 660-669, Springer, Berlin, Heidelberg, 2007.
- [24] B. Zhang, Y. Pi and Y. Luo, "Fractional order sliding-mode control based on parameters auto-tuning for velocity control of permanent magnet synchronous motor", *ISA transactions*, 51(5), 649-656, 2012.
- [25] W. Zheng and Y. Pi, "Study of the fractional order proportional integral controller for the permanent magnet synchronous motor based on the differential evolution algorithm", *ISA transactions*, 63, 387-393, 2016.
- [26] W. Qiao, X. Tang, S. Zheng, Y. Xie and B. Song, "Adaptive two-degree-of-freedom PI for speed control of permanent magnet synchronous motor based on fractional order GPC", *ISA transactions*, 64, 303-313, 2016.
- [27] A. Rajasekhar, A. Abraham and M. Pant, "A hybrid differential artificial bee colony algorithm based tuning of fractional order controller for permanent magnet synchronous motor drive", *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 5(3), 327-337, 2014.

- [28] M. Tabatabaei, "Design of a fractional order adaptive controller for velocity control of a permanent magnet synchronous motor", *COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, vol. 34 no. 4, pp. 1191-1212, 2015.
- [29] A. Karthikeyan, K. Rajagopal and D. Mathew, "Fractional order nonlinear variable speed and current regulation of a permanent magnet synchronous generator wind turbine system", *Alexandria engineering journal*, 57(1), 159-167, 2018.
- [30] A. M. Saraji and M. Ghanbari, "Fractional order PID controller for improvement of PMSM speed control in aerospace applications", *In AIP Conference Proceedings*, vol. 1637, no. 1, pp. 959-967, American Institute of Physics, 2014.
- [31] T. Abdeljawad, "On conformable fractional calculus", *Journal of computational and Applied Mathematics*, 279, 57-66, 2015.
- [32] H. Batarfi, J. Losada, J. J. Nieto and W. Shammakh, "Three-point boundary value problems for conformable fractional differential equations", *Journal of function spaces*, vol 2015.
- [33] H. Rezazadeh, H. Aminikhah and S. A. Refahi, "Stability analysis of conformable fractional systems", *Iranian Journal of Numerical Analysis and Optimization*, 7(1), 13-32, 2017.
- [34] Y. Wang, "Dynamic analysis and synchronization of conformable fractional-order chaotic systems", *The European Physical Journal Plus*, 133(11), 481, 2018.
- [35] B. K. Bose and B. K. Bose (Eds.), "Power electronics and variable frequency drives: technology and applications", vol. 996, Piscataway, NJ: IEEE press, 1997.
- [36] A. I. Khuri and S. Mukhopadhyay, "Response surface methodology" *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, vol 2, no 2, pp 128-149, 2010.
- [37] S. Li, M. Zhou and X. Yu, "Design and Implementation of Terminal Sliding Mode Control Method for PMSM Speed Regulation System," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol.9, no 4, pp 1879-1891, 2013.
- [38] Guchuan Zhu, L. -A. Dessaint, O. Akhrif and A. Kaddouri, "Speed tracking control of a permanent-magnet synchronous motor with state and load torque observer," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.47, no. 2, pp.346-355, 2000.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Düzensiz Ölçekli Sierpinski Üçgeni $SG(2,3)$ Üzerindeki İçsel Metrik

 Fatma Diğdem KOPARAL^a,  Yunus ÖZDEMİR^{a,*}

^a *Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE*

* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: yunuso@eskisehir.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.843613

ÖZET

Bu çalışmada, fraktal geometrinin en önemli nesnelere biri olan Sierpinski üçgeninin bir genellemesi olarak düşünebileceğimiz düzensiz ölçekli bir Sierpinski üçgeni olan $SG(2,3)$ üzerindeki içsel metriğin bir ifadesi kümenin noktalarının bu kümeye has kod temsilleri yardımıyla ifade edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Sierpinski üçgeni, Düzensiz ölçekli Sierpinski üçgeni, İçsel metrik, Jeodezik*

The Intrinsic Metric of the Scale Irregular Sierpinski Triangle $SG(2,3)$

ABSTRACT

In this study, we give an explicit expression of the intrinsic metric on the scale-irregular Sierpinski Triangle $SG(2,3)$, which can be considered as a generalization of the classical Sierpinski triangle, via special code representations of the points.

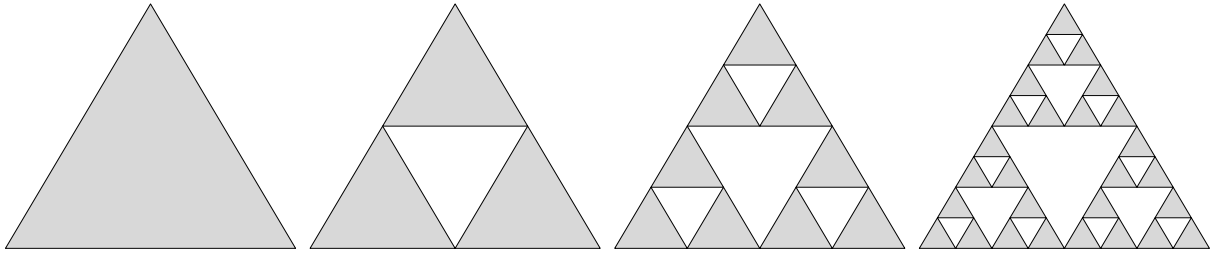
Keywords: *Sierpinski triangle, Scale irregular Sierpinski triangle, Intrinsic metric, Geodesic*

I. GİRİŞ

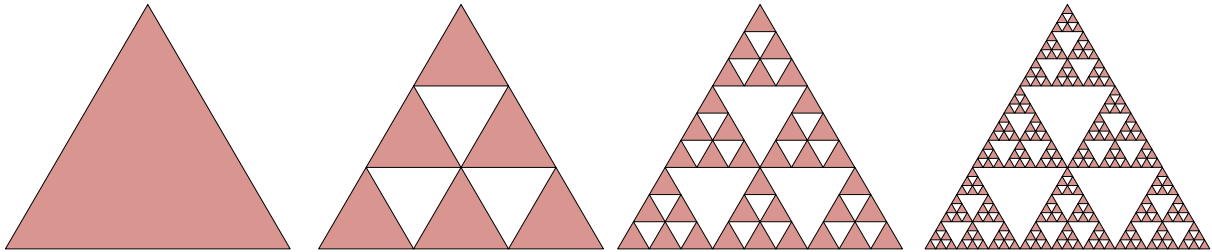
A. DÜZENLİ VE DÜZENSİZ ÖLÇEKLİ SIERPİNSKİ ÜÇGENİ AİLELERİ

Sierpinski üçgeni, fraktal geometrinin en klasik örneklerinden biri olarak literatürde yerine almış ve birçok problem için bir model haline gelmiştir. Üzerinde çok fazla çalışılan bu kendine benzer kümenin farklı genelleştirilmeleri mevcuttur. Bunlardan biri de 1980'li yıllarda [1] literatüre kazandırılmış olan, kısaca düzensiz ölçekli Sierpinski üçgeni ailesi diyebileceğimiz ailedir. Bu kümeler üzerinde çeşitli çalışmalar ilgili yıllardan itibaren yapılmaya devam etmektedir (detaylı bilgi için bkz. [2]-[4]).

Birim kenar uzunluklu eşkenar üçgen alıp, her bir kenarını $N > 1$ eşit parçaya ayıracak şekilde noktaları işaretledikten sonra bu noktalardan uzunluğu $1/N$ olan eşkenar üçgenleri oluşturalım ve bu üçgenlerden aşağıya doğru bakanları (veya en başta aldığımız üçgene göre ters duranları) atalım. Her bir küçük eşkenar üçgene aynı prosedürü uygulayıp devam edelim. Bu şekilde devam ettiğimizde (uygun bir metriğe göre limit durumunda) $SG(N)$ ile gösterdiğimiz (ve mod- N Sierpinski üçgeni olarak da bilinen) (düzenli) Sierpinski üçgenine ulaşırız ($N = 2$ ve $N = 3$ için bkz. Şekil 1 ve Şekil 2). $N = 2$ durumunda elde edilen küme bilinen klasik Sierpinski üçgenidir.

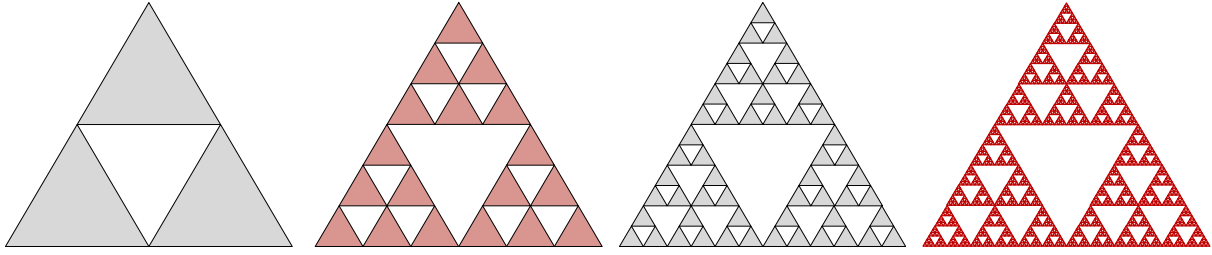


Şekil 1. $N=2$ için elde edilen $SG(2)$ kümesi klasik Sierpinski üçgenidir: ilk 3 adım



Şekil 2. $N=3$ için elde edilen $SG(3)$ kümesi: ilk 3 adım

Farklı bir genelleme olarak da düzensiz ölçekli Sierpinski üçgeni ailesini şu şekilde tanımlayabiliriz: Elemanları 1'den büyük tam sayılar olan bir a_n dizisi için, her adımda sabit bir argüman uygulamak yerine, i . adımda $SG(a_i)$ için yukarıda tanımladığımız prosedürü uygulayalım. Yani yine birim kenar uzunluklu eşkenar üçgenen başlayarak, i . adımdaki her bir alt-eşkenar üçgene bir kenarını a_i tane eşit parçaya bölerek (o eşkenar üçgen içinde $a_i \cdot (a_i + 1)/2$ adet kenar uzunluğu $1/a_i$ oranında küçülmüş eşkenar üçgenler oluşacaktır) prosedürümüzü uygulayalım. Bu şekilde elde edilen kümeye bir düzensiz ölçekli Sierpinski üçgeni denir. Örnek olarak dizimizin elemanlarını $2,3,2,3,2, 3 \dots$ şeklinde alırsak elde edilecek olan küme Şekil 3'te görünmektedir. Elbette genel tanımda dizinin elemanları bu şekilde tekrar etmek durumunda değildir (daha fazla örnek için bkz. [1]). Bu çalışmada üzerinde durulacak küme tam olarak Şekil 3'te de verilen ve $SG(2,3,2,3,2,3, \dots)$ veya kısaca $SG(2,3)$ ile göstereceğimiz küme olacaktır.

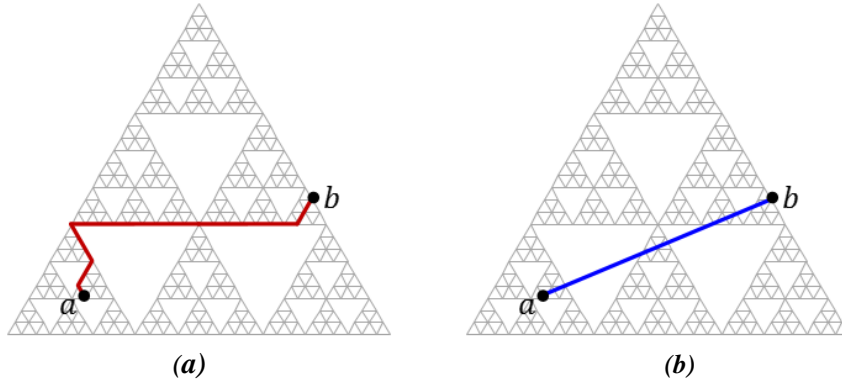


Şekil 3. 2,3,2,3,2, 3... dizisine karşılık gelen $SG(2,3)$ kümesi: ilk 4 adım

Aslında $SG(2,3)$ kümesini, içinde hem klasik Sierpinski üçgeni $SG(2)$ 'nin hem de $SG(3)$ 'ün yaşadığı bir kendine benzer küme olarak değerlendirebiliriz.

B. İÇSEL METRİK UZAYLAR

Bir metrik uzayın bir altkütmesi üzerindeki içsel metrik kısaca şu şekilde tanımlanabilir: A kümesi ve bu küme içinde farklı x, y elemanları verilsin. Bu durumda $d(x, y)$ değerini, A içinde kalarak x ile y noktalarını birleştiren ve uzunluğu sonlu olan tüm eğrilerin uzunluklarının infimumu olarak tanımlayalım. Bu şekilde tanımlanan d fonksiyonu A üzerinde bir metrik olur ve içsel (intrinsic) metrik olarak adlandırılır (detay için bkz. [5]). Şekil 4a ve Şekil 4b'de $SG(3)$ üzerindeki farklı iki nokta arasında sırasıyla içsel metriğe ve Öklid metriğine göre jeodezikler görünmektedir.



Şekil 4. a) $SG(3)$ üzerindeki içsel metriğe göre iki nokta arasında bir jeodezik, b) Düzlemdaki Öklid metriğine göre iki nokta arasındaki jeodezik

Bir küme üzerindeki içsel metrik yapı ile ilgili çok fazla çalışma literatürde mevcuttur. Bunun yanında son yıllarda giderek artan bir ilgi çekmesi ve uygulama alanı bulması itibari ile kendine benzer kümeler üzerindeki içsel metrikler ve bu metrik uzayların özellikleri de incelenmeye başlanmıştır. Bu konuda, özellikle de yukarıda bahsi geçen Sierpinski üçgeni $SG(2)$ ve $SG(3)$ üzerinde ve farklı kendine benzer kümeler üzerinde yakın zamanda yapılan çalışmalar mevcuttur [6]-[9]. Bu çalışmalarda, ilgili küme üzerindeki içsel metrik farklı bir araç kullanılarak ifade edilmiş ve bu metriğe göre küme üzerindeki jeodezikler araştırılmıştır.

Bir sonraki bölümde bu çalışmalar hızlıca özetlenecek olup, bu makalenin temel amacı olarak $SG(2,3)$ ile gösterdiğimiz kendine benzer küme üzerindeki içsel metrik, benzer araçlarla (noktaların kod temsilleri kullanılarak) fakat kümeye uygun farklı bir argümanla ifade edilecektir.

II. $SG(2)$ VE $SG(3)$ ÜZERİNDEKİ NOKTALARIN KOD TEMSİLLERİ VE İÇSEL METRİK

Bu bölümde, [6], [7] ve [8] çalışmalarında detayı bulunabilecek olan $SG(2)$ ve $SG(3)$ üzerindeki içsel metrik ifadeleri özetlenecektir.

A. SG(2) İÇİN KOD GÖSTERİMİ VE İÇSEL METRİK

Bu bölümde öncelikle itere fonksiyon sistemi ve atraktör kavramları özetlenecektir. 1981 yılında Hutchinson bu teorideki köşe taşı çalışmalardan biri olarak değerlendirebilecek olan [10] çalışmasını yayımlamış ve bu çalışmada kendine benzer kümelerin bir matematiksel modelini ortaya konmuştur:

(X, d) bir tam metrik uzay ve f_1, f_2, \dots, f_n bu metrik uzay üzerinde büzülme katsayıları r_i olan büzülme dönüşümleri olmak üzere, $\{X; f_1, f_2, \dots, f_n\}$ sistemine büzülme katsayısı $\max_{1 \leq i \leq n} r_i$ olan bir itere fonksiyon sistemi (IFS) denir. $\{X; f_1, f_2, \dots, f_n\}$ itere fonksiyon sistemi verildiğinde, X 'in boştan farklı tüm kompakt altkümelerinden oluşan ve d 'nin belirlediği h Hausdorff metriği ile tek türlü belirli olan $\mathcal{H}(X)$ tam metrik uzayı üzerinde, $F: \mathcal{H}(X) \rightarrow \mathcal{H}(X)$, $B \in \mathcal{H}(X)$ için

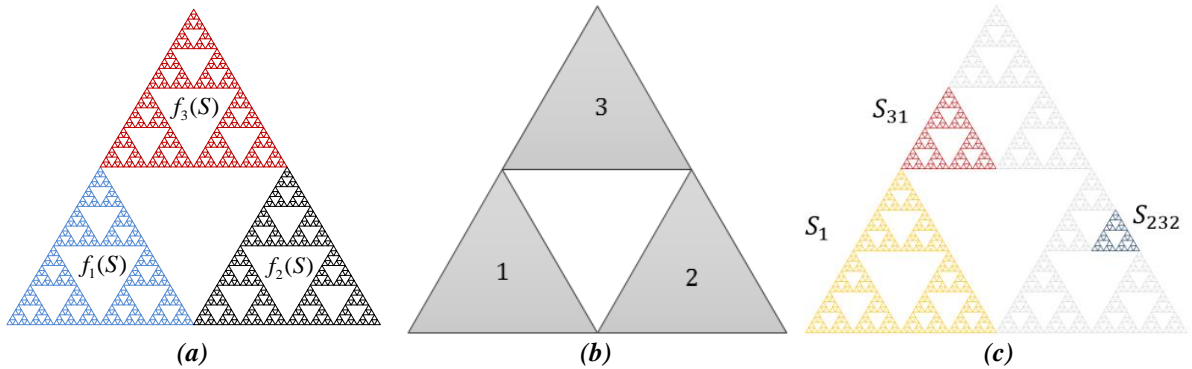
$$F(B) = \bigcup_{i=1}^n f_i(B)$$

şeklinde tanımlanan F dönüşümü bir büzülme dönüşümüdür ve sabit nokta teoreminden bu dönüşümün sabit noktası vardır ve tektir. Ayrıca, bu sabit nokta (kompakt küme) herhangi bir $B \in \mathcal{H}(X)$ için $B, F(B), \dots, F^n(B), \dots$ dizisinin Hausdorff metriğine göre limiti olarak elde edilir. İşte bu sabit noktaya verilen IFS'nin atraktörü denir (itere fonksiyon sistemleri ve kendine benzer kümeler ile ilgili detaylı bilgi için bkz. [10-14]).

$SG(2)$, yani klasik Sierpinski üçgeni de 3 adet (benzerlik dönüşümü olan) büzülme dönüşümünün belirlediği bir itere fonksiyon sisteminin atraktörü olarak ifade edilebilir. Öklid metriği ile donatılmış \mathbb{R}^2 tam metrik uzayı üzerinde büzülme katsayıları $\frac{1}{2}$ olan $f_i: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$ ($i = 1, 2, 3$)

$$f_1(x, y) = \left(\frac{x}{2}, \frac{y}{2}\right), \quad f_2(x, y) = \left(\frac{x+1}{2}, \frac{y}{2}\right), \quad f_3(x, y) = \left(\frac{x+1/2}{2}, \frac{y+\sqrt{3}/2}{2}\right)$$

dönüşümlerinden oluşan $\{\mathbb{R}^2; f_1, f_2, f_3\}$ itere fonksiyon sisteminin atraktörü Şekil 5a'da görünen Sierpinski üçgenidir (klasik Sierpinski üçgeninin ilk tanımlandığı çalışma için bkz. [15]).



Şekil 5. a) Üç benzer kopyasının bir birleşimi olan Sierpinski üçgeni $S = SG(2)$, **b)** Kümenin alt benzer kopyalarının kodları (aslında üçgeni bu alt kopyalara götüren büzülmelerin indisleri), **c)** 1. 2. ve 3. seviyeden bazı alt-üçgenlerin kodları

Üzerinde bilinen metrik ile önemli bir metrik uzay olan $\Sigma_3 = \{w = w_1 w_2 \dots w_k \dots \mid w_i \in \{1, 2, 3\}\}$ kod uzayını düşünelim. Bu uzaydan Sierpinski üçgenine (bu bölümde kısalık hatırına S ile gösteriyoruz)

$$w \rightarrow \bigcap_{k=1}^{\infty} (f_{w_1} \circ f_{w_2} \circ \dots \circ f_{w_k})(S) \quad (1)$$

şeklinde tanımlanan dönüşüm (bu dönüşümün özellikleri ve detayları için bkz. [16]), Σ_3 'ün her bir noktasını Sierpinski üçgeninin bir elemanına götürmektedir. Tersine, Sierpinski üçgeninin her bir noktasına bu kod uzayından en az bir nokta karşılık getirilmiş olur (bu eşleme bire-bir değil). Aslında Sierpinski üçgeninin (konveks zarfı olan eşkenar üçgenin köşe noktaları hariç) köşe noktaları diye adlandırılan noktalarının her birinin tam olarak iki farklı kod temsili vardır. Σ_3 'ün herhangi bir elemanı (bir kod dizisi) verildiğinde, (1) denkleminde ifade edilen dönüşüm (ve Cantor Arakesit Teoremi) yardımıyla S üzerinde olduğunu bildiğimiz bir eleman elde edilmektedir ve her bir eleman bu şekilde en az bir kod dizisi yardımıyla bulunabilmektedir.

Burada kod uzayının elemanlarının Sierpinski üçgenini veren büzölmelerin indisleri olduğuna dikkat edelim. Bir şekilde Şekil 5b'deki gibi kümenin tüm seviyelerdeki benzer kopyalarını da kodlamış oluyoruz (bkz. Şekil 5c). Örneğin sabit bir k doğal sayısı için k uzunluklu (yani k tane harften oluşan) $\sigma = w_1 w_2 \dots w_k$ kelimesi için $f_{\sigma}(S) = (f_{w_1} \circ f_{w_2} \circ \dots \circ f_{w_k})(S)$ kümesi S 'nin $1/2^k$ oranında küçültülmüş bir kopyasıdır. k . Seviyede bu kopyalardan 3^k tane bulunmaktadır. k . Seviyeden bir alt-Sierpinski üçgeni olarak adlandırdığımız bu küme $S_{\sigma} = S_{w_1 w_2 \dots w_k}$ şeklinde de gösterilmektedir. σ 'ya bir harf eklediğimizde bir önceki S_{σ} 'nin içinde yaşayan bir kademe daha küçük bir kopya elde edilir, σ 'nın uzunluğu sonsuza giderken de bu iç içe geçmiş kümelerin arakesiti aslında bize Sierpinski üçgeninin tek bir elemanını verecektir. İşte bu sonsuz uzunluklu kelimeye bu noktanın bir kod temsili diyoruz (bu temsil yukarıda da bahsedildiği üzere tek olmayabilir). Örneğin, S 'nin birinci kademede S_0 ve S_1 alt üçgenlerinin tek kesişim noktasının iki farklı kod temsili vardır: $01111 \dots = 0\bar{1}$ veya $10000 \dots = 1\bar{0}$ şeklindeki kod uzayının elemanları birer temsil olarak alınabilir. Yine Şekil 6'da verilen x, y noktaları iki farklı kod ile temsil edilebilmektedir.

Sierpinski üçgeni üzerinde verilen farklı iki nokta arasındaki bir jeodeziğin uzunluğu yani bu iki nokta arasındaki en kısa uzaklık (içsel metriğe göre), noktaların kod temsilinden bağımsız bir şekilde bu kodlar yardımı ile açıkça bir seri toplamı ile şu şekilde ifade edilebilmektedir: $a_1 a_2 \dots a_k \dots, b_1 b_2 \dots b_k \dots \in \Sigma_3$ temsilleri $a, b \in S$ farklı noktalarının birer kod temsili ve $k = \min\{i \mid a_i \neq b_i\}$ olsun. Bu durumda bu iki nokta arasındaki en kısa uzaklık yani jeodezik uzaklığı $d_{iç}(a, b)$

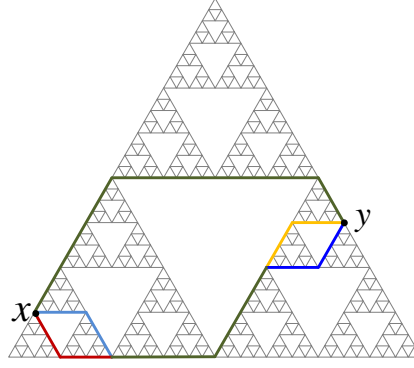
$$\alpha_i = \begin{cases} 0, & a_i = b_k \\ 1, & \text{d. d.} \end{cases}, \quad \beta_i = \begin{cases} 0, & b_i = a_k \\ 1, & \text{d. d.} \end{cases}, \quad \gamma_i = \begin{cases} 0, & a_k \neq a_i \neq b_k \\ 1, & \text{d. d.} \end{cases}, \quad \delta_i = \begin{cases} 0, & a_k \neq b_i \neq b_k \\ 1, & \text{d. d.} \end{cases}$$

olmak üzere

$$d_{iç}(a, b) = \min \left\{ \sum_{i=k+1}^{\infty} \frac{\alpha_i + \beta_i}{2^i}, \frac{1}{2^k} + \sum_{i=k+1}^{\infty} \frac{\gamma_i + \delta_i}{2^i} \right\}$$

şeklinde (6). Burada k . seviyeden bir alt-üçgenin çapı (aslında bu benzer küçük kopyanın konveks zarfı olan eşkenar üçgenin bir kenarının uzunluğunun) $\frac{1}{2^k}$ şeklindedir. [6] ve [7] çalışmalarında detayları bulunabilecek olan bu açık ifade yardımı ile bu küme üzerindeki farklı iki nokta arasında en fazla 5 farklı jeodezik olduğu da kanıtlanmıştır. [17] çalışmasında da yazarlar, yüksek boyutlu Sierpinski üçgeninde içsel metriğin ifadesini ortaya koyup, yüksek boyutlarda iki farklı nokta arasında en fazla 8 (hatta 1,2,3,4,5,6 veya 8) jeodezik olduğunu göstermiştir.

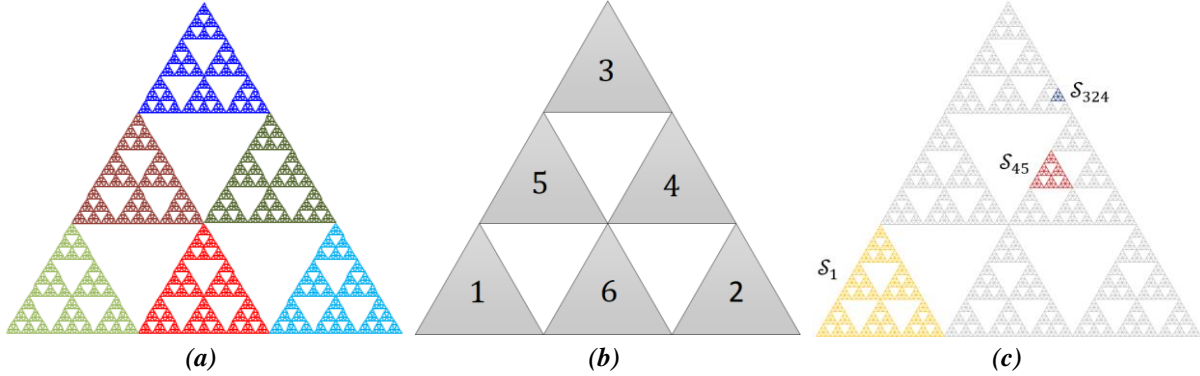
Şekil 6'da kod temsili 111333... (veya kısaca 111 $\bar{3}$) ve 2323333... (veya kısaca 232 $\bar{3}$) olan iki nokta arasındaki 5 jeodezik gösterilmiştir.



Şekil 6. Kod temsili sırasıyla 1113̄ ya da 1131̄ olan x noktası ile kod temsili 2323̄ veya 2332̄ olan y noktası arasındaki 5 farklı jeodezik

B. SG(3) ÜZERİNDEKİ İÇSEL METRİK

Tam 6 adet benzerlik dönüşümünün belirlediği $\{\mathbb{R}^2; g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6\}$ şeklindeki bir itere fonksiyon sisteminin atraktörü olarak yazabileceğimiz $SG(3)$ (bkz. Şekil 7a) üzerindeki içsel metrik noktaların kod temsilleri yardımı ile [8] çalışmasında açıkça ifade edilmiştir. İlgili çalışmada bu küme üzerindeki içsel metriğin daha rahat ifade edilebilmesi için uygun (daha doğrusu kümeye has) bir kodlama (1/3 benzerlik oranına sahip 6 fonksiyon uygun bir şekilde indisenerek) kullanılmış olup (Şekil 7b-Şekil 7c), bu küme üzerindeki farklı iki nokta arasında, $SG(2)$ durumundaki sonlu jeodezik sayısı durumunun aksine, sonsuz farklı jeodezik olabileceği gösterilmiştir. İçsel metriğin detaylı ifadesi, kodlamanın ayrıntıları ve jeodeziklerin tipleri ile ilgili ayrıntılı bilgi için bkz. [8].



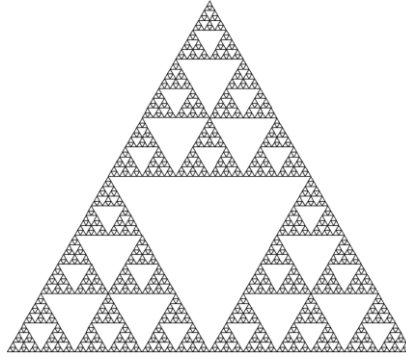
Şekil 7. a) Kendi 6 küçük benzer kopyasının bir birleşimi olan düzenli Sierpinski üçgeni $S = SG(3)$, b) Kümenin alt benzer kopyalarının kodları (aslında üçgeni bu alt kopyalara götüren büzülmelerin indisleri), c) 1. 2. ve 3. seviyeden bazı alt-üçgenlerin kodları

III. SG(2, 3) ÜZERİNDEKİ İÇSEL METRİK

A. SG(2, 3) İÇİN KOD GÖSTERİMİ VE İÇSEL METRİK

$SG(2)$ ve $SG(3)$ 'ün aksine $SG(2,3)$ ile gösterdiğimiz düzensiz ölçekli Sierpinski üçgeni üzerindeki jeodeziklerin davranışı ve kümenin kendine benzerlik yapısı biraz daha farklıdır. Aslında bu kümeyi 18 adet 1/6 benzerlik katsayısına sahip büzülme dönüşümlerinin belirlediği bir itere fonksiyon sisteminin atraktörü olarak yazmak ve önceki durumlarda olduğu gibi standart bir kodlama ile uzun uzun bütün alternatifleri düşünerek içsel metriği ifade etmeye çalışmak ilk akla gelen düşünce olabilir. Fakat bu uygulamada çok mümkün görünmemektedir, ayrıca kümenin inşasında kullandığımız kendine benzer 2 yapının varlığını dikkate almamak da gereksiz yere ifadeyi uzatmak anlamına gelecektir. Bunun yerine

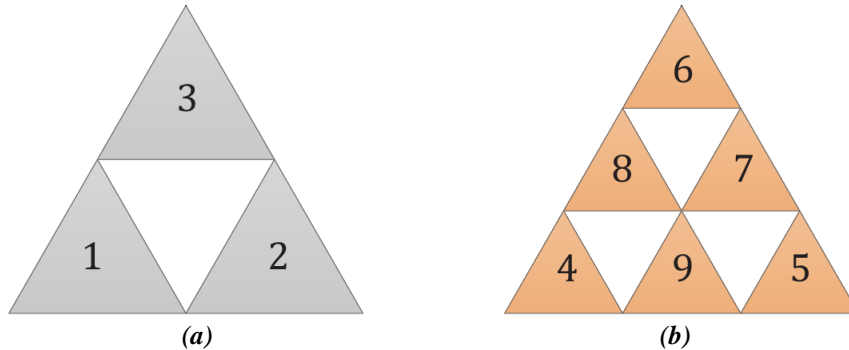
bu çalışmada, Şekil 8’de görülen $SG(2,3)$ üzerindeki içsel metriği ifade etmek için bu duruma has bir kodlama ile bu kümenin noktalarının kod temsilinden yararlanılacaktır.



Şekil 8. Düzensiz ölçekli bir Sierpinski üçgeni $SG(2,3)$

A. 1. $SG(2, 3)$ 'ün Noktaları İçin Kod Gösterimi

Öncelikle $SG(2,3)$ 'ün yapısında yer bulan hem $SG(2)$ hem de $SG(3)$ için birinci seviyedeki alt üçgenlerini Şekil 9a ve Şekil 9b'deki gibi kodlayalım. Yani bir manada $SG(2)$ ve $SG(3)$ kompakt kümelerini sırasıyla büzülme katsayısı $1/2$ olan $\{\mathbb{R}^2; f_1, f_2, f_3\}$ ve büzülme katsayısı $1/3$ olan $\{\mathbb{R}^2; f_4, f_5, f_6, f_7, f_8, f_9\}$ itere fonksiyon sistemlerinin atraktörleri olarak düşünelim. Bu bölüm boyunca yine kısalık hatırına $SG(2,3)$ yerine K sembolü kullanılacaktır.



Şekil 9. a) $SG(2)$ için bir kod seçimi, b) $SG(3)$ için bir kod seçimi

$\Sigma_9 = \{w = w_0w_1 \dots w_k \dots \mid w_i \in \{1,2, \dots,9\}\}$ kod uzayı verilsin. Bu özel durumda noktaları kodlamak için bu kod uzayı ile değil onun bir alt kümesi ile çalışacağız. Σ_9 kümesindeki tek indisli elemanları $\{1,2,3\}$ kümesinden ve çift indisli elemanları da $\{4,5, \dots,9\}$ kümesinden olan tüm elemanları düşünelim ve bu kümeye A_9 diyelim;

$$A_9 = \{\omega_0\omega_1 \dots \omega_k \dots \in \Sigma_9 \mid i \text{ çift ise } \omega_i \in \{1,2,3\}, i \text{ tek ise } \omega_i \in \{4,5, \dots,9\}\}.$$

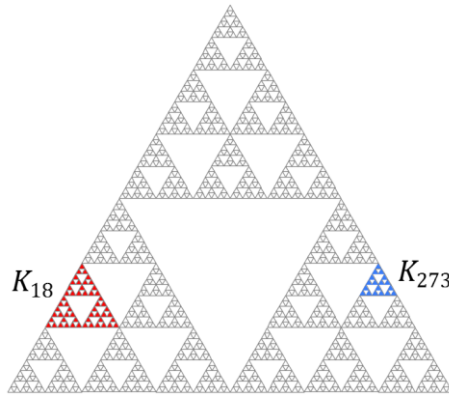
Yine denklem (1)'de verilen dönüşüme benzer olarak A_9 üzerinde tanımlı

$$w \rightarrow \bigcap_{k=1}^{\infty} (f_{w_0} \circ f_{w_1} \circ \dots \circ f_{w_k})(K) \quad (2)$$

dönüşümü A_9 'un her bir noktasını K 'nın bir elemanına götürmektedir. Tersine, K 'nın her bir noktasına bu kod uzayından en az bir nokta karşılık getirilmiş olur (bu eşleme de bire-bir değildir). Bu kod dizisine ya da bu sonsuz uzunluklu kelimeye yine bu noktanın bir kod temsili diyoruz. (Klasik Sierpinski

üçgeninin aksine burada bir noktanın 1 veya 2 değil, 3 tane farklı kod temsili de (aynen $SG(3)$ 'de olduğu gibi) söz konusu olabilir.)

K kümesinin yapısından dolayı, içindeki herhangi bir noktaya ulaşmak için sırasıyla önce $\{\mathbb{R}^2; f_1, f_2, f_3\}$ sisteminden bir fonksiyon sonra da $\{\mathbb{R}^2; f_4, f_5, f_6, f_7, f_8, f_9\}$ sisteminden bir fonksiyon uygulanmakta ve iterasyon tam olarak bu sırada devam etmektedir. Kodlamanın bu şekilde seçilmesi, hem daha önce $SG(2)$ ve $SG(3)$ için elde edilmiş sonuçların kullanılabilmesi hem de 18 fonksiyon yerine 9 fonksiyonun yeterli olması açısından avantajlıdır. Yine $SG(2)$ durumunda olduğu gibi, k .seviyeden alt-üçgenler (k .adımdaki K 'nın bir kopyası için k .seviyeden alt-üçgen terimi kullanılacaktır) de benzer şekilde tanımlanabilir. Bir $w_0w_1 \dots w_k$ sonlu kelimesi için $K_{w_0w_1 \dots w_k} := (f_{w_0} \circ f_{w_1} \circ \dots \circ f_{w_k})(K)$ kümesine $(k + 1)$. seviyeden alt-üçgen diyeceğiz. 2. ve 3. seviyeden alt-üçgenlere (K_{18} ve K_{273}) örnekler Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. $K=SG(2,3)$ içinde, 2. seviyede (K_{18}) ve 3. seviyede (K_{273}) iki alt-üçgen

A. 2. $SG(2, 3)$ Üzerindeki İçsel Metriğin İfade Edilmesi

$K = SG(2,3)$ 'ten aldığımız iki noktanın kod gösterimine (temsiline) bakarak, bu noktaların hangi adımda, yani kaçınıcı seviyeden bir alt-üçgenden sonra ayrıştıklarını görebiliriz. $a_0a_1a_2 \dots a_k \dots$ ve $b_0b_1b_2 \dots b_k \dots$ kod uzayının elemanları farklı $a, b \in K$ noktalarının birer kod temsili olsunlar. Bu iki nokta birbirinden farklı ise uygun bir i değerinde $a_i \neq b_i$ olacaktır, $k = \min\{i \mid a_i \neq b_i\}$ olsun (a ve b noktaları birbirinden farklı olduğundan $\{i \mid a_i \neq b_i\}$ sayı kümesi boş kümeden farklıdır ve $k > 0$ 'dır). Bu durumda $\sigma = a_0a_1 \dots a_{k-1}$ olmak üzere, $a, b \in K_\sigma$ ve $a \in K_{\sigma a_k}$, $b \in K_{\sigma b_k}$ olacaktır. Yani $(k - 1)$. adımda aynı K_σ alt-üçgeninin elemanı olan bu noktalar, k . adımda farklı k .seviyeden alt-üçgenin içinde yaşamaktadırlar. k sayısının tek veya çift olması son derece önemlidir. k 'nın tek olması durumunda bu iki noktanın içinde buldukları alt-üçgende, bir seviye aşağıdaki alt-üçgenlerin birbiriyle bağlantısı tam olarak $SG(2)$ 'deki gibi, k 'nın çift olması durumunda ise $SG(3)$ 'teki gibi olacaktır.

Genel duruma hâkim olmak için, Teorem 3.1.'de de görüleceği üzere $k = 0$ ve $k = 1$ durumlarının incelenmesi yeterli olacaktır. Bir $x \in \{4,5, \dots, 9\}$ sayısının eşleniğini yani \tilde{x} sayısını $\tilde{4} = 7, \tilde{5} = 8, \tilde{6} = 9$ ve $\tilde{x} = x$ olacak şekilde tanımlayalım. Bu gösterim, 2. seviyedeki bir alt-üçgenin karşısındaki alt-üçgeni adreslemek için kullanılacaktır.

Bir $t \in \{1,2,3\}$ için V_t^j , t sayısına karşılık K_j ($j = 1,2,3$) alt-üçgeninin (yani 1. seviyedeki $f_j(K)$ kopyasının) şu şekildeki köşe noktasını belirtsin: K_j alt-üçgeninin (konveks zarfı olan eşkenar üçgenin); V_1^j sol alt köşesi, V_2^j sağ alt köşesi ve V_3^j de diğer köşesi olsun.

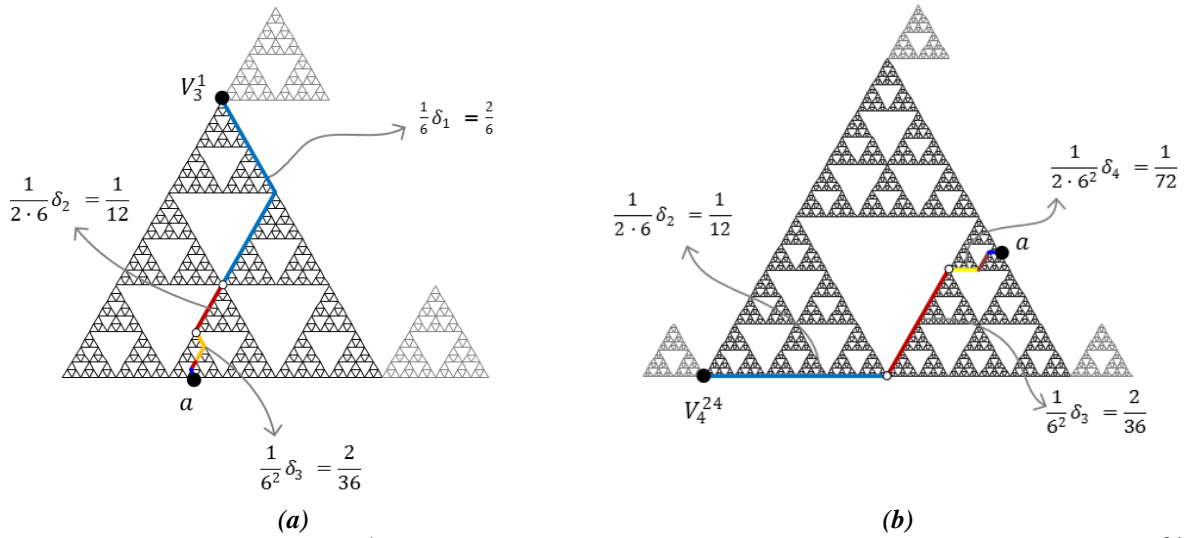
$a_0a_1a_2 \dots a_k \dots$ kodunun belirlediği bir a noktasının 1. seviyede ve içinde bulunduğu alt-üçgenin bir köşesi olan $V_t^j = V_t^{a_0}$ 'a olan (içsel metriğe göre) uzaklığı, $i > 0$ için

$$\delta_{2i-1} := \begin{cases} 0, & a_{2i-1} = t + 3 \\ 1, & a_{2i-1} \neq \widetilde{t + 3} \text{ ve } a_{2i-1} > 6 \\ 2, & \text{d. d.} \end{cases} \quad \text{ve} \quad \delta_{2i} := \begin{cases} 0, & a_{2i} = t \\ 1, & a_{2i} \neq t \end{cases}$$

olmak üzere

$$d(a, V_t^{a_0}) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\delta_{2i-1}}{6^i} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\delta_{2i}}{6^i} = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\delta_{2i-1} + 2^{-1} \delta_{2i}}{6^i}$$

şeklinde ifade edilebilir (örnek için bkz. Şekil 11 a). a noktasının kendisinin K_{a_0} alt-üçgeninin bir köşesi olması durumunda, bu nokta aynı zamanda başka bir 1. seviyeden alt-üçgenin de köşe noktası olabilir. Fakat bu seçimin hesabın sonucunu değiştirmeyeceği kolaylıkla görülebilir.



Şekil 11. a) $a \in K_1$ noktasının V_3^1 köşe noktasına uzaklığını veren doğru parçaları b) $a \in K_{24}$ noktasının V_4^{24} köşe noktasına uzaklığını veren doğru parçaları

Noktanın 1. seviyedeki V_t^j köşe noktasına uzaklığını hesaplarken,

$$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{\delta_{2i-1}}{6^i}$$

değeri, kod temsilindeki “tek” indisli terimlerden gelen doğru parçalarının uzunlukları toplamını,

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\delta_{2i}}{6^i}$$

değeri ise “çift” indisli terimlerden gelen toplamı göstermektedir. (k . seviyeden alt-üçgenlerin (konveks zarfı olan eşkenar üçgenlerin) bir kenar uzunluğu $k = 2i - 1$ şeklinde tek sayı ise $\frac{1}{2^i 3^{i-1}} = \frac{3}{6^i}$, $k = 2i$ şeklinde çift ise $\frac{1}{6^i}$ şeklindedir.)

1. seviyedeki duruma benzer şekilde, $j \in \{1,2,3\}$, $k \in \{4,5, \dots, 9\}$ için 2. seviyedeki bir K_{jk} alt-üçgeninin; V_4^{jk} sol alt köşesi, V_5^{jk} sağ alt köşesi ve V_6^{jk} da diğer köşesi olsun. a noktasının ikinci seviyede içinde bulunduğu K_{jk} alt-üçgeninin bir köşesi olan V_s^{jk} , ya ($s \in \{4,5,6\}$) olan uzaklığı ise,

$$d(a, V_s^{jk}) = d(a, V_{s-3}^j) - \frac{1}{6}\delta_1 = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\delta_{2i+1} + 2^{-1}\delta_{2i}}{6^i}$$

şeklinde bulunabilir (örnek için bkz. Şekil 11b). (Daha anlaşılır ve uyumlu olması adına, 1. seviyedeki alt-üçgenlerin köşeleri için 1,2,3 sayıları kodlama kullanırken, 2. seviyedeki alt-üçgenlerin üç köşesi için 4, 5, 6 sayıları kodlama için kullanılmaktadır.) Burada noktalar 2. seviyedeki alt-üçgenlerde ayrıştıkları için 1. terimden yani a_1 'den toplam uzunluğa bir katkı gelmeyecektir.

Noktanın kodundaki a_k terimine bağlı olarak o noktanın içinde bulunduğu (1. veya 2. seviye) alt-üçgenin köşe noktasına uzaklığında bu terimden gelecek olan katkı ilgili uzunluk değerinin 0, 1 veya 2 katı olabilir. Noktanın içinde bulunduğu (1. veya 2. seviye) alt-üçgenin bir köşe noktasına olan uzaklığı, tüm terimlerden gelen bu katılar toplanarak belirlenmektedir.

■ Öncelikle $a_0 \neq b_0$ durumunu inceleyelim, yani $k = 0$ olsun (bu durumdaki hesabın benzeri $SG(2)$ için [6] çalışmasında yapılmıştır). Daha açık olarak ilk adımda bu noktalar farklı kopyalarda olsun, varsayalım $a \in K_1, b \in K_2$ olsun, yani $a_0 = 1, b_0 = 2$ olsun

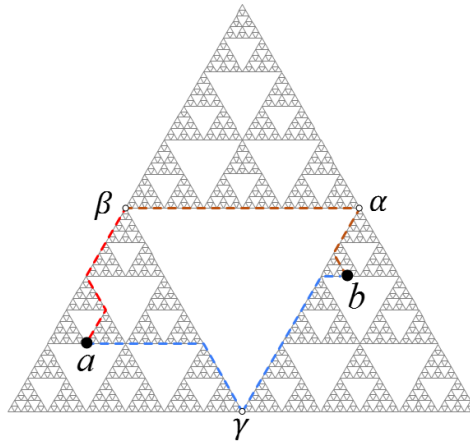
Bu durumda a ve b noktaları arasındaki en kısa uzaklığı yani jeodezik uzunluğu α, β, γ (kesişme veya köşe) noktaları sırasıyla $K_2 \cap K_3, K_1 \cap K_3$ ve $K_1 \cap K_2$ arakesit kümelerinin yani 1. seviyeden alt-üçgenlerin kesişim noktası olmak üzere açıktır ki (Şekil 12)

$$d_1(a, b) = \min \left\{ d(a, \gamma) + d(b, \gamma), d(a, \beta) + d(b, \alpha) + \frac{1}{2} \right\}$$

şeklinde ya da başka bir ifade ile

$$d_1(a, b) = \min \left\{ d(a, V_2^1) + d(b, V_1^2), d(a, V_3^1) + d(b, V_3^2) + \frac{1}{2} \right\} \quad (3)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada 1. seviyedeki bir alt-üçgenin (aslında bu alt-üçgenin konveks zarfı olan eşkenar üçgenin) bir kenar uzunluğunun $1/2$ olduğuna dikkat edelim. α noktasının kod temsilleri $26\overline{36}$ ve $35\overline{25}$, β noktasının $16\overline{36}$ ve $34\overline{14}$, γ noktasının ise $15\overline{25}$ ve da $24\overline{14}$ şeklindedir.



Şekil 12. 1. seviyede farklı alt-üçgenlerde olan iki nokta arasındaki olası jeodezikler

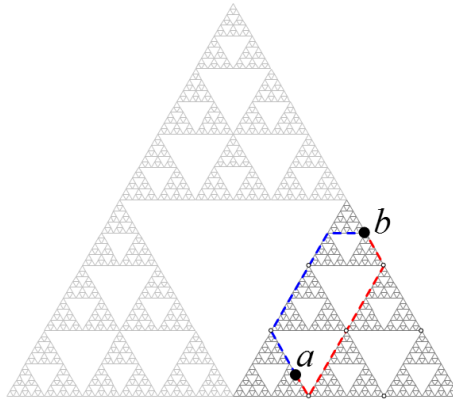
Bu tespitlerden sonra, $k = 0$ durumunda, $a_0 = 1, b_0 = 2$ varsayımımızı kaldırırsak, birbirinden farklı olan a_0 ve b_0 değerlerine bağlı olarak a ve b noktaları arasındaki jeodezik uzaklığı olan $d_1(a, b)$, (3)

denklemden hareketle, $c_0 = 6 - a_0 - b_0$ olmak üzere

$$d_1(a, b) = \min \left\{ \frac{1}{2} + d(a, V_{c_0}^{a_0}) + d(b, V_{c_0}^{b_0}), d(a, V_{b_0}^{a_0}) + d(b, V_{a_0}^{b_0}) \right\} \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir.

■ Şimdi de $k = 1$ durumunu inceleyelim: $a_0 = b_0, a_1 \neq b_1$ (metriğin simetrisinden dolayı $a_1 < b_1$ olduğunu kabul edelim). Yani ikinci adımda bu noktalar farklı kopyalarda olsun (örnek olarak, bkz. Şekil 13). Bu aşamada önemli olan nokta yine, her bir noktanın uygun bir $s \in \{4,5,6\}$ için V_s^{jk} köşe noktalarına uzaklığının hesaplanmasıdır.



Şekil 13. 2.seviyede farklı alt-üçgenlerde (K_{24} ve K_{26}) olan iki nokta arasındaki olası jeodezikler

Bu durumda a ve b noktaları arasındaki en kısa uzaklığı yani jeodezik uzunluğu $d_2(a, b)$, $c_1 = 15 - a_1 - b_1, e_1 = 15 - \tilde{a}_1 - \tilde{b}_1$ ve a'_1, a''_1 sayıları da $a'_1 < a''_1, a_1 + a'_1 + a''_1 = 15$ koşullarını sağlayan sayılar olmak üzere

$$d_2(a, b) = \begin{cases} \frac{1}{6} + \min \left\{ d(a, V_{b_1}^{a_0 a_1}) + d(b, V_{a_1}^{b_0 b_1}), \frac{1}{6} + d(a, V_{c_1}^{a_0 a_1}) + d(b, V_{c_1}^{b_0 b_1}) \right\} & , a_1, b_1 \in \{4,5,6\} \\ \min \left\{ d(a, V_{\tilde{a}_1}^{a_0 a_1}) + d(b, V_{\tilde{b}_1}^{b_0 b_1}), \frac{1}{6} + d(a, V_{e_1}^{a_0 a_1}) + d(b, V_{e_1}^{b_0 b_1}) \right\} & , a_1, b_1 \in \{7,8,9\} \\ \frac{1}{6} + d(b, V_{a_1}^{b_0 b_1}) + \min \left\{ d(a, V_{a'_1}^{a_0 a_1}) + d(a, V_{a''_1}^{a_0 a_1}) \right\} & , a_1 = \tilde{b}_1 \\ \min \left\{ d(a, V_{3+c_1}^{a_0 a_1}) + d(b, V_{a_1}^{b_0 b_1}), \frac{1}{6} + d(a, V_{\tilde{b}_1}^{a_0 a_1}) + d(b, V_{\tilde{b}_1}^{b_0 b_1}) \right\} & , \text{d. d.} \end{cases} \quad (5)$$

şeklinde hesaplanabilir. (5) denklemini doğrulamak için, [8] çalışmasında $SG(3)$ durumunda detaylıca özetlendiği üzere, a_1 ve b_1 'in tüm olasılıkların kontrol edilmesi yeterli olacaktır. Bu standart kontrol işlemi okuyucuya bırakılmıştır.

Gelinen noktada, a ve b noktalarının 1. veya 2. seviyede birbirlerinden ayrılması durumunda aralarındaki içsel metrik ifadesi ya da jeodezik uzaklık (4) ve (5) denklemleri ile elde edilebilir.

k sayısının 0 ve 1'den farklı olması durumunda, kümenin kendine benzerliğinden yararlanarak hemen bir genelleme yapmak mümkündür. Bu kümenin aslında 18 tane $1/6$ 'lık benzerlik dönüşümlerinden oluştuğu daha önce de söylenmişti. Bu durumda, söz gelimi 3. seviyede ayrılan noktalar arasındaki uzaklığı hesaplamak için, 3. seviyedeki ilgili alt-üçgende hesap yapmak yerine, noktaların kod

temsilinde ilk iki terimi atarak elde edilen noktaların (ki bu noktalar artık 1. terimde fark eden yani daha 1. seviyede ayrılan noktalar olacaktır) uzaklığı hesaplanarak $1/6$ ile çarpılır.

Sonuç olarak genel durum şu şekilde ifade edilebilir:

Teorem 3.1. $a, b \in K$ noktaları verilsin. $a_0a_1a_2 \dots a_k \dots$ ve $b_0b_1b_2 \dots b_k \dots$ sırasıyla bu noktaların kod temsilleri ve $k = \min\{i \mid a_i \neq b_i\}$ ve $a_k < b_k$ olsun. Bu durumda bu farklı iki nokta arasındaki (içsel metriğe göre) uzaklık $d_{iç}(a, b)$, $a_ka_{k+1} \dots a_n \dots$, $b_kb_{k+1} \dots b_n \dots \in A_9$ elemanlarının belirlediği noktalar \bar{a} ve \bar{b} olmak üzere

$$d_{iç}(a, b) = \begin{cases} \frac{1}{6^{\frac{k}{2}}} d_1(\bar{a}, \bar{b}) & , \quad k \text{ çift} \\ \frac{1}{6^{\frac{k-1}{2}}} d_2(\bar{a}, \bar{b}) & , \quad k \text{ tek} \end{cases} \quad (6)$$

şeklinde bulunur ($a_k > b_k$ ise $d_{iç}(b, a)$ için (6) eşitliği ve metriğin simetrik olması kullanılarak $d_{iç}(a, b)$ bulunur).

Teorem 3.1.'de açık ifadesi yazılan d fonksiyonu ile ilgili kümenin (K) bir içsel (hatta kesin içsel) metrik uzay olduğu metriğin inşasından açıktır. Bu noktada içsel metrik için verilen ifadenin, noktaların kod temsili seçiminden bağımsız olduğu da yine dikkatli okuyucular tarafından rahatlıkla doğrulanabilir.

(6) denklemleri ile verilen bu ifade yardımı ile bu kümenin, içsel metriğe göre bazı özellikleri incelenebilir.

B. SG(2,3) ÜZERİNDEKİ JEODEZİKLER

Klasik Sierpinski üçgeni $SG(2)$ ve mod-3 Sierpinski üçgeni $SG(3)$ kümeleri üzerinde ne tür jeodeziklerin orataya çıktığı bir önceki ana bölümde belirtilmişti (bkz. [6], [8]). $SG(2,3)$ durumunda da, hem $SG(2)$ hem de $SG(3)$ kendine benzer kümelerindeki davranış kısmen yaşamaya devam edeceğinden, daha önce bu iki kümede ortaya çıkmış olan iki nokta arasındaki jeodezik sayılarının $SG(2,3)$ 'te de var olacağı açıktır. İki nokta arasında 1, 2, 3, 4 veya 5 farklı jeodezik olabileceği gibi, örneğin 16, 48, 144 veya 13312 (bkz. [8], Örnek 3.5), hatta sonsuz farklı sayıda da jeodeziğin var olması mümkündür.

Not: $SG(2,3)$ gibi $SG(3,2)$ düzensiz ölçekli Sierpinski üçgenini üzerindeki içsel metrik de yine benzer şekilde ifade edebilir ($SG(3,2)$ 'deki farklılık, önce $1/3$ 'lük sonra $1/2$ 'lik benzerlik dönüşümlerinin kullanılması olacaktır). Açıktır ki $SG(3,2)$, 6 tane $1/3$ oranında küçültülmüş $SG(2,3)$ 'ten oluşmaktadır. Bu nedenle üzerindeki içsel metrik, bu çalışmada verilen ifadeye son derece yakın ve benzer biçimde kolayca verilebilir.

IV. SONUÇ

Daha önce klasik Sierpinski üçgeni ve bazı diğer klasik fraktallerin üzerindeki içsel metriğin ifade edilmesi için kullanılan bu yöntem, yani kümenin noktalarının kod temsillerinin kullanılması, $SG(2,3)$ gibi farklı karakterde bir kendine benzer küme üzerindeki içsel metriği ifade etmek için kullanılmıştır. Burada önemli olan nokta, bu kodlamanın kümenin yapısına uygun bir biçimde ve çok daha farklı bir biçimde yapılmasıdır. Bu çalışmada kullanılan kodlama yöntemi ile, farklı düzensiz ölçekli Sierpinski üçgenlerinin üzerindeki içsel metriğin detaylı incelenmesi ve üzerindeki jeodeziklerin de araştırılması mümkün olabilecektir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 19ADP113).

V. KAYNAKLAR



- [1] R.Hilfer ve A. Blumen, “Renormalisation on Sierpinski-type fractals,” *Journal of Physics A: Mathematical and General*, c. 17, s.10, ss. 537-545, 1984.
- [2] M.T. Barlow ve B.M. Hambly, “Transition density estimates for Brownian motion on scale irregular Sierpinski gaskets,” *Annales de l'Institut Henri Poincare Probabilities et Statistiques*, c. 33, s. 5, ss. 531-557, 1997.
- [3] B.M. Hambly, “Brownian motion on a random recursive Sierpinski gasket,” *Ann. Probab.*, c. 25, ss. 1059-1102, 1997.
- [4] S.C. Chang ve L.C. Chen, “Number of connected spanning subgraphs on the Sierpinski gasket,” *Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*, c. 11, s. 1, ss. 55-77, 2019.
- [5] D. Burago, Y. Burago ve S. Ivanov, *A Course in Metric Geometry*, USA: AMS, 2001.
- [6] M. Saltan, Y. Özdemir ve B. Demir, “An explicit formula of the intrinsic metric on the Sierpinski gasket via code representation,” *Turk. J. Math.*, c. 42, ss. 716-725, 2018.
- [7] M. Saltan, Y. Özdemir ve B. Demir, “Geodesics of the Sierpinski gasket,” *Fractals*, c. 26, s. 3, 1850024, 2018.
- [8] Y. Özdemir, “The intrinsic metric and geodesics on the Sierpinski gasket SG(3),” *Turk. J. Math.*, c. 43, ss. 2741-2754, 2019.
- [9] Y. Özdemir, M. Saltan ve B. Demir, “The Intrinsic Metric on the Box Fractal,” *Bull. Iran. Math. Soc.*, c. 45, ss. 1269-1281, 2019.
- [10] J. E. Hutchinson, “Fractals and Self-similarity,” *Indiana Univ. Math. J.*, c. 30, ss.713–747, 1981.
- [11] G. Edgar, *Measure, Topology and Fractal Geometry*, New York: Springer, 2008.
- [12] K.J. Falconer, “Sub-self-similar sets,” *Transactions of the American Mathematical Society*, c. 347, s. 8, ss. 3121-3129, 1995.
- [13] D.W. Spear, “Measures and self-similarity,” *Adv. in Math.*, c. 91, s. 2, ss. 143-157, 1992.
- [14] M. Barnsley, *Fractals Everywhere*, San Diego: Academic Press, 1988.
- [15] W. Sierpinski, “Sur une courbe dont tout point est un point de ramification,” *C.R.Acad.Sci.*, c. 160, ss. 302-305, 1915.
- [16] J. Kigami, *Analysis on Fractals*, Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [17] J. Gu, Q. Ye ve L. Xi, “Geodesics of higher-dimensional Sierpinski gasket,” *Fractals*, c. 27, s. 4, 1950049, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Perovskit Güneş Pilleri ve Kararsızlık Problemleri Üzerine Bir Araştırma

 Cevahir TARHAN^a,  Berces KURT^{b, *}

^a Uçak Gövde-Motor Bölümü, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, TÜRKİYE

^b Sivil Havacılık Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, TÜRKİYE

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

ÖZET

Günümüzde yaygın olarak kullanılan yenilenemeyen enerji kaynaklarının (kömür, doğalgaz, petrol vb.) çevre üzerinde zararlı etkileri bulunmaktadır. Ayrıca bu tür kaynaklar kullanıldıkça tükenme sorunuyla karşılaşmaktadırlar. Dünyanın enerji ihtiyacını, doğaya zarar vermeden ve sürdürülebilir bir formda üretebilmek için yenilenemeyen enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Potansiyeli en yüksek olan yenilenebilir enerji kaynağı güneştir. Bu bağlamda güneşten enerji elde edebilmek için de güneş pilleri kullanılmaktadır. Literatürde güneş enerjisinden enerji elde edebilmek için çoğunlukla silisyum bazlı güneş pillerinin kullanıldığı belirtilmektedir. Ama bu silisyum bazlı güneş pillerinin üretimi oldukça zor ve maliyetlidir. Bu güneş pillerinin olumsuzluklarını ortadan kaldırmak için literatürde güneş pilleri üzerine çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bu bağlamda organik güneş pillerinden biri olan perovskit güneş pilleri üzerinde birçok araştırma yapılmıştır. Perovskit güneş pillerinin verimi, ilk üretimlerinden sonraki on yıl içinde diğer güneş pilleri ile rekabet edebilecek seviyeye çıkmıştır. Ayrıca bu güneş pillerinin maliyeti de oldukça düşüktür. Ancak perovskit güneş pilleri üretildikten sonra su buharı, oksijen, elektriksel alan, ışık ve sıcaklık gibi faktörlerden kaynaklanan bozunmalar ile karşılaşmaktadırlar. Bu makalede, güneş enerjisi ve güneş pilleri ile ilgili literatürdeki makalelerin derlemesi ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi; Perovskit güneş pilleri; Güneş pillerindeki kararsızlık; Güneş pili veriminin iyileştirilmesi

A Review on Perovskite Solar Cells and Their Instability Problems

ABSTRACT

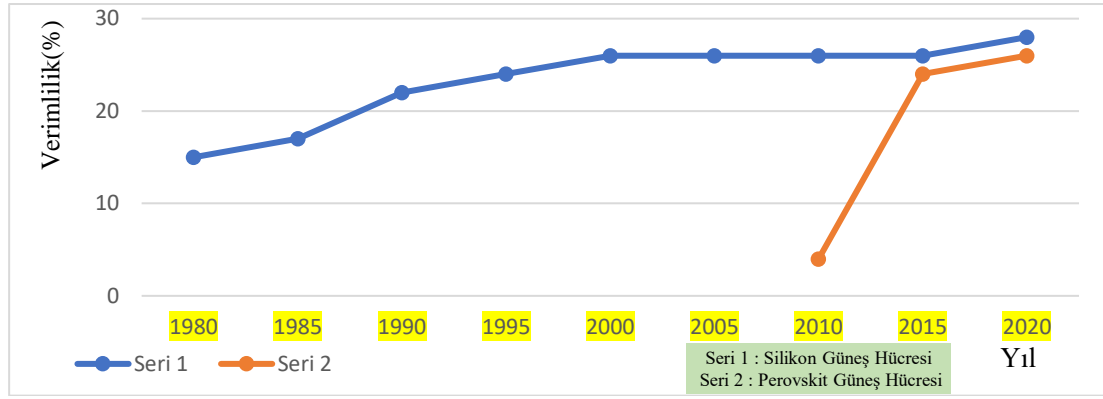
Non-renewable energy resources (coal, natural gas, petroleum, etc.), which are widely used today, are harmful for the environment. In addition, as such resources are used, they encounter the problem of depletion. The use of renewable energy sources instead of non-renewable energy resources should be made widespread in order to produce the energy need of the world in a sustainable form without harming the nature. The most potential renewable energy source is the sun. In this context, solar cells are used to obtain energy from the sun. It is stated in the literature that mostly silicon-based solar cells are used to obtain energy from solar energy. But these silicon-based solar cells are very difficult and costly to produce. Therefore new solar cell technologies and materials have been introduced in the literature. In this context, many studies have been done on perovskite solar cells, which are one of the organic solar cell types. The efficiency of perovskite solar cells has reached a level that can compete with other solar cells very soon after their first production. In addition, the cost of these solar cells is very low. However, after perovskite solar cells are produced, they encounter instability problems. In this article, the articles in the literature on solar energy and solar cells have been compiled and evaluated.

Keywords: Solar energy; Perovskite solar cell; Instability in solar cells; Solar cell efficiency improvement

Geliş: 06/12/2020, Düzeltme: 11/03/2021, Kabul: 17/03/2021

I. GİRİŞ

Taş kömürü, linyit, petrol, doğal gaz, toryum gibi çevre dostu olmayan geleneksel enerji kaynakları kullanımı oldukça maliyetlidir. Ayrıca bu enerji kaynakları doğada sınırlı miktarda bulunmaktadır. Bu etkenlerden dolayı dünya genelinde geleneksel enerji kaynaklarının kullanımı azalmaktadır [1,2]. Bu tür doğal kaynakların kullanılmasıyla, çevreye zararlı gazların salınımı, küresel ısınma, ozon tabakasının incilmesi gibi çevresel problemler de meydana gelmektedir [3]. Bundan dolayı, bu tür kaynakların yerine rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmalıdır. Özdemir ve Gündügar [4] çalışmalarında, yenilebilir enerji kaynaklarının düşük maliyetli olduğunu ve çevreye zararlı olmadıklarını belirtmişlerdir. Zhang ve ark. [5] çalışmalarında güneş enerjisinin en etkili yenilenebilir enerji kaynağı olduğunu belirtmişlerdir. Rüzgâr türbinleri, hidroelektrik, güneş pilleri, biyokütle kaynaklı sıvı yakıtlar, biyokütle ateşlemeli elektrik üretimi gibi tüm yenilenebilir enerji teknolojileri arasında güneş enerjisini kullanan fotovoltaik teknolojisi en umut verici olanı olarak kabul edilmektedir. Çünkü dünyadaki tüm yaşam, alglerin fotosentezinden sonra güneş enerjisine dayanmaktadır [6,7]. Güneşten dünyaya gelen yıllık enerji toplamı 1.5 katrilyon (1.5×10^{15}) MW/sa'tir. Bu enerji miktarı, dünyada insanların 1 yılda tükettiği enerjinin tam 28.000 katına eşdeğerdir [8]. Fotovoltaik teknolojideki ilerlemeler göz önüne alındığında, güneş pillerinin verimliliğini ve elektrik enerjisi üretimini iyileştirme çabalarının devam ettiği görülmektedir. Bilgin ve Çelebi [9], çalışmalarında, iki yönlü güneş takip sistemi ile %41,34 daha fazla elektrik enerjisi üretimi elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Güneş enerjisinden faydalanabilmek için radyasyonunu doğrudan elektriğe dönüştüren güneş pilleri kullanılmaktadır. Güneş pilleri, uydu sistemleri, kol saatleri, güneş fırınları, bahçe aydınlatması, hesap makineleri gibi alanlarda, kullanılabilir [10]. Kafle ve ark. [11] çalışmalarında, perovskit güneş pillerinin, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren çevre dostu bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Jena ve ark. [12] çalışmalarında, perovskit güneş pilleri teknolojisinde büyük ilerlemeler kaydedildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca bu güneş pilleri oldukça kolay tekniklerle üretilebilmektedir ve aynı zamanda, esnek alt tabakalara uyum sağlayabilirler [13]. Bu güneş pillerindeki verim oranının artması, ticarileştirmeye yönelik maliyet avantajlarını artıracaktır [14]. Perovskit güneş pilleri, adını yapılarında aktif katman olarak kullanılan perovskit minerali ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{XY}_3$) şeklinde kristalleşen malzemeden almaktadır [15]. Hibrit malzemelerden olan $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ ($\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$), (metil-amonyum kurşun iyodür klorür) incelendiğinde çok ilginç optik ve elektriksel özellikleri olduğu görülmektedir. Bunlar arasında, güneş spektrumundan gelen foton sayısının en yoğun olduğu yere karşılık gelen 1.39 eV bölgesinde bir direkt bant aralığına sahip oluşları, elektronlar için $7.5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, delikler (holes) için $12.5 - 66 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ gibi yüksek taşıyıcı mobilitesine sahip olmaları, 100 nm -1000 nm aralığında yüksek taşıyıcı difüzyon uzunluklarına sahip olmaları, yüksek soğurma katsayısına sahip olmaları, çözelti bazlı üretilebilmeleri gibi özellikleri güneş pili uygulamaları için çok elverişlidir [16]. Ayrıca bu güneş pillerinin düşük maliyetli olması, üretiminin kolay olması ve veriminin yüksek olması gibi avantajları da bulunmaktadır [17]. Wu ve ark. [18] çalışmalarında, perovskit tipi güneş pillerinin veriminin son on yıl içinde %3,8'den %25,2'e yükseldiğini belirtmişlerdir. Akyürekli ve ark. [19] çalışmalarında perovskit güneş hücrelerinin çok hızlı güneş enerjisi çevrim verimine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Perovskit güneş pilleri son yıllarda, yüksek ışık emici özelliği sayesinde büyük ilgi görmektedir [20,21]. Li ve ark. [22] çalışmalarında, günümüzde %25,2 güç dönüştürme verimliliğine sahip olan perovskit güneş hücrelerinin, 2020 yılında 'National Renewable Energy Laboratory' tarafından onaylandığını belirtmişlerdir. Son yıllarda silikon bazlı güneş pillerinin maliyeti oldukça azalmıştır ve bu güneş pillerinde foto-dönüşüm verimliliği artmıştır. Silikon güneş pillerinin verimliliği, teorik olarak tahmin edilen %29,4 (Shockley-Quisser limiti) değerine çok yakın bir şekilde %26,6'ya ulaştı [23]. Ayrıca silikon güneş pillerinin kalınlığının 2029 yılına kadar 100 μm 'ye kadar inceltilmesi beklenmektedir [24]. Ama bu silikon bazlı güneş pillerinin, sert hazırlık koşulları ve ciddi çevre kirliliği gibi dezavantajları vardır. Perovskit güneş pilleri ile silikon güneş pillerinin verimleriyle ilgili karşılaştırmaları 'Şekil 1'de görülmektedir [17,25].



Şekil 1. Perovskite güneş pilleri ile silikon güneş pillerinin verimliliğinin karşılaştırılması [17,25].

Şekil 1'e bakıldığında silikon güneş pillerinin 1980 ve perovskit güneş pillerinin de 2010 yılında üretilmeye başlandığı görülmektedir. Perovskit ve silikon güneş pillerinin verimlilik değerlerine baktığımızda, perovskit güneş hücrelerinin veriminde daha hızlı artış olduğunu görmekteyiz.

Kojima ve ark. [26] 2009 yılında ilk perovskit güneş hücresi deneyini yapmışlardır. Bu çalışmada, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ ($X = \text{Br}, \text{I}$) yapısındaki perovskit güneş hücresinde X yerine Brom ($X=\text{Br}$) kullanıldığında %3,1, X yerine Iyot ($X=\text{I}$) kullanıldığında ise %3,8 verimlilik değerine ulaşılmıştır. Bu ilk denemeden yaklaşık 2 yıl sonra, 2-3 nm ebatlarındaki %6,5 verime sahip kuantum nokta duyarlı güneş pili ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) üretilmiştir [27]. Green ve ark. [28] çalışmalarında, iyi performanslı perovskit güneş hücrelerinin 2012 yılında üretilmeye başlandığını belirtmişlerdir. Üretilmeye başlanmasından kısa bir süre sonra da bu alanda büyük gelişmeler kaydedildiğini belirtmişlerdir. Bu alanda yapılan çalışmalar sayesinde bu güneş hücrelerinin verimlilik değeri %22,1'e ulaşmıştır [29-31]. Li ve ark. [22] ise çalışmalarında, 2020 yılında perovskit güneş pillerinin %25,2 güç dönüştürme verimlilik değerine ulaştığını belirtmişlerdir. Perovskit güneş pilleri, diğer güneş pillerine göre yüksek emilim katsayısına (10^5 cm^{-1} 'den büyük) sahiptir. Bu güneş pillerinin işlenebilmeleri için yüksek sıcaklığa gerek yoktur. Ayrıca perovskit güneş pilleri, sentetik fizibilite, yavaş yük taşıyıcı rekombinasyon oranı, üretim kolaylığı, kolay yük taşıyıcı ayırımı gibi avantajlara sahiptir. Bu avantajlar sayesinde perovskit güneş pilleri, bakır indiyum galyum diselenid (CIGS), kadmiyum tellür (CdTe) ve kristal silikon güneş pillerinden daha fazla tercih edilmektedirler [32]. Zhang ve Park [33] çalışmalarında, ince kalınlıkta (200 nm'den küçük) perovskit güneş hücrelerinin üretilebileceğini ve bu sayede daha yüksek verim değeri elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Wali ve ark. [34] çalışmalarında belirttikleri gibi perovskit güneş hücrelerinin katmanlı yapısı 'Şekil 2'de görülmektedir. 'Şekil 2'ye bakıldığında, elektron bloke edici katmanı olarak TiO_2 katmanı, delik taşıma katmanı (HTL) olarak Spiro-OMeTAD, FTO/glass yüzeyi, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ perovskit katmanı ve Au elektrot yapıları görülebilmektedir. TiO_2 katmanı ve Spiro-OMeTAD katmanı, perovskit güneş hücrelerinin verimliliği arttırmaktadır. Ayrıca TiO_2 , şeffaf yapıda olduğu için ve geniş bant aralığına sahip olduğu için güneş pillerinde sıklıkla tercih edilmektedir. TiO_2 katmanı, perovskit güneş hücrelerindeki emici tabakanın büyümesini sağlamak için kullanılmaktadır. Delik taşıma katmanının (HTL) ara yüzündeki iyon birikimi, delik ekstraksiyonlarını engellemektedir. En yaygın kullanılan delik taşıma katmanı (HTL) olan 2,2',7,7'-tetrakis (*N,N*-di-*p*-methoxyphenyl-amine)-9,9'-spirobifluorene (spiro-OMeTAD) yüksek cihaz performansına sahiptir [35-37].



Şekil 2. Perovskit güneş hücrelerinin katmanlı yapısı [34].

Perovskit katmanı spin kaplama, iki adımlı daldırarak kaplama, termal buharlaştırma yöntemi gibi yöntemlerle veya bu yöntemlerin kombinasyonları ile üretilmektedir [38-43]. Spin kaplama tekniği ucuz, kolay ve çözücü bağımlı ve birçok adımlı olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu teknikte, önce taban malzeme spin kaplama yüzeyine sabitlenir ve çözücü malzeme damlatılır. Daha sonra kaplanmak istenen solüsyon spin kaplama cihazının rotasyonel dönme hareketinden dolayı homojen olarak yüzeye yayılır ve merkezkaç kuvveti sayesinde fazlalık malzeme ayrıştırılır. Bu teknikte, solüsyon ve çözücüye bağlı olarak taban malzeme seçimi, taban malzeme sıcaklığının belirlenmesi ve spin kaplama cihazının hızını belirlenmesi çok önemlidir [41]. Termal buharlaştırma yöntemi, genel olarak vakum altında buharlaştırılmak istenilen malzemelerin, yüksek sıcaklıkta buharlaştırılarak taban malzeme üzerine büyütülmesi ilkesine dayanır [42]. İki adımlı daldırarak kaplama yönteminin birinci aşamasında, metal halide filmi, spin kaplama ya da termal buharlaştırma yöntemi ile oluşturulur. İkinci adımda ise ilk aşamada elde edilen malzeme, organik katyonlar içeren solüsyona daldırılır. Bu iki aşama sonucunda da perovskit yapı oluşur [43]. Sprey piroliz yöntemi ile de perovskit katmanı üretilmektedir. Bu yöntemin vakum ortamına ihtiyaç duymaması, yüksek sıcaklık gerektirmemesi ve geniş alanda kaplama için elverişli olması gibi avantajları bulunmaktadır. Bu alanda geliştirilen ultrasonik sprey piroliz tekniği ile yaklaşık %80 oranında malzeme tasarrufu sağlanmaktadır [44]. Perovskit güneş pilleri, düzlemsel veya mezoyapılı mimaride yüksek verimli olarak üretilmektedir. Bu güneş pillerinin verim değeri, kullanılan halojen türleri ve oranları, katman üretim metotları, katmanın kristal boyutları gibi etkenlere bağlı olarak değişmektedir [45]. Stranks ve ark. [46] çalışmalarında, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ve $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ perovskit yapılarını elektron – boşluk difüzyon mesafeleri açısından incelemişlerdir. Bu elektron–boşluk difüzyon mesafelerini $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ için 100 nm ve $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ için 1 μm olarak tespit etmişlerdir. Edri ve ark. [47] çalışmalarında, klorlu yapıdaki yüksek difüzyon mesafesinin düzlemsel ve mezo-süper yapıda yüksek performans sağladığını belirtmişlerdir. Ayrıca $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ yapısının elektron difüzyonunun mesafesini arttırabilmek için TiO_2 katman yapısının kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Shi ve ark. [48] çalışmalarında, düzlemsel ve mezoyapılı mimaride $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ve $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ yapılarını kullanarak perovskit güneş hücresi üretmişlerdir. Bu güneş hücrelerinin en yüksek verim değerini, düzlemsel mimaride $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ yapısı için %12,67 ve $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ yapısı için ise %14,05 olarak tespit etmişlerdir. Listorti ve ark. [49] çalışmalarında, mezoyapılı hücrelerde elde edilen $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ perovskit kristal boyutunun düzlemsel yapılara göre daha küçük olduğunu belirtmişlerdir.

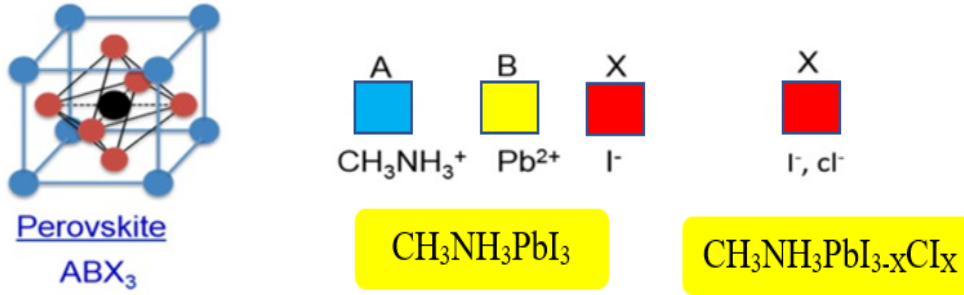
II. PEROVSKİT MALZEMELERİN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ

Perovskit minerali, 1939 yılında Gustov tarafından bulunmuştur ama Rus mineralog Kont Lev Alekseevich Perovskite, bu alandaki araştırmaları daha ileriye taşımıştır. Bundan dolayı bu mineraller perovskit olarak adlandırılmıştır [40]. Bakır oksit perovskit yapıların yüksek sıcaklıklarda ve süper iletken malzemelerde kullanılmasından sonra bu alanda yapılan araştırmalar artmıştır [50]. Bu alanda en çok incelenen perovskitler, ferroelektrik ve süper elektriksel iletkenlik özelliklerinden dolayı oksitlerdir. Perovskit malzemelere olan ilgi, katmanlı organometal halojenür perovskitlerin artan boyutsallıkla yarı iletken-metale geçiş özelliklerinin tespit edilmesi ile artmıştır [43]. Mitzi ve ark. [51] çalışmalarında, organik-inorganik perovskitlerin optoelektronik özellikleri hakkında araştırma yapmışlardır ve bu malzemelerin güçlü eksiton özellikleri sergilediğini belirtmişlerdir. Bu perovskit malzemeler arasında, yüksek simetri özelliğine sahip olan kübik perovskitler, güneş pillerinin performansında belirleyici bir rol oynamaktadır. Tablo 1’de bazı perovskit materyallerin faz geçiş sıcaklıkları görülmektedir [52,53].

Tablo 1. Bazı perovskitlerin kübik faz geçiş sıcaklıkları [52,53].

Malzemeler	Sıcaklık
CH ₃ NH ₃ PbCl ₃	~179
CH ₃ NH ₃ PbBr ₃	~237
CH ₃ NH ₃ PbI ₃	~327
HC(NH ₂) ₂ PbI ₃	~360
CsPbBr ₃	~403
CsPbI ₃	~589

Perovskit malzemeler, mükemmel fotovoltaik performansları ve düşük maliyetli hammaddeleri sayesinde araştırmacılar arasında büyük ilgi görmektedir [54]. Perovskit malzemesi, ABX₃ tipi moleküler yapıya sahip kalsiyum titanat (CaTiO₃) bileşiminden elde edilmektedir. Perovskit malzemeler, yüksek elektron hareketliliği, yüksek taşıyıcı difüzyon uzunluğu, yüksek absorpsiyon katsayısı, optimum bant aralığı, düşük yüzey rekombinasyon hızı, ayarlanabilir bant aralığı, yüksek taşıyıcı ömrü, benzersiz optik, termal ve elektromanyetik özelliklere sahiptir [54-56]. Berhe ve ark. [57] çalışmalarında belirttikleri gibi perovskitlerin ABX₃ formülasyonu 'Şekil 3'te görülmektedir. Bu ABX₃ formülünde, A yerine Metil Amonyum (CH₃NH₃), B yerine Kurşun (Pb) ve X yerine Klor (Cl), Brom (Br) ya da İyot (I) kullanılmıştır. Yapıda kullanılan malzemelere kimyasal açıdan bakıldığında, geniş bir organik katyon metilamonyum (CH₃NH₃), dar bir katyon kurşun (Pb) ile halojen anyon olarak Klor (Cl), Brom (Br) ya da İyot (I) kullanıldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Perovskit Malzemesinin ABX₃ Formülasyonu [57].

Güneş pillerinde kullanılan perovskit malzemesi 'Wannier' tipi eksitona sahiptir. Bu nedenle, üretilen yük taşıyıcılar inorganik malzemede olduğu gibi davranır [58,59]. Roy ve ark. [25] çalışmalarında belirttikleri gibi organik-inorganik perovskit malzemelerin özellikleri 'Tablo 2'de görülmektedir. Bu özellikler, üretim sırasında kurucu parçacıkların şekli ve boyutu kontrol edilerek ayarlanabilir.

Tablo 2. Perovskit malzemelerin özellikleri [25].

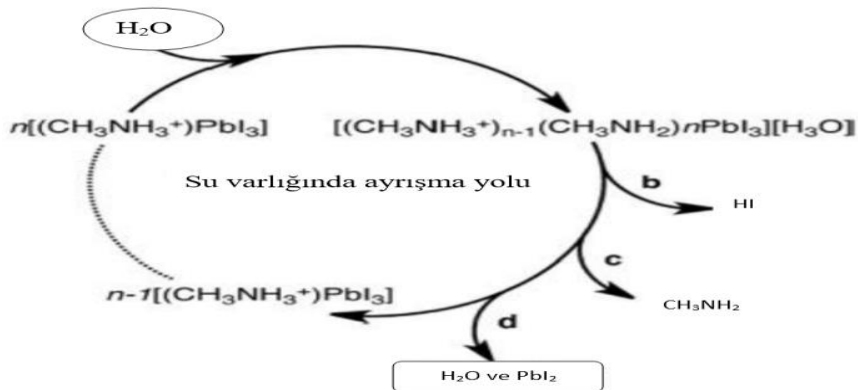
ÖZELLİKLER	DEĞER ARALIĞI
Bant aralığı	1.5-2.5 Ev
Soğurma katsayısı	10 ⁵ cm ⁻¹
Eksiton bağlama enerjisi	10 meV'den düşük
Kristalizasyon enerji bariyeri	56.6-97.3kj mol ⁻¹
Fotoluminesans kuantum verimi	%70
Yüksek taşıyıcı ömrü	300 nm'den büyük
Bağlı (elektriksel) geçirgenlik	3
Taşıyıcı (elektron) hareketliliği	800 cm ² /Vs
Eksiton	Wannier tip
Trap-state yoğunluğu	10 ¹⁰ cm ⁻³ (Tekli kristal) 10 ¹⁵ -10 ¹⁷ cm ⁻³ (Çoklu Kristal)

III. PEROVSKİT GÜNEŞ PİLLERİNDE KARARSIZLIK PROBLEMİ

Perovskit güneş pilleri, mükemmel potansiyele sahip olmalarına rağmen, normal çalışma koşulları altında kararsızlık göstermektedirler. Bu kararsızlık problemlerinden dolayı bu güneş pillerinin ticarileştirme aşamalarında kısıtlamalar meydana gelmektedir [57,60]. Perovskit güneş hücrelerindeki kararsızlık problemleri, su buharı, oksijen, elektriksel alan, ışık ve sıcaklık gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır [38,42]. Im ve ark. [27] çalışmalarında, perovskit güneş pillerinin üretiminden 10 dakika sonra bu güneş pillerinde %80 oranında bozulmaların meydana geldiğini belirtmişlerdir. Noh ve ark. [61] çalışmalarında, Spiro-OMeTAD tabanlı perovskit güneş hücreleri üreterek, bu güneş hücrelerinin kararlılık durumlarının 500 saate kadar çıktığını belirtmişlerdir. Lejtiens ve ark. [62] çalışmalarında, Al₂O₃ tabanlı perovskit güneş hücrelerinin 1000 saat kararlılık durumuna ulaşıldığı rapor etmişlerdir. Mei ve ark. [63] kararsızlık mekanizmasının çözümüne yönelik çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada TiO₂ tabakasının üzerine ZrO₂ tabakasını büyütülmüştür ve elde edilen yapının üstüne ise kapsülasyon olarak gözenekli karbon ince film büyütülmüştür. Bu üç tabakalı yöntem sayesinde güneş ışığında 1008 saat kararlı perovskit güneş hücresi üretilebilmiştir. Salado ve ark. [64] çalışmalarında, suyun perovskit güneş hücreleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Perovskit güneş hücrelerinin 1-5 saat aralığında su ile temas etmesinden kaynaklanan bozulmalar tespit etmişlerdir. Jørgensen ve ark. [65] ise çalışmalarında, ışık faktörünün de perovskit güneş pillerinde bozulmalara yol açtığını belirtmişlerdir.

A. NEM VE OKSİJEN

Belirli bir limitin üzerindeki oksijen ve nem, güneş hücresinin içerisinde oksidasyona sebep olmaktadır. Bu durumun sonucu olarak ortaya çıkan bozulma, perovskit güneş hücrelerinin dengesini bozar. Perovskit malzemenin bozulma problemi, nemin katalizör olarak etki ettiği bir kimyasal işlemdir [66-68]. Perovskit güneş pillerinin düşük bir nem seviyesinde (<%1 atmosferde) olmalıdır [69]. Birçok çalışmada oksijenin, karanlıkta ve kuru atmosferde perovskit malzemenin kararlılığına etki etmediği belirtilmektedir [70,71]. Suarez ve ark. [72] çalışmalarında, polar çözücülerin perovskit yapılarında bozunmaya sebep oldukları belirtmişlerdir. Genelde boşluk transfer malzemesi olarak kullanılan Spiro-OMeTAD malzemesi su ortamında kararsızdır. Christians ve ark. [73] soğurucu tabakada bulunan suyun, kristal yapıyı etkilediğini ve buna bağlı olarak da perovskit soğurma spektrumunda taban ve uyarılmış durumlarda belirgin değişiklikler oluşturduğunu belirtmişlerdir. Yang ve ark. [74] çalışmalarında, bozunma etkisinin havadaki nem oranı ile doğru orantılı olduğunu vurgulamaktadırlar. Bu çalışmada onlarca gün %50 nem atmosferinde bozulmadan duran malzemenin, 3 gün %80 nem atmosferinde beklemesi ile malzeme üzerinde belirgin oranda bozunmaların olduğu görülmüştür. Frost ve ark. [75] çalışmalarında, su molekülünün üretim esnasında birçok farklı kademede etkili olarak bozunmaya sebep olacağını belirtmişlerdir ve perovskit güneş hücresinde suyun oluşturduğu bozunma döngüsü ‘Şekil 4’te de görüldüğü gibi belirtmişlerdir.



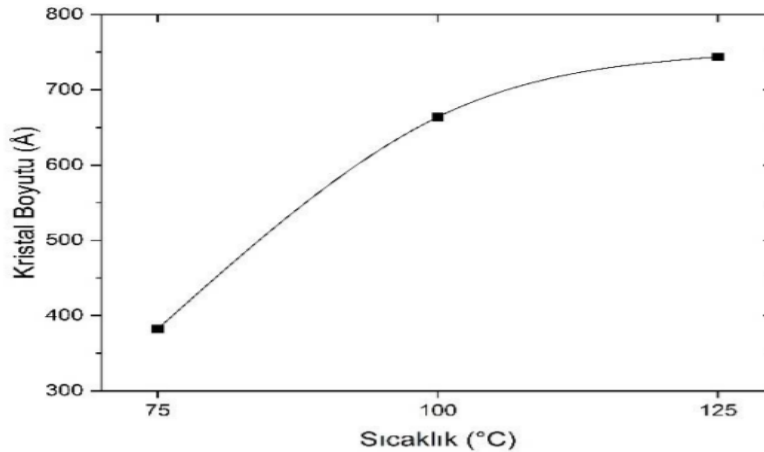
Şekil 4. Perovskit güneş hücresinde suyun oluşturduğu bozunma döngüsü [75].

B. IŞIK

Perovskit güneş hücrelerine etki eden UV ışık, bu güneş hücrelerinde bozunmalara yol açmaktadır [76]. Leijtens ve ark. [62] perovskit güneş hücrelerinde ultraviyole ışıktan kaynaklı bozunma probleminin temelinde TiO_2 tabakası olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada UV kapsülasyonu olan ve UV kapsülasyonu olmayan iki farklı perovskit hücre 5 saat boyunca 1 güneş ışığı şiddetinde ışığa maruz bırakılmıştır. Bunun sonucunda ise UV kapsülasyonu olan hücrenin çok daha hızlı bir şekilde bozunma eğilimi gösterdiği görülmüştür. Birçok çalışmada belirtildiği gibi perovskit güneş hücrelerinde UV ışıktan kaynaklı olarak oluşan bozunmanın sebebi TiO_2 tabasında oluşan yüzey kimyası olarak nitelendirilmektedir [77,78]. Perovskitin bu tür bozunması, kimyasal bileşenleri ve karşılık gelen kristal yapıları ile güçlü bir şekilde ilişkilidir [79]. Nie ve ark. [80] çalışmalarında, cihazların karanlıkta 1 dakika bekletilerek tamamen iyileştiğini belirtmişlerdir. Yapılan teorik araştırmalara göre ve deneysel sonuçlara dayanarak, ışıkla aktifleşen meta kararlı durumların sayısının artmasının, toplu filmde foto akımın bozulmasına yol açan yüklü alana neden olduğu sonucuna varıldı. Bu çalışmada cihaz karanlıkta dinlendirildiğinde, ışıkla etkinleşen tuzak durumları kaybolduğu ve foto akımın orijinal sabit durum değerine geldiği tespit edilmiştir. Gözlenen bu hızlı kendi kendini iyileştirme veya stabilizasyon, foto stabilize perovskit güneş pillerinin gerçekleştirilmesi için sağlam bir temel oluşturmaktadır.

C. SICAKLIK PROBLEMİ

Su ve ark. [81] çalışmalarında, $75^{\circ}C$ ve $100^{\circ}C$ 'de elde edilen XRD spektrumlarındaki pikleri incelediklerinde oluşturulmaya çalışılan $CH_3NH_3PbI_{3-x}Cl_x$ perovskit kristal yapısına ek olarak istenmeyen farklı yapıların da oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, $125^{\circ}C$ alttaş sıcaklığında üretilmiş yapılarda ise yapının tamamen $CH_3NH_3PbI_{3-x}Cl_x$ perovskit kristal formunda olduğunu tespit etmişlerdir [27]. Kim ve ark. [82] çalışmalarında, perovskit kristal boyutlarındaki artışın hem güneş ışığının soğuluşunu hem de yüzey iletkenliğini artırdığını, rekombinasyonu baskıladığını ve oluşturulacak güneş pili verimini doğrudan etkilediğini belirtmişlerdir. Alttaş sıcaklığının perovskit yapıları üzerindeki etkisi, 'Şekil 5'te görülmektedir [19].



Şekil 5. Kristal boyutun sıcaklığa bağlı olarak değişimi [19].

Değişken sıcaklık değerlerinde perovskit malzemelerin tabakaları üzerinde farklı etkiler meydana gelmektedir. Belirli bir sıcaklık değerinin üstüne çıkıldığında perovskit malzemelerde bozunmalar meydana gelmektedir. Belirli sıcaklıkların altında ise malzeme içerisinde kristal yapı oluşmaktadır. Düşük sıcaklıkta ($T < 162.2$ K) kullanılan perovskitler, ortorombik durumdan orta sıcaklıkta ($162.2-327.4$ K) dörtgen faza geçer ve yüksek sıcaklıkta kullanılan perovskitler de ideal kübik fazdan ardışık faza geçerler. Ayrıca 327.4 K sıcaklığının üstüne çıkıldıkça, perovskitler uçucu CH_3NH_2 ve HI bileşiklerine bölünürler [83,84]. Misra ve ark. [85] çalışmalarında, ışık enerjisi kaynaklı gerçekleşen ayrışmanın sıcaklıkla hızlandırılabilir olduğunu, yani güneş ışığından gelen ışık enerjisi ve sıcaklık etkisinin perovskit güneş hücrelerinin bozulmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Bi ve ark. [86] ise

çalışmalarında, iki adımlı perovskit güneş hücreleri üretim süreçlerinde PbI₂ ve MAI büyütme safhalarında ısı tavlama sıcaklığının filmin kalitesini etkilediğini belirtmişlerdir.

IV. SONUC

Bu çalışmada, güneş pillerinin özellikleri, üretimi ve verimleri üzerine araştırma yapılmıştır. Günümüzde kullanılan bakır indiyum galyum selenid, kristal silikon ve kadmiyum tellür gibi güneş pillerinin enerji dönüşüm süreleri yüksektir. Son yıllarda büyük gelişme gösteren perovskit güneş pillerinin ise enerji dönüşüm süreleri oldukça düşüktür. Kafle ve ark. [11] çalışmalarında, perovskit güneş pillerinin, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren çevre dostu bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Jena ve ark. [12] çalışmalarında, perovskit güneş pilleri teknolojisinde büyük ilerlemeler kaydedildiğini belirtmişlerdir. Bu güneş pillerindeki verim oranının artması, ticarileştirmeye yönelik maliyet avantajlarını artıracaktır [14]. Li ve ark. [22] çalışmalarında, 2020 yılında perovskit güneş pillerinin %25,2 güç dönüştürme verimlilik değerine ulaştığını belirtmişlerdir. Perovskit güneş pillerinin emilim katsayıları oldukça yüksektir. Bu güneş pillerin işlenebilmeleri için yüksek sıcaklığa gerek yoktur ve bu güneş pillerinin bant aralıkları ayarlanabilmektedir. Bu güneş pillerinin yüksek potansiyeli olmasına rağmen üretildikten sonra su buharı, oksijen, elektriksel alan, ışık ve sıcaklık gibi faktörlerden kaynaklanan kararsızlık problemleri meydana gelmektedir. Perovskit teknolojisi, ticarileşme eğilimi gösterdikçe, bu güneş pillerindeki kararlılık sorunları dikkat çekecektir ve ortalama ömrü 25 yıldan fazla olan perovskit güneş pillerinin geliştirilmesi odak noktası olacaktır.

V.KAYNAKLAR

- [1] T. Jia, Y. Dai, ve R. Wang, “Refining energy sources in winemaking industry by using solar energy as alternatives for fossil fuels: A review and perspective,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 88, pp.278-296, 2018.
- [2] A. C. Marques, J. A. Fuinhas, ve D. A. Pereira, “Have fossil fuels been substituted by renewables? An empirical assessment for 10 European countries,” *Energy Policy*, vol.116, pp.257-265, 2018.
- [3] A. Çiğın, ve R. Yamaçlı, “Doğal enerji, sürdürülebilir kalkınma ve mimarlık politikaları,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c.8, s.1, ss.554-571, 2020.
- [4] Z. Ö. Özdemir ve K. Günduğar, “Birinci, ikinci nesil biyoetanol üretimi ve Türkiye’deki biyoetanol üretiminin durumu & kapasitesi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c.7, s.3, ss.1290-1298, 2019
- [5] Z. Zhang, Z. Li, L. Meng, S.Y. Lien, ve P. Gao, “Perovskite based tandem solar cells: get the most out of the Sun,” *Advanced Functional Materials*, c. 30, s. 38, ss. 2001904, 2020.
- [6] A. Khare, “A critical review on the efficiency improvement of upconversion assisted solar cells,” *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 82, pp.153214, 2020.
- [7] S. B. Darling, F. You, T. Veselka, ve A. Velosa, “Assumptions and the levelized cost of energy for photovoltaics,” *Energy & Environmental Science*, vol. 4, no. 9, pp.3133-3139, 2011.
- [8] K. Boran, “Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi Kullanarak Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi,” *Politeknik Dergisi*, vol.20, no.3, pp.629-637, 2017.

- [9] M. Bilgin ve K. Çelebi, “Autonomous photovoltaic solar cell using tracking system design and implementation,” *Honorary Editor*, c. 9, s. 2, ss. 1669-1676, 2019.
- [10] M.O. Karaağaç, H. Oğul ve S. Bardak, “Kanatlı hayvan çiftliği için güneş enerji sisteminin tasarımı ve maliyet hesabı,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c.8, s.1, ss.711-722, 2020.
- [11] B.P. Kafle, B.R. Pokhrel, R. Gyawali, A. Kafle, T. M. Shrestha, R. Shrestha ve R. M. Adhikari, “Absorbance of natural and synthetic dyes: Prospect of application as sensitizers in dye sensitized solar cell,” *Advances in Applied Science Research*, c. 5, s. 1, ss. 8-12, 2014.
- [12] A. K. Jena, A. Kulkarni, ve T. Miyasaka, “Halide perovskite photovoltaics: background, status, and future prospects,” *Chemical Reviews*, c.119, s. 5, ss. 3036-3103, 2019.
- [13] M. Ç. Çadırcı, V. Y. Oğuz ve S. ertan, “Numerical Analysis and Optimization of CH₃NH₃PbI₃-xCl_x Based Perovskite Solar Cells,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c.9, s.1, ss.28-39, 2021.
- [14] Y. Rong, Y. Hu, A. Mei, H. Tan, M. I. Saidaminov, S. L. Seok, ve H. Han, “Challenges for commercializing perovskite solar cells,” *Science*, c. 361, ss. 6408, 2018.
- [15] W. Ke, D. Zhao, C. R. Grice, A. J. Cimaroli, G. Fang ve Y. Yan, “Efficient fully-vacuum-processed perovskite solar cells using copper phthalocyanine as hole selective layers,” *Journal of Materials Chemistry A*, c. 3, s. 47, ss. 23888-23894, 2015.
- [16] Grätzel, M. (2014). The light and shade of perovskite solar cells. *Nature materials*, 13(9), 838-842.
- [17] H. S. Kim, C. R. Lee, J. H. Im, K. B. Lee, T. Moehl, A. Marchioro, ve M. Grätzel, “Lead iodide perovskite sensitized all-solid-state submicron thin film mesoscopic solar cell with efficiency exceeding 9%,” *Scientific Reports*, c. 2, s.1, ss. 1-7, 2012.
- [18] Z. Wu, M. Jiang, Z. Liu, A. Jamshaid, L.K. Ono, ve Y.Qi, “Highly efficient perovskite solar cells enabled by multiple ligand passivation.” *Advanced Energy Materials*, c.10, s.10, ss.1903696, 2020.
- [19] S. Akyürekli, M. Kaleli, M. Koç ve D. A. Aldemir, “Ultrasonik sprey piroliz yöntemi ile üretilen güneş soğurucu CH₃NH₃PbI₃-xCl_x perovskit yapısının optik, morfolojik ve yapısal özelliklerinin incelenmesi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, c. 15, s. 2, ss. 253-263, 2020.
- [20] T. J. Jacobsson, J. P. Correa-Baena, M. Pazoki, M. Saliba, K. Schenk, M. Grätzel ve A. Hagfeldt, “Exploration of the compositional space for mixed lead halogen perovskites for high efficiency solar cells,” *Energy & Environmental Science*, c. 9, s. 5, ss. 1706-1724, 2016.
- [21] W. S. Yang, B.W. Park, E. H. Jung, N. J. Jeon, Y. C. Kim, D. U. Lee ve S. I. Seok, “Iodide management in formamidinium-lead-halide-based perovskite layers for efficient solar cells,” *Science*, c. 356, s. 6345, ss. 1376-1379, 2017.
- [22] H. Li, C. Cui, X. Xu, S. Bian, C. Ngaojampa, P. Ruankham, ve A.P. Jaroenjittchai, “A review of characterization of perovskite film in solar cells by spectroscopic ellipsometry,” *Solar Energy*, c. 212, ss. 48-61, 2020.
- [23] Srivastava, S., Singh, S., & Singh, V. K. (2021). Bulk and interface defects analysis of n-CdS/p-Si heterojunction solar cell. *Optical Materials*, 111, 110687.

- [24] Shin, D. Y., Lim, J. R., Shin, W. G., Lee, C. G., & Kang, G. H. (2021). Layup-only modulization for low-stress fabrication of a silicon solar module with 100 μm thin silicon solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 221, 110903.
- [25] P. Roy, N. K. Sinha, S. Tiwari ve A. Khare, "A review on perovskite solar cells: Evolution of architecture, fabrication techniques, commercialization issues and status," *Solar Energy*, c. 198, ss. 665-688, 2020.
- [26] A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai, & T. Miyasaka, "Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells," *Journal of the American Chemical Society*, vol 31, no.17, ss.6050-6051,2009.
- [27] J. H. Im, C. R. Lee, J. W. Lee, S. W. Park ve N. G. Park, "6.5% efficient perovskite quantum-dot-sensitized solar cell," *Nanoscale*, c. 3, s. 10, ss. 4088-4093, 2011.
- [28] M. A. Green, A. Ho-Baillie ve H. J. Snaith, "The emergence of perovskite solar cells," *Nature Photonics*, c. 8, s. 7, ss. 506-514, 2014.
- [29] S. Yang, W. Fu, Z. Zhang, H. Chen, ve C. Z. Li, "Recent advances in perovskite solar cells: efficiency, stability and lead-free perovskite," *Journal of Materials Chemistry*, c. 5, s. 23, ss. 11462-11482, 2017.
- [30] S. Sharma, K. K. Jain ve A. Sharma, "Solar cells: in research and applications-a review," *Materials Sciences and Applications*, c. 6, s. 12, ss. 1145, 2015.
- [31] T. B. Song, Q. Chen, H. Zhou, C. Jiang, H. H. Wang, Y. M. Yang ve Y. Yang, "Perovskite solar cells: film formation and properties," *Journal of Materials Chemistry A*, c. 3, s. 17, ss. 9032-9050, 2015.
- [32] N. L. Panwar, S. C. Kaushik & S. Kothari, "Role of renewable energy sources in environmental protection: A review," *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, c. 15, s. 3, ss. 1513-1524, 2011.
- [33] Y. Zhang, N.G. Park, "A thin film (< 200 nm) perovskite solar cell with 18% efficiency." *Journal of Materials Chemistry A*, c.8, s.34, ss.17420-17428,2020.
- [34] Q. Wali, F. J. Iftikhar, M. E. Khan, A. Ullah, Y. Iqbal ve R. Jose, "Advances in stability of perovskite solar cells," *Organic Electronics*, c. 78, ss. 105590, 2020.
- [35] M. Abd Mutalib, F. Aziz, A. F. Ismail, W. N. W. Salleh, N. Yusof, J. Jaafar, ve N. A. Ludin, "Towards high performance perovskite solar cells: A review of morphological control and HTM development," *Applied Materials Today*, c.13, ss.69-82, 2018.
- [36] S. Yurtdaş, C. A. N. Mustafa, M. Karaman ve C. Tozlu, "Polimerik güneş hücrelerinde ag nanopartikül katkılı TiO_2 tampon tabakasının kendiliğinden organize olan tek tabaka moleküller (SAM) ile modifiye edilmesi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c.8, s.1, ss.1058-1071, 2020.
- [37] B. Kılıç, "Yeni nesil güneş hücrelerinde hibrit nano-yarıiletkenlerin sentezlenerek optoelektronik özelliklerinin incelenmesi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c.9, s.1, ss.51-59, 2021.
- [38] Y. Ma, S. Wang, L. Zheng, Z. Lu, D. Zhang, Z. Bian ve L. Xiao. "Recent research developments of perovskite solar cells," *Chinese Journal of Chemistry*, c. 32, s. 10, ss. 957-963, 2014.

- [39] Q. Chen, H. Zhou, Z. Hong, S. Luo, H. S. Duan, H. H. Wang ve Y. Yang, "Planar heterojunction perovskite solar cells via vapor-assisted solution process," *Journal of the American Chemical Society*, c. 136, s. 2, ss. 622-625, 2014.
- [40] S. Razza, F. Di Giacomo, F. Matteocci, L. Cin Ó, A. L. Palma, S. Casaluc ve A. Di Carlo, "Perovskite solar cells and large area modules (100ácm²) based on an air flow-assisted PbI₂ blade coating deposition process," *Journal of Power Sources*, c. 277, ss. 286-291, 2015.
- [41] G. Yılmaz ve Ç. Özkök, "Perovskit Güneş Hücreleri ve Kararsızlık Problemleri," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 9, s. 1, ss. 297-304, 2019.
- [42] M. Liu, M. B. Johnston ve H. J. Snaith, "Efficient planar heterojunction perovskite solar cells by vapour deposition," *Nature*, c. 501, s.7467, ss. 395-398, 2013.
- [43] D. B. Mitzi, C. A. Feild, W. T. A. Harrison ve A.M. Guloy, "Conducting tin halides with a layered organic-based perovskite structure," *Nature*, c. 369, s. 6480, ss. 467-469, 1994.
- [44] B. Dwi, "Comparison of SnO₂/Si-n thin films deposited by pneumatic spray pyrolysis technique with that deposited by ultrasonic spray Pyrolysis Technique," *Indonesian Journal of Materials Science*, c. 43, ss. 241-245, 2008.
- [45] J. Burschka, N. Pellet, S. J. Moon, R. Humphry-Baker, P. Gao, M. K. Nazeeruddin ve M. Grätzel, "Sequential deposition as a route to high-performance perovskite-sensitized solar cells," *Nature*, c. 499, s. 7458, ss. 316-319, 2013.
- [46] S. D. Stranks, G. E. Eperon, G. Grancini, C. Menelaou, M. J. Alcocer, T. Leijtens ve H. J. Snaith, "Electron-hole diffusion lengths exceeding 1 micrometer in an organometal trihalide perovskite absorber," *Science*, c. 342, s. 6156, ss. 341-344, 2013.
- [47] E. Edri, S. Kirmayer, A. Henning, S. Mukhopadhyay, K. Gartsman, Y. Rosenwaks ve D. Cahen, "Why lead methylammonium tri-iodide perovskite-based solar cells require a mesoporous electron transporting scaffold (but not necessarily a hole conductor)," *Nano Letters*, c. 14, s. 2, ss. 1000-1004, 2014.
- [48] Y. Shi, Y. Xing, Y. Li, Q. Dong, K. Wang, Y. Du ve T. Ma, "CH₃NH₃PbI₃ and CH₃NH₃PbI_{3-x}Cl_x in planar or mesoporous perovskite solar cells: comprehensive insight into the dependence of performance on architecture," *The Journal of Physical Chemistry C*, c. 119, s. 28, ss. 15868-15873, 2015.
- [49] A. Listorti, E. J. Juarez-Perez, C. Frontera, V. Roiati, L. Garcia-Andrade, S. Colella ve I. Mora-Sero, "Effect of mesostructured layer upon crystalline properties and device performance on perovskite solar cells," *The Journal Of Physical Chemistry Letters*, c. 6, s. 9, ss. 1628-1637, 2015.
- [50] J. G. Bednorz ve K. A. Müller, "Possible highT_c superconductivity in the Ba- La- Cu- O system," *Zeitschrift für Physik B Condensed Matter*, c. 64, s. 2, ss. 189-193, 1986.
- [51] D. B. Mitzi, K. Chondroudis, ve C. R. Kagan, "Organic-inorganic electronics," *IBM Journal Of Research And Development*, c. 45, s.1, ss. 29-45, 2001.
- [52] C. C. Stoumpos, C. D. Malliakas, ve M. G. Kanatzidis, "Semiconducting tin and lead iodide perovskites with organic cations: phase transitions, high mobilities, and near-infrared photoluminescent properties," *Inorganic Chemistry*, c. 52, s. 15, ss. 9019-9038, 2013.

- [53] S. Sharma, N. Weiden, ve A. Weiss, "Phase diagrams of quasibinary systems of the type: ABX_3 — $A' BX_3$; ABX_3 — $AB' X_3$, and ABX_3 — $ABX' _3$; X= halogen," *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, c.175, s.1, ss. 63-80, 1992.
- [54] D. Zhou, T. Zhou, Y. Tian, X. Zhu, ve Y. Tu, "Perovskite-based solar cells: materials, methods, and future perspectives," *Journal of Nanomaterials*, c. 2018, 2018.
- [55] A. Miyata, A. Mitioglu, P. Plochocka, O. Portugall, J. T. W. Wang, S. D. Stranks, ve R. J. Nicholas, "Direct measurement of the exciton binding energy and effective masses for charge carriers in organic–inorganic tri-halide perovskites," *Nature Physics*, c. 11, s. 7, ss. 582-587, 2015.
- [56] G. Xing, N. Mathews, S. Sun, S. S. Lim, Y. Lam, M. Grätzel, ve T. C. Sum, "Long-range balanced electron-and hole-transport lengths in organic-inorganic $CH_3NH_3PbI_3$," *Science*, c. 342, s. 6156, ss. 344-347, 2013.
- [57] T. A. Berhe, W. N. Su, C. H. Chen, C. J. Pan, J. H. Cheng, H. M. Chen, ve B. J. Hwang, "Organometal halide perovskite solar cells: degradation and stability," *Energy & Environmental Science*, c. 9, s. 2, ss. 323-356, 2016.
- [58] M. Hirasawa, T. Ishihara, T. Goto, K. Uchida, ve N. Miura, "Magnetoabsorption of the lowest exciton in perovskite-type compound $(CH_3NH_3) PbI_3$," *Physica B: Condensed Matter*, c. 201, ss. 427-430, 1994.
- [59] T. Minemoto, ve M. Murata, "Device modeling of perovskite solar cells based on structural similarity with thin film inorganic semiconductor solar cells," *Journal of Applied Physics*, c. 116, s. 5, ss. 054505, 2014.
- [60] D. Wang, M. Wright, N. K. Elumalai, ve A. Uddin, "Stability of perovskite solar cells," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, c. 147, ss. 255-275, 2016.
- [61] J. H. Noh, S. H. Im, J. H. Heo, T. N. Mandal ve S. I. Seok, "Chemical management for colorful, efficient, and stable inorganic–organic hybrid nanostructured solar cells," *Nano Letters*, c. 13, s. 4, ss. 1764-1769, 2013
- [62] T. Leijtens, G. E. Eperon, S. Pathak, A. Abate, M. M. Lee ve H. J. Snaith, "Overcoming ultraviolet light instability of sensitized TiO_2 with meso-superstructured organometal tri-halide perovskite solar cells," *Nature Communications*, c. 4, s. 1, ss. 1-8, 2013.
- [63] A. Mei, X. Li, L. Liu, Z. Ku, T. Liu, Y. Rong, ve H. Han, "A hole-conductor-free, fully printable mesoscopic perovskite solar cell with high stability," *Science*, c. 345, s. 6194, ss. 295-298, 2014.
- [64] M. Salado, L. Contreras-Bernal, L. Calìò, A. Todinova, C. López-Santos, S. Ahmad, J. A. Anta, "Impact of moisture on efficiency-determining electronic processes in perovskite solar cells," *Journal of Materials Chemistry A*, c. 5, s. 22, ss. 10917-10927, 2017.
- [65] M. Jørgensen, K. Norrman, ve F. C. Krebs, "Stability/degradation of polymer solar cells," *Solar Energy Materials And Solar Cells*, c. 92, s. 7, ss. 686-714, 2008.
- [66] G. Niu, X. Guo, ve L. Wang, "Review of recent progress in chemical stability of perovskite solar cells," *Journal of Materials Chemistry A*, c. 3, s. 17, ss. 8970-8980, 2015.
- [67] H. S. Kim, S. H. Im, ve N. G. Park, "Organolead halide perovskite: new horizons in solar cell research," *The Journal of Physical Chemistry C*, c. 118, s.11, ss. 5615-5625, 2014.

- [68] S. Bai, Z. Wu, X. Wu, Y. Jin, N. Zhao, Z. Chen ve B. Sun, "High-performance planar heterojunction perovskite solar cells: Preserving long charge carrier diffusion lengths and interfacial Engineering," *Nano Research*, c. 7, s. 12, ss. 1749-1758, 2014.
- [69] W. Li, J. Li, L. Wang, G. Niu, R. Gao ve Y. Qiu, "Post modification of perovskite sensitized solar cells by aluminum oxide for enhanced performance," *Journal of Materials Chemistry A*, c. 1, s. 38, ss. 11735-11740, 2013.
- [70] H. S. Kim, C. R. Lee, J. H. Im, K. B. Lee, T. Moehl, A. Marchioro ve N. G. Park, "Lead iodide perovskite sensitized all-solid-state submicron thin film mesoscopic solar cell with efficiency exceeding 9%," *Scientific Reports*, c. 2, s.1, ss. 1-7, 2012.
- [71] M. M. Lee, J. Teuscher, T. Miyasaka, T. N. Murakami ve H. J. Snaith, "Efficient hybrid solar cells based on meso-superstructured organometal halide perovskites," *Science*, c. 338, s. 6107, ss. 643-647, 2012.
- [72] B. Suarez, V. Gonzalez-Pedro, T.S. Ripolles, R. S. Sanchez, L. Otero ve I. Mora-Sero, "Recombination study of combined halides (Cl, Br, I) perovskite solar cells," *The Journal Of Physical Chemistry Letters*, c. 5, s. 10, ss. 1628-1635, 2014.
- [73] J. A. Christians, P. A. Miranda Herrera ve P. V. Kamat, "Transformation of the excited state and photovoltaic efficiency of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ perovskite upon controlled exposure to humidified air," *Journal of the American Chemical Society*, c. 137, s. 4, ss. 1530-1538, 2015.
- [74] J. Yang, B. D. Siempelkamp, D. Liu ve T. L. Kelly, "Investigation of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ degradation rates and mechanisms in controlled humidity environments using in situ techniques," *ACS Nano*, c. 9, s. 2, ss. 1955-1963, 2015.
- [75] J. M. Frost, K. T. Butler, F. Brivio, C. H. Hendon, M. Van Schilfgaarde ve A. Walsh, "Atomistic origins of high-performance in hybrid halide perovskite solar cells," *Nano Letters*, c. 14, s. 5, ss. 2584-2590, 2014.
- [76] A. Hinsch, J. M. Kroon, R. Kern, I. Uhlendorf, J. Holzbock, A. Meyer ve J. Ferber, "Long term stability of dye sensitised solar cells," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, c. 9, s. 6, ss. 425-438, 2001.
- [77] J. Bisquert, F. Fabregat-Santiago, I. Mora-Seró, G. Garcia-Belmonte, E. M. Barea, ve E. Palomares, "A review of recent results on electrochemical determination of the density of electronic states of nanostructured metal-oxide semiconductors and organic hole conductors," *Inorganica Chimica Acta*, c. 361, s. 3, ss. 684-698, 2008.
- [78] K. Schwanitz, U. Weiler, R. Hunger, T. Mayer ve W. Jaegermann, "Synchrotron-induced photoelectron spectroscopy of the dye-sensitized nanocrystalline TiO_2 /electrolyte interface: band gap states and their interaction with dye and solvent molecules," *The Journal of Physical Chemistry C*, c. 111, s. 2, ss. 849-854, 2007.
- [79] Q. Fu, X. Tang, B. Huang, T. Hu, L. Tan, L. Chen ve Y. Chen, "Recent progress on the long term stability of perovskite solar cells," *Advanced Science*, c. 5, s. 5, ss. 1700387, 2018.
- [80] W. Nie, J. C. Blancon, A. J. Neukirch, K. Appavoo, H. Tsai, M. Chhowalla, ve A. D. Mohite, "Light-activated photocurrent degradation and self-healing in perovskite solar cells," *Nature Communications*, c. 7, s. 1, ss. 1-9, 2016.
- [81] J. Su, W. F. Wang, Y. Lei, L. Zhang, L. H. Xu, D. Wang ve Y. Bai, "On the growth of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ single crystal and characterization," *Physica B: Condensed Matter*, c. 537, ss. 7-11, 2018.

- [82] B. Kim, G. H. Moon, S. C. Park, J. Jang ve Y. S. Kang, "Effects of crystal size and surface coverage of perovskites on electron recombination in solar cells," *Materials Letters*, c. 242, ss. 191-194, 2019.
- [83] Z. Cheng ve J. Lin, "Layered organic–inorganic hybrid perovskites: structure, optical properties, film preparation, patterning and templating Engineering," *CrystEngComm*, c. 12, s. 10, ss. 2646-2662, 2010.
- [84] A. Pisoni, J. Jacimovic, O. S. Barisic, M. Spina, R. Gaál, L. Forró ve E. Horváth, "Ultra-low thermal conductivity in organic–inorganic hybrid perovskite CH₃NH₃PbI₃," *The Journal Of Physical Chemistry Letters*, c. 5, s. 14, ss. 2488-2492, 2014.
- [85] R. K. Misra, S. Aharon, B. Li, D. Mogilyansky, I. Visoly-Fisher, L. Etgar ve E. A. Katz, "Temperature-and component-dependent degradation of perovskite photovoltaic materials under concentrated sunlight," *The Journal Of Physical Chemistry Letters*, c. 6, s. 3, ss. 326-330, 2015.
- [86] C. Bi, Y. Shao, Y. Yuan, Z. Xiao, C. Wang, Y. Gao ve J. Huang, "Understanding the formation and evolution of interdiffusion grown organolead halide perovskite thin films by thermal annealing," *Journal of Materials Chemistry A*, c. 2, s. 43, ss. 18508-18514, 2014.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Telekomünikasyon Sektörü için Veri Madenciliği ve Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Ayrılan Müşteri Analizi

 Furkan UYANIK^{a,*},  Mustafa Cem KASAPBAŞI^b

^a Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.807922

ÖZET

Son yıllarda şirketler arası rekabetin artmasıyla beraber aboneliğinden ayrılacak müşterilerin tahmin edilmesi oldukça önemli hale gelmiştir. Müşteri karmaşası analizi, veri madenciliği, makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi alanlarda sıklıkla karşılaşılan analiz çeşitlerinden biridir. Özellikle telekomünikasyon, sigortacılık ve bankacılık gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma da veri madenciliği ve makine öğrenmesi teknikleri ile aboneliğini sonlandırma ihtimali olan müşterileri tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma Lojistik Regresyon (Logistic Regression), Karar Ağacı (Decision Tree), Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network), Torbalama (Bagging) ve Artırma (Boosting) sınıflandırma modelleri kullanılarak arasından en iyi sonucu bulmayı önermiştir. Veri setinde sınıf dengesizliği olduğu için SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique) ve ADASYN (Adaptive Synthetic Sampling Method) tekniği ile örnekleme yapılmıştır. Çalışmada, 2 adet tahmin modeli önerilmiştir ve önerilen tahmin modelleri Veri Seti, Veri Ön İşleme, Veri Örnekleme, Değerlendirme olarak 4 farklı aşamadan oluşmaktadır. Veri Ön İşleme aşamasında, kullanılmayan ve önemsiz özelliklerin veri setinden çıkartılması, normalizasyon, şifreleme (encoding) ve aşırı örnekleme gibi birçok yöntem kullanılmıştır. Performans ölçütü olarak Doğruluk Oranı (Accuracy Rate), Geri Çağırma (Recall), Hassasiyet (Precision) ve Özgünlük (Specificity), Dengelenmiş Doğruluk Oranı ve ROC Eğrisi Altındaki Alan (ROC-AUC) değeri kullanılmıştır. Performans ölçütlerine bakıldığında önerilen en iyi tahmin modeli ADASYN örnekleme yöntemi kullanılan model olmuştur. Sınıflandırma yöntemi olarak en iyi sonucu veren LightGBM (Light Gradient Boosting Machine) tekniği olmuştur. Önerilen modeller arasında Veri Ön İşleme ve Veri Örnekleme aşamalarında farklılıklar bulunmaktadır. Bu çalışmada önerilen tahmin modellerinin eğitim süresi, benzer çalışmalara göre daha iyi performans sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, sadece 58 öznitelik kullanarak 172 öznitelik kullanan benzer çalışmaların başardığına çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ayrılan Müşteri Analizi, Müşteri Karmaşası Tahmini, Veri Madenciliği, Makine Öğrenmesi, Tahmin, Örnekleme Algoritmaları, Sınıflandırma, Topluluk Sınıflandırması, Telekomünikasyon

Churn Analysis for Telecommunication Sector with Data Mining and Machine Learning

ABSTRACT

With the increasing competition among companies in recent years, it has become very important to estimate the customers who are churned. Churn is one of the most common types of analysis, especially in areas such as data mining, machine learning and deep learning. It is widely used in sectors such as telecommunications, insurance and banking. In this study, it purpose to predict customers who may end their subscription with data mining and machine learning techniques. This study proposed to find the best result from using Logistic Regression, Decision Tree, Artificial Neural Network, Bagging and Boosting classification models. For the data set was unstable, sampling was performed using SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique) and ADASYN (Adaptive Synthetic Sampling Method) technique. In the study, 2 prediction models are proposed and the

proposed prediction models consist of 4 different phases as Data Set, Data Pre-Processing, Data Sampling and Evaluation. In the Data Pre-Processing phase, many methods were used, such as removing unused and unimportant features from the data set, normalization, encoding and oversampling. Accuracy Rate, Recall, Precision and Specificity, Balanced Accuracy Rate and Area Under the ROC Curve (ROC-AUC) value were used as performance measures. Considering the performance measures, the best prediction model suggested was the model using ADASYN sampling method. As the classification method, the best success was the LightGBM (Light Gradient Boosting Machine) technique. There are differences in the Data Pre-Processing and Data Sampling stages phases the proposed models. It was determined that the prediction models proposed in this study provide better performance than similar studies. Also, in this study, results very close to those achieved by similar studies using 172 features using only 58 features were obtained.

Keywords: Churn Analysis, Data Mining, Machine Learning, Churn Prediction, Oversampling Algorithms, Classification, Ensemble Classification, Telecommunication

I. GİRİŞ

Günümüzde telekomünikasyon, sigortacılık ve bankacılık gibi birçok sektörde önemli düzeyde müşteri sirkülasyonu bulunmaktadır. Bu yüzden şirketler arasında rekabet ortamı oluşmaktadır. Rekabet ortamındaki şirketler ise müşteri kayıplarını en aza indirmek istemektedir. Buna çözüm bulmak için kullanılan yöntemlerden biri de müşterilerin isteğe bağlı veya istemsiz olarak aboneliğinin sonlandırmasını tahmin etmektir. Söz konusu analizin adı Müşteri Karmaşası Analizi (Churn Analysis) olarak geçmektedir [1].

Müşteri karmaşası terimi birçok sektörde bulunduğu için her sektör farklı tanımlama yapabilmektedir. Genel bir deyişle, mevcut bir kullanıcının veya abonenin aldığı hizmeti sonlandırmasıdır. Ayrılan Müşteri Analizi (Churn Analysis) ile ayrılacak müşteriyi izleyerek elinde tutmak, aboneliğinden ayrılma sebebini tespit etmek gibi birçok analiz çıktısı elde edilebilmektedir. Ayrılan müşteri analizini gerçekleştirmek için müşterinin aldığı hizmet sorunları, aldığı hizmetin kullanım miktarları, telekomünikasyon ağının performansı, kişisel bilgileri ve yaşadığı bölge gibi birçok bilgi göz önüne alınarak büyük veri kapsamında incelenmektedir.

Müşteri karmaşası analizinin en çok kullanıldığı sektörlerden biri de farklı hizmet sağlayıcısına geçişi kolay olması sebebiyle Telekomünikasyon sektörüdür. Telekomünikasyon sektöründe hizmet sağlayıcılar için yeni müşteri kazanmanın çok daha maliyetlidir. Bunun sebebiyle var olan müşterisini bünyesinde tutmak istemektedir. Türkiye’de 2019 yılının 4. çeyreğinde toplam mobil abone sayısı 81 milyona yaklaşmıştır. Yine 2019 yılına ait Türkiye’nin nüfusu verileri ile ilişkilendirildiğinde %98,5 oranında bir mobil hat kullanımı görülmektedir [2].

Bu çalışmanın amacı; müşteri bilgilerinin veri madenciliği, makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri ile anlamlandırılarak ayrılacak müşteri analizini yapmak ve ağırlıklı olarak hangi sebeplerden dolayı aboneliğini sonlandırdığını tahmin etmektir.

II. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Literatür içerisinde telekomünikasyon sektörüne dair birçok müşteri ayrılma analizi çalışması bulunmaktadır. Çalışmalarda performans ölçütlerinin değerini arttırmaya yönelik; yeni yöntem oluşturma, mevcut yöntemleri geliştirme, birden fazla yöntemi sentezleyerek yeni bir model oluşturma, özellik mühendisliği yapılarak bilgi üretme ve katkıda bulunmayan özniteliklerin veri setinden çıkartılması gibi birçok yöntem kullanılmıştır.

Bu bölümde öznitelik seçimi, tek sınıflandırıcı kullanılarak geliştirilen modeller ve birden fazla tekniğin birlikte kullanılarak melez (hybrid) olarak geliştirilen modeller tartışılmaktadır.

A. M. AL-Shatnwai ve arkadaşı, çalışmasında telekomünikasyon şirketlerinde müşteri tutma oranını tahmin etmek için yüksek hızda örnekleme yöntemleriyle topluluk öğrenme algoritmaları olan Gradient Boosting algoritmasına dayalı bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımda; rastgele yüksek hızda örnekleme, SMOTE, ADASYN ve Borderline SMOTE olmak üzere dört yaygın ve iyi bilinen yüksek hızda örnekleme yöntemi kullanılır ve karşılaştırılmıştır. Deneilerin ilk bölümü, yüksek hızda örnekleme yapılmadan Gradient Boosting algoritmasının SVM, Random Forest, Logistic Regression ve SGD sınıflandırıcı yöntemleri dahil diğer popüler sınıflandırmalardan daha iyi performans gösterdiğini gösterdi. Deneilerin ikinci bölümünde, yüksek hızda örnekleme yöntemleri farklı yüksek hızda örnekleme oranlarında uygulanmıştır. Deneiler, yüksek hızda örnekleme yöntemlerinin Gradient Boosting algoritmasının kayıp sınıfını tahmin etme performansını artırdığını ve en iyi F değerine yaklaşık %84 ulaşabileceğini ve SMOTE yöntemi ile %20 yüksek hızda örnekleme oranında ulaşabileceğini ortaya koymuştur [3].

A. R. Safitri ve arkadaşı, 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada SMOTE tekniğini ve genetik algoritma kullanarak Naive Bayes sınıflandırma algoritmasının doğruluğunu arttırmaya yönelik bir yaklaşım önermiştir. SMOTE tekniğini veri kümesinin sınıf dengesizliğine çözüm bulmak için kullanırken, genetik algoritma ise öznitelik seçimi yapmak için kullanmışlardır. Çalışmada Naive Bayes algoritması ile sınıflandırma yaparak doğruluk başarı oranını %47.1 olarak elde etmişlerdir. SMOTE ve Naive Bayes kullanarak doğruluk oranını %78.15 olarak elde etmişlerdir ve daha iyi bir sonuç almışlardır. Çalışmanın en iyi sonucu olarak SMOTE ile aşırı örnekleme, genetik algoritması ile öznitelik seçimi ve Naive Bayes ile sınıflandırma algoritması kullanılmıştır ve başarı ölçüsü olan doğruluk oranını %78.46 olarak elde etmiştir [4].

D. Wadikar, çalışmasında bir Credit Union finans kurumunun müşteri kayıp analizini kesin olarak tahmin edebilen bir makine öğrenimi modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. Sınıf dengesizliği sorununu, özellik seçimini ve müşteri kaybını verimli bir şekilde tahmin eden denetimli bir makine öğrenimi modeli oluşturmak için nicel ve tündengelimle araştırma stratejileri kullanmıştır. Müşteri kayıp analizini gerçekleştirmek için denetimli makine öğrenimi yöntemleri olan Lojistik Regresyon, Rasgele Orman, Destek Vektör Makinesi (SVM) ve Sinir Ağı yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmasında en iyi sınıflandırıcıyı belirlemek için Doğruluk Oranı, ROC eğrisi ve AUC-ROC çıktılarını başarı ölçütleri olarak kullanmıştır. Aşırı örnekleme yöntemi olarak SMOTE tekniğini kullanmıştır. Önerilen modeller arasında en iyi sınıflandırıcı olarak Random Forest (Rastgele Orman) algoritması tespit edilmiştir [5].

H. Abbasimehr ve diğerleri, erişime açık Larose isimli telekomünikasyon veri kümesini kullanarak müşteri kaybı tahmin (customer churn prediction) analizi yapmıştır. Çalışmasında topluluk öğrenimi algoritmaları ve bunun yanında en yaygın olan Karar Ağaçları, Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makinesi gibi birçok algoritma kullanarak en iyi sonucu almayı amaçlamıştır. Çalışmasının ilk aşamasında temel öznitelik çıkarım işlemi yaparak sembolik değerler taşıyan öznitelikleri veri kümesinden çıkarmıştır. Sonraki adımlarda SMOTE aşırı örnekleme tekniğiyle beraber başarı ölçütlerini karşılaştırarak ve değerlendirerek bir sonuç elde etmişlerdir. Başarı ölçütü olarak AUC, Sensivity, Specificity gibi kriterleri baz almışlardır. Çalışmada kullanılan yöntemler melez (hybrid) olarak birbiriyle beraber kullanılmıştır ve en iyi sonucu veren 2 adet model önerilmiştir. Çalışmanın en iyi sonuç veren modeller Boosting+RIPPER ve Boosting+C4.5 olarak belirlenmiştir ve önerilmiştir [6].

J. Vijaya ve diğerleri, 2018 yılında yapmış oldukları çalışmada yüksek boyutlu müşteri verilerini işlemek için öznitelik seçimi ve grup sınıflandırmasına bütünleşmiş bir yaklaşım önermiştir. Ön işleme sürecinden sonra Rough Set Feature Selection (RSFS), Correlation Feature Selection (CFS), Information Gain (IG), Forward Search (FS), Backward Search (BS) teknikleri kullanılarak özellik seçimi yapılmaktadır. Sonrasında öznitelik seçimi teknikleri beraber kNN, Decision Tree (DT), Support Vector Machine (SVM), Naive Bayes (NB), Artificial Neural Network (ANN) ve Ensemble Learning (Bagging, Boosting, Random Subspace) yöntemlerini kullanarak en iyi sonuçları elde etmeye çalışmıştır. Çalışmada en iyi sonucu, RSFS ve Boosting yöntemlerini kullanarak elde etmiştir [7].

N. N. A Sjarif ve diğerleri, 2019 yılında yapmış oldukları çalışmada 7043 kayıt ve 21 özneliği bulunan bir veri kümesi kullanmıştır. Ön işleme safhasında özneliklerin seçimi için Pearson

Korelasyon Katsayısı (Pearson Correlation Coefficient) olarak adlandırılan standart korelasyon yöntemi kullanılmıştır. Geliştirdikleri modelde KNN (K Nearest Neighbor), Random Forest ve Support Vector Machine yöntemlerini kullanarak en iyi sonucu elde etmeye çalışmıştır. Sonuçlara bakıldığında KNN yönteminin diğer yöntemlere göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Performans ölçütü olarak doğruluk oranı temel alınmıştır [8].

L.H. Shuan ve diğerleri, 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada veri kümesini UCI Machine Learning Repository adlı kaynaktan elde etmiştir. Çalışmada, veri kümesini 2 tip olarak ayırmıştır. İlk veri kümesinde tüm öznitelikler bulunmaktadır. İkinci veri kümesinde ise öznitelikler için seçim yaparak sayısını azaltmıştır. Önerdikleri modelde 2 adet yöntem kullanılmıştır. Birinci yöntemde kümeleme yöntemi olan K-Means ile Naive Bayes yöntemlerini birleştirmiştir. İkinci yöntemde ise EWD yöntemini kullanmıştır. Performans çıktılarına bakıldığında K-Means ve Naive Bayes yönteminin birlikte kullanıldığı yaklaşımın, EWD yönteminden daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca küme sayısının artırılması ile karmaşıklık matrisi içerisinde bulunan Gerçek Pozitif sayısını iyileştirdiğini kanıtlamışlardır. Performans ölçütü olarak doğruluk oranı ve hassasiyet kullanılmıştır [9].

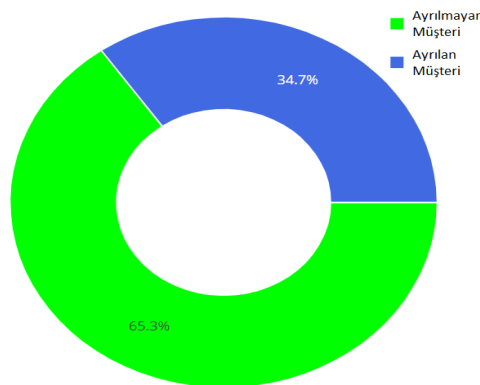
Guan Li, Koh ve diğerleri 2019 yılında yapmış oldukları çalışmada veri kümesini Kaggle Open Datasets adlı kaynaktan elde etmiştir. Ön işleme bölümünde veri kümesine normalizasyon uygulanmıştır ve ayrıca ROSE örnekleme yöntemini kullanarak veri kümesini dengelemiştir. Çalışmasında temel sınıflandırma yöntemleri olan Naive Bayes, Decision Tree ve Artificial Neural Network yöntemlerini kullanmıştır. Ayrıca bu yöntemleri Grid Search olarak adlandırılan hiper parametre ayarlaması yöntemi ile beraber kullanılmıştır. Çıktılara bakıldığında Grid Search algoritmasıyla birlikte kullanılan temel sınıflandırma yöntemleri daha iyi sonuç vermiştir. Performans ölçütü olarak doğruluk oranını temel almıştır [10].

III. METODOLOJİ

Bu çalışmanın önerilen tahmin modelleri 2.60 GHz CPU, 16 GB RAM özelliklerini taşıyan Windows 10 işletim sistemine ait bir bilgisayarda geliştirilmiştir. Ayrıca çalışma ortamında Python yazılım dili ile geliştirilmiştir ve Python 3.8.6 versiyonu kullanılmıştır.

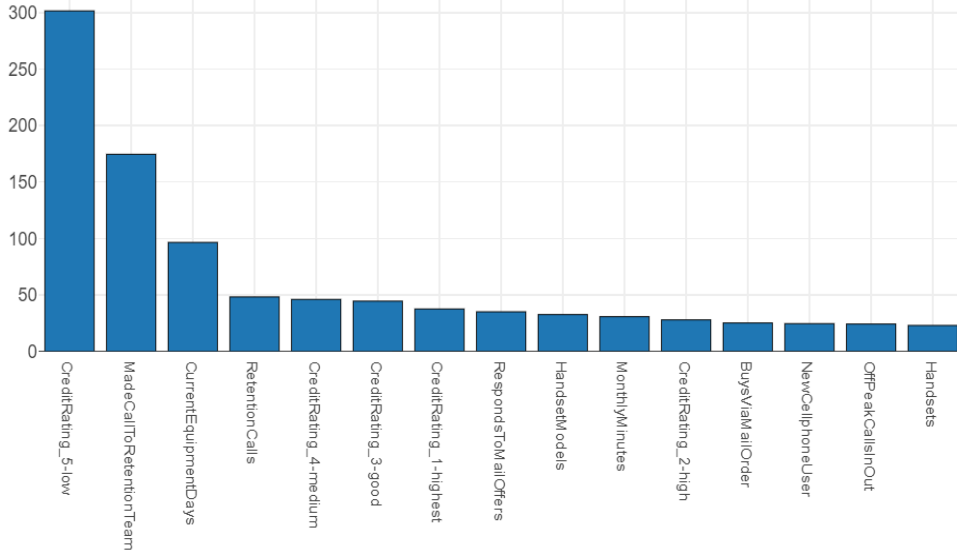
A. VERİ KÜMESİ

Bu çalışmada cell2cell veri kümesi kullanılmıştır [11]. Veri kümesinde 51.047 abonenin bilgisi bulunmaktadır. Ayrıca abonelerin 33.335'i yani %65.3'ü hizmet almaya devam ederken 17.712'i yani %34.7'si aldığı hizmeti sonlandırmıştır. Bu yüzden veri kümesinde bir sınıf dengesizliği bulunmaktadır. Bu konu "Veri Aşırı Örnekleme" başlığı altında detaylı olarak ele alınmıştır.



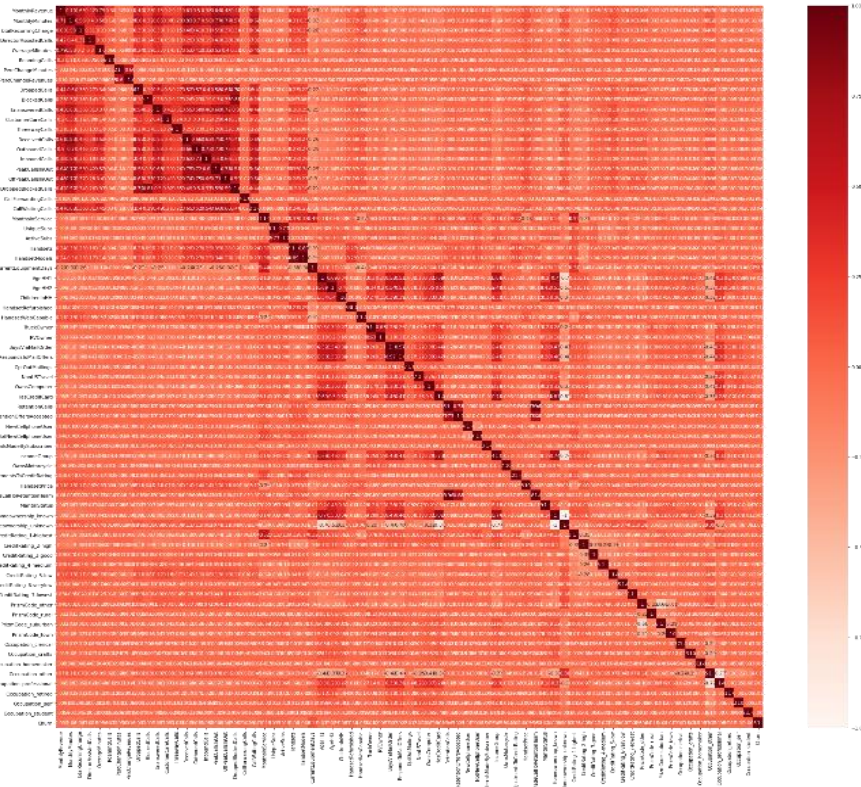
Şekil 1. Aldığı Hizmetin Aboneliğinden Ayrılan & Ayrılmayan Müşteri Oranı

Her abonenin 35 sayısal, 23 kategorik öz niteliği olmak üzere toplamda 58 adet öz nitelik vardır ve eksik veriler bulunmaktadır. Sayısal öz niteliklerin tümü oransal ölçek türündedir. Kategorik öz nitelikler ise nominal ölçek türündedir. Veri kümesinin en seçici 10 öz niteliği Univariate Feature Selection yöntemi kullanılarak bulunmuştur ve Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Univariate Feature Selection yöntemi ile en seçici öz nitelikler

Ayrıca öz niteliklerin arasındaki ilişkiyi tespit edebilmek için Pearson Correlation Coefficient yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir ve bu analize göre renklendirilmiştir. Bu renklendirme Şekil 3’te gösterilmektedir.



Şekil 3. Pearson Correlation Coefficient yöntemi ile öz niteliklerin birbiriyle olan ilişkisi

B. VERİ ÖN İŞLEME

Veri kümesinde benzersiz (unique) değer taşıyan öznitelikler, analize katkıda bulunamayan öznitelikler bulunmaktadır. Dolayısıyla ilk adımda CustomerID, ServiceArea ve Handsets olan öznitelikler veri setinden çıkartılmıştır.

Veri kümesinin %2'si kayıp veya bilinmeyen değerlerden oluşmaktadır. Bu değerlerin tümü sayısal özniteliklerin içerisinde bulunmaktadır. Eksik verilerin tamamlanması için özniteliklerin aritmetik ortalamaları alınarak bahsi geçen eksik değerlere atanmıştır.

Diğer bir ön işleme safhası olan kısım ise kategorik değerlerin sayısallaştırılmasıdır. Çoğu makine öğrenme algoritması kategorik verileri kullanmamaktadır. Bazı öznitelikler "Yes" ve "No" değerlerinden oluşmaktadır. Buna benzer öznitelikler 1 ve 0 olarak değiştirilmiştir.

Bir sonraki adım olarak veri kümesine, normalizasyon yöntemi uygulanmıştır. Bahsi geçen normalizasyon yöntemi, sayısal değerler arasındaki yüksek varyansların hesaplarda birbirlerini etkilememesi için kullanılmıştır. Ayrıca sayısal öznitelikler birbirleriyle karşılaştırılmak istendiğinde ortak bir sayı sisteminde bulunması son derece önemlidir. Normalizasyon için en yaygın olan Min-Max Normalization yöntemi kullanılmıştır.

Ayrıca ikiden fazla değere sahip olan kategorik öznitelikler için One-Hot Encoding yöntemi kullanılmıştır [12]. Bu yöntem sonunda veri kümesinde bulunan tüm öznitelikler sayısal özniteliklere dönüştürülmüştür.

Son olarak ise veri kümesinde bir sınıf dengesizliği mevcuttur. Veriyi dengeye almak amacıyla aşırı örnekleme algoritmalarından SMOTE ve ADASYN teknikleri kullanılmıştır.

B. 1. Min-Max Normalizasyon

Min-Max normalizasyon yöntemi, ham veri kümesinin minimum ve maksimum değerlerini bulur ve Denklem (1)'de verilen formüle göre her bir giriş değerini 0 ve 1 aralığında doğrusal olarak normalleştirir. Min-Max normalleştirme yöntemiyle ilgili temel sorun, minimum ve maksimum hesaplamada kullanılan örnek olmayan veri kümesinin değerleri bilinmemektedir [13].

$$N_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

B. 2. One-Hot Encoding

One-Hot Coding en yaygın kullanılan kodlama şemasıdır. Kategorik değişkenin her seviyesini sabit bir referans seviyesiyle karşılaştırır. Bir sıcak kodlama, n gözlem içeren ve d farklı değerli tek bir değişkeni, her biri n gözlemi olan d ikili değişkene dönüştürür. Her gözlem, ikili değişkenin varlığını (1) veya yokluğunu (0) gösterir [12].

C. VERİ AŞIRI ÖRNEKLEME

Veri kümesinde sınıf dengesizliği söz konusu olduğunda dengeyi sağlayabilmek için baskın olan verinin sayısını düşürmek veya azınlık olan veriyi arttırmak gerekmektedir. Bu yöntemlerin genel adına Oversampling ve Undersampling adı verilmektedir.

Aşırı örnekleme (oversampling) yöntemi, eğitim setindeki azınlık sınıfı üyelerinin sayısını arttırmayı amaçlamaktadır. Aşırı örneklemenin avantajı, tüm üyeleri azınlık ve çoğunluk sınıflarından koruduğumuz için orijinal eğitim setinden hiçbir bilginin kaybolmamasıdır [14].

Bu çalışmada ise azınlık olan sınıfın verilerini, aboneliğini sonlandırmış olan müşterilerin, sayısı arttırılmıştır ve veri kümesini dengeye getirmek amacıyla SMOTE ve ADASYN olmak üzere toplam da 2 adet aşırı örnekleme tekniği kullanılmıştır.

C. 1. SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique)

SMOTE yaklaşımı, el yazısı karakter tanımda başarılı olan bir teknikten esinlenmiştir. "Veri alanı" yerine "özellik alanı" içinde çalışarak sentetik örnekleri daha az uygulamaya özgü bir şekilde üretiyoruz [15].

Azınlık sınıfı, her azınlık sınıfı örneği alınarak ve en yakın komşulardaki k azınlık sınıfının herhangi birini / tümünü birleştiren çizgi parçaları boyunca sentetik örnekler verilerek aşırı örneklenir. Gereken aşırı örnekleme miktarına bağlı olarak, en yakın k komşularından gelen komşular rastgele seçilir [15].

C. 2. ADASYN (Adaptive Synthetic Sampling Method)

ADASYN'in temel fikri, öğrenmesi daha zor olan azınlık sınıfı örnekleri için daha fazla sentetik verinin üretildiği, öğrenme güclüğü düzeylerine göre farklı azınlık sınıfı örnekleri için ağırlıklı bir dağılım kullanmaktır [16].

ADASYN yaklaşımı veri dağılımları ile ilgili öğrenmeyi iki şekilde geliştirir: (1) sınıf dengesizliğinin getirdiği sapmanın azaltılması ve (2) sınıflandırma karar sınırının zor örneklere uyarlanabilir şekilde kaydırılması [16].

D. YÖNTEMLER

D. 1. Bagging (Torbalama) Algoritması

Bagging (Torbalama) algoritması, L. Breiman tarafından önerilen topluluk sınıflandırması için bir yöntemdir [17]. Bagging terimi, Bootstrap (Önyükleme) ve Aggregating (Toplama/Birleştirme) teriminin birleşiminden oluşan kısaltılmış bir ifadedir.

Bagging, bir grup tahminciyi kullanarak ve birleştirerek daha iyi bir başarı elde etmeyi amaçlamaktadır. Bagging yönteminde, bazı bağımsız hatalar yapan bazı tahmincilere ihtiyaç vardır. Bagging algoritmasına göre Bootstrap yöntemini kullanarak örnekleme yoluyla eğitim veri kümesinden k adet alt küme oluşturur. Daha sonra her bir alt kümeye olacak şekilde k adet sınıflandırıcı oluşturulur. Sınıflandırıcılar en son toplanarak tek bir yerde birleştirilir. Algoritmanın tahmin adımı ise farklı k öğrenici için çoğunluk oylamasına göre tahmin edilmektedir.

$$\widehat{f}_{bag} = \widehat{f}_1(x) + \widehat{f}_2(x) + \dots + \widehat{f}_b(x) \quad (2)$$

Denklem (2)'de sol taraftaki terim toplu bir tahminciyi temsil etmektedir. Sağ taraftaki terimler ise bireysel tahmincilerdir.

D. 2. Boosting (Güçlendirme) Algoritması

Boosting, bir dizi "zayıf" sınıflandırıcıyı yüksek doğrulukla "güçlü" olacak şekilde birleştirmek için etkili bir yöntemdir. Boosting sadece deneysel olarak güçlü bir öğrenme algoritması değildir, aynı zamanda sınıflandırma hatasının üst sınırını en aza indirmede optimal olduğu da kanıtlanmıştır [18].

İlk ve en yaygın kullanılan Boosting algoritması Adaptive Boosting algoritması olarak literatüre geçmektedir.

D. 3. Pearson Correlation Coefficient (Pearson Korelasyon Katsayısı) Yöntemi

Pearson Correlation Coefficient tekniği, iki sayısal ve sürekli olan değişkenler arasındaki doğrusal bağımlılık ilişkisini istatistiksel olarak ölçmek amacı ile kullanılan en yaygın yöntemlerden birisidir. Kovaryans yöntemine dayanmaktadır.

Bu teknik ile veri kümesindeki her bir öznitelik için korelasyon katsayısı bulunursa, öznitelikler arasında bulunan doğrusal bağımlılık ilişkisi tespit edilmiş olur.

$$r = \frac{\sum(x-m_x)(y-m_y)}{\sqrt{\sum(x-m_x)^2 \sum(y-m_y)^2}} \quad (3)$$

Denklem 3'teki gibi x ve y terimleri, n uzunluğunda iki vektördür. m_x terimi x 'in ve m_y terimi y 'nin ortalamasına karşılık gelmektedir. Ayrıca r korelasyon katsayısı olarak isimlendirilmektedir. Korelasyon katsayısı -1 ile +1 arasında bir değer almaktadır.

Korelasyon katsayısının değeri 0 ise iki değişken arasında bir ilişki olmadığını, negatif (negatif korelasyon) ise birbirleri arasında zıt ilişki olduğunu, pozitif sayı (pozitif korelasyon) ise birbirleri arasında ilişki olduğunu göstermektedir. Matematiksel ifadesi Denklem (4) olarak gösterilmiştir.

$$f(r) = \begin{cases} \text{negatif korelasyon, zıt ilişkili, } r < 0 \\ \text{pozitif korelasyon, ilişkili, } r > 0 \\ \text{ilişki yok, } r = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Bu yöntemin görsel hali Şekil 3'te gösterilmektedir. Şekil 3'te bulunan görselle göre iki özneliğe karşılık gelen renk; ne kadar koyu olursa o kadar ilişkilidir yani pozitif korelasyon, ne kadar açık olursa o kadar zıt ilişkilidir yani negatif korelasyon bulunmaktadır.

D. 4. Univariate Feature Selection (Tek Değişkenli Öznitelik Seçimi) Yöntemi

Tek değişkenli, farklı istatistiksel puanlama işlevlerine dayalı olarak özelliklerin sıralı bir listesini döndüren bir özellik seçme yöntemidir. Veri kümesi özniteliklerini kullanmadan önceki bir ön işleme adımıdır [19].

Çalışmada öznitelik seçimi yöntemi olarak bu yöntem kullanılmaktadır. Ayriyeten özniteliklerin arasındaki ilişki hakkında bilgi almak amacıyla Pearson Korelasyon Katsayısı yöntemi kullanılmaktadır ve bu çalışmaya etki etmemektedir.

D. 5. Logistic Regression (Lojistik Regresyon) Yöntemi

Regresyon yöntemleri, bir sınıf özneliği ile bir veya daha fazla öznitelik arasındaki ilişkiyi açıklamakla ilgili herhangi bir veri analizinin ayrılmaz bir bileşeni haline gelmiştir. Lojistik Regresyon algoritmasında çoğunlukla sınıf özneliği ayrık tipte değer taşır ve iki veya daha fazla olası değeri alır. Lojistik regresyon modeli, bu verilerin analizi için en sık kullanılan regresyon modelidir [20].

D. 6. Random Forest (Rastgele Orman) Yöntemi

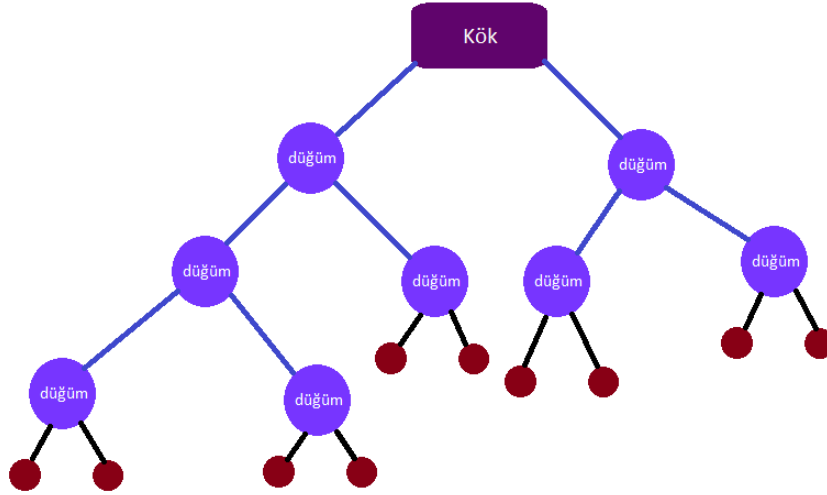
Rastgele Orman yöntemi [21], eğitim veri setinin önyükleme örnekleri üzerinde büyüyen ve ağaç yapımı sürecinde rastgele özellik seçimini içeren bir karar ağaçları topluluğu algoritmasıdır. Yapılan tahminler, tek tek tüm ağaçların tahminlerinin toplanmasıyla yapılır. Rastgele Orman, karar ağaçlarının toplulukları olduğu için, tek ağaca dayalı sınıflandırıcılara göre kesinlikle önemli performans artışı sergiler. Rastgele Orman, büyük boyutlu verilerin işlenmesinde iyi bir seçim olarak kabul edilmesine rağmen, dengesiz eğitim veri kümesi durumunda da zarar görür. Rastgele Orman,

genel hata oranını en aza indirir ve bu nedenle dengesiz veri kümesi durumunda daha yüksek toplam doğruluk, bazen azınlık sınıfının gerçek tahminini zayıflatır [22].

Telekomünikasyon veri kümeleri normalde daha yüksek derecede çarpıklıktan mustarıptır, bu nedenle Rastgele Orman bazen kayda değer bir performans sergilemekten mustarıptır [22].

D. 7. Decision Tree (Karar Ağacı) Yöntemi

Karar Ağaçları denetimli bir sınıflandırma yaklaşımı içerir. Fikir, bir kök ve düğümlerden (dalların bölündüğü konumlar), dallardan ve yapraklardan oluşan sıradan ağaç yapısından geldi. Benzer şekilde, daireleri temsil eden düğümlerden bir Karar Ağacı oluşturulur ve dallar, düğümleri birbirine bağlayan bölümler tarafından temsil edilir. Bir Karar Ağacı kökten başlar, aşağı doğru hareket eder ve genellikle soldan sağa doğru çizilir. Ağacın başladığı yerdeki düğüme kök düğüm denir. Zincirin bittiği düğüm, "yaprak" düğüm olarak bilinir. Her iç düğümden, yani yaprak düğüm olmayan bir düğümden iki veya daha fazla dal uzatılabilir. Bir düğüm belirli bir özelliği temsil ederken, dallar bir dizi değeri temsil eder. Bu değer aralıkları, verilen karakteristiğin değerler kümesi için bir bölme noktası görevi görür. Şekil 4, bir ağacın yapısını açıklamaktadır [23].

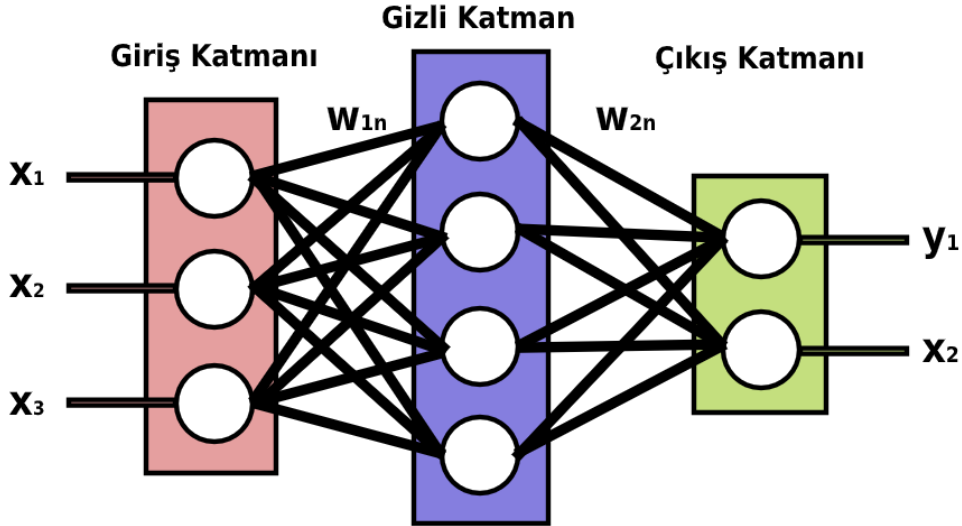


Şekil 4. Decision Tree (Karar Ağaçları) Yöntemi Ağaç Yapısı

D. 8. Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağları) Yöntemi

İnsan beyninde tüm kararlar, vücudumuzda doğal olarak bulunan ve temel yapı taşı olan "nöron" dan oluşan sinir ağları aracılığıyla alınır. Biyolojik nöron, diğer nöronlardan veri almaktan sorumlu olan dendritlerden oluşur, hücre gövdesi içeriden alınan tüm girdileri toplar ve verileri nöronun dışındaki akson aracılığıyla verir. Tüm iletişim ve işlemler, önceki nörondan gelen dendritler ve akson arasında bir bağlantı noktası olan sinapslar aracılığıyla elektrik sinyallerinde gerçekleştirilir [24].

Benzer şekilde, yapay nöron girdilerinde $x_1 x_2 \dots x_n$ her nöron tarafından alınır ve karar verme için toplama ve aktivasyon / transfer fonksiyonu için eklenir. Çıktı, Şekil 5'te verilen tüm sinir ağı tarafından alınan ortak karar temelinde dışarıdan alınır [24].



Şekil 5. Artificial Neural Network Yöntemi Ağaç Yapısı

Benzer şekilde, yapay nöron girdilerinde $x_1, x_2 \dots x_n$ her nöron tarafından alınır ve karar verme için toplama ve aktivasyon / transfer fonksiyonu için eklenir. Çıktı, tüm sinir ağı tarafından alınan ortak karar temelinde dışarıdan alınır. Nöron, üç ana katmandan (giriş, gizli ve çıkış katmanları) oluşur. Giriş değeri x_i nörona uygulandığında, ağırlık eklenir ve sonuçlanır:

$$o_k = f(\sum w_i x_i + b_j) \quad (5)$$

Denklem (5)'te bir yapay sinir ağının çıktı değerini formüle etmek için tanımlanmaktadır. w_i her girdi verisi (x_i) için ağırlığı ve b_j her algılayıcı için sapmayı temsil etmektedir. Yapay sinir ağının çıktısı ise o_k olarak tanımlanmaktadır.

E. PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ

Çalışmanın amacı, derin öğrenme ve makine öğrenmesi algoritmaları ile en iyi performansı veren tahmin modelini oluşturmaktır.

Doğruluk (accuracy) ölçüsü her sınıfı eşit derecede önemli gördüğü için, nadir sınıfın çoğunluk sınıfından daha ilginç olduğu düşünülen dengesiz veri kümelerini analiz etmek için uygun olmayabilir. İkili sınıflandırma için, nadir sınıf genellikle pozitif sınıf olarak, çoğunluk sınıfı ise negatif sınıf olarak ifade edilir. Bir sınıflandırma modeli tarafından doğru veya yanlış tahmin edilen örnek sayısını özetleyen matrise, karışıklık matrisi denir [25]. Şekil 6'da gösterilmektedir.

		Tahmin Edilen Değerler	
		Pozitif	Negatif
Gerçek Değerler	Pozitif	TP Doğru, Pozitif	FN Yanlış, Negatif
	Negatif	FP Yanlış, Pozitif	TN Doğru, Negatif

Şekil 6. Karışıklık Matrisi

Bunun için Karışıklık Matrisi (Confusion Matrix) ile performans ölçütleri yardımıyla değerlendirilmiştir. Performans ölçütü olarak aşağıda verilen metrikler kullanılmıştır.

E. 1. Doğruluk Oranı (Accuracy Rate)

Bu oran ile verilen modelin ne kadar doğru çalıştığı, doğru pozitif ve doğru negatifin diğer değerlere oranı Denklem (6)'daki gibi hesaplanarak bulunur.

$$\text{Doğruluk Oranı} = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \quad (6)$$

E. 2. Geri Çağırma (Recall)

Duyarlılık (Sensitivity) olarakta bilinir, doğru pozitif tahmin edilen ilgili örneklerin, gerçek tüm pozitif miktarına oranıdır. Sonuçlar ne kadar eksiksiz sorusuna cevap verir. Denklem (7)'deki gibi hesaplanır.

$$\text{Geri Çağırma} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (7)$$

E. 3. Hassasiyet (Precision)

Hassasiyet, bazen pozitif tahmin değeri (positive predictive value) olarak da bilinir, doğru pozitif tahminlerin, pozitif tahminlere oranıdır. Arama sonuçları ne kadar geçerli sorusuna cevap verir. Denklem (8)'deki gibi hesaplanarak bulunur.

$$\text{Hassasiyet} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (8)$$

E. 4. Özgünlük (Specificity)

Özgünlük, negatif olarak sınıflandırılan gerçekten olumsuz durumların oranıdır; dolayısıyla, sınıflandırıcının olumsuz durumları ne kadar iyi tanımladığının bir ölçüsüdür. Aynı zamanda gerçek negatif oran (true negatif rate) olarak da bilinir. Denklem (9)'daki gibi hesaplanarak bulunur.

$$\text{Özgünlük} = \frac{TN}{FP+TN} \quad (9)$$

E. 5. Dengelenmiş Doğruluk Oranı (Balanced Accuracy Rate)

Dengeli doğruluk, bir ikili sınıflandırıcının ne kadar iyi olduğunu değerlendirirken kullanabileceği bir ölçüdür. Özellikle sınıflar dengesiz olduğunda, yani iki sınıftan biri diğerinden çok daha sık görüldüğünde kullanışlıdır. Denklem (10)'daki gibi hesaplanır.

$$\text{Dengelenmiş Doğruluk Oranı} = \frac{\text{Geri Çağırma} + \text{Özgünlük}}{2} \quad (10)$$

E. 6. F1 Skoru (F1-Score)

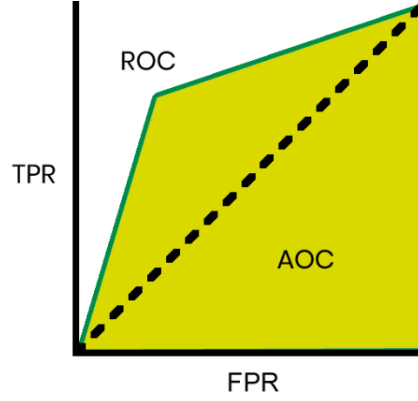
Hassasiyet ve geri çağırmanın harmonik ortalamasıdır. Testlerin doğruluğunun bir ölçütüdür. Denklem (11)'deki gibi hesaplanır.

$$\text{F1 Skoru} = 2x \left(\frac{\text{Hassasiyet} \times \text{Geri Çağırma}}{\text{Hassasiyet} + \text{Geri Çağırma}} \right) \quad (11)$$

E. 7. ROC Eğrisinin Altında Kalan Alan Değeri (ROC-AUC)

Bir alıcının çalışma karakteristiği (ROC) eğrisi, bir sınıflandırıcının gerçek pozitif oranı ile yanlış pozitif oranı arasındaki dengeyi göstermek için grafiksel bir yaklaşımdır. Bir ROC eğrisinde, doğru pozitif oranı y eksenini boyunca çizilir ve yanlış pozitif oranı x ekseninde gösterilir [25].

ROC-AUC ölçüsü ise ROC eğrisinin altında kalan alanı temsil etmektedir.



Şekil 7. ROC eğrisinin altında kalan alan değer grafiği

F. ÖNERİLEN TAHMİN MODELLERİ

Bu çalışmada, toplamda 2 adet tahmin modeli önerilmiştir. Yüksek boyutlu veri kümesinde müşteri verilerine; normal ön işleme, öznitelik seçimi, aşırı örnekleme ve normalizasyon yöntemleri uygulanan 2 adet tahmin modeli önerilmiştir. Önerilen tahmin modellerinin arasındaki fark; aşırı örnekleme yöntemlerinin farklı olmasından ve öznitelik seçimi yöntemini sadece ADASYN aşırı örnekleme yöntemi ile kullanılmasından dolayıdır.

ADASYN ile önerilen tahmin modeli, Univariate Feature Selection tekniğiyle birlikte çalıştığında daha doğru sonuçlar alındığı gözlemlendiği için ADASYN ile Önerilen Tahmin Modeli'ne eklenmiştir. SMOTE ile önerilen tahmin modelinde ise aynı işlem yapılmıştır fakat Univariate Feature Selection tekniği ile belirgin bir iyileştirme elde edilemediği için SMOTE ile Önerilen Tahmin Modeli'nden çıkarılmıştır.

Her iki model içinde ön işleme safhasının ilk adımı olan gereksiz, önemsiz öznitelikler veri kümesinden çıkartılmıştır. Çıkartılan öznitelikler için kullanıcının kimlik numarası, müşterinin hizmet alanı gibi örnekler verilebilir. Bu ön işleme safhası, Univariate Feature Selection öznitelik seçimi ile karıştırılmamalıdır.

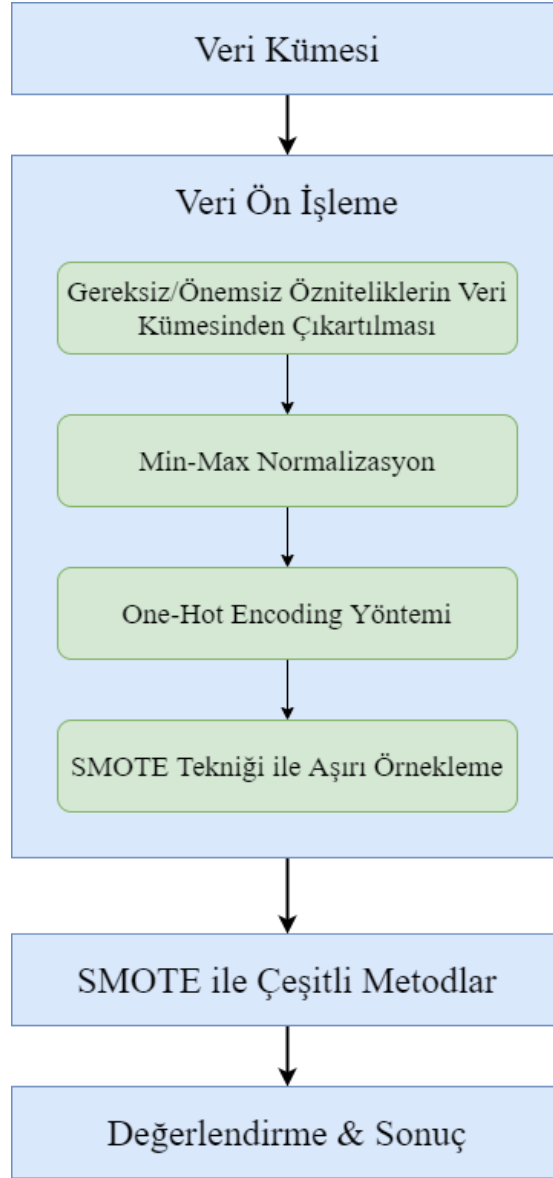
Birinci tahmin modelinde Univariate Feature Selection öznitelik seçimi yapılmamakla beraber SMOTE aşırı örnekleme yöntemi kullanılmıştır. İkinci tahmin modelinde ise Univariate Feature Selection yöntemi ile birbiriyle ilişkisi olmayan öznitelikler veri kümesinden çıkartılmıştır ve aşırı örnekleme yöntemi olarak ADASYN yöntemi kullanılmıştır.

ADASYN ve SMOTE algoritmalarının temel farkı; ADASYN algoritmasının ana fikri yoğunluk dağılımını kullanmaktır. SMOTE algoritması ise her orijinal azınlık örneği için aynı sayıda sentetik numune üretir [16].

F. 1. SMOTE ile Önerilen Tahmin Modeli

SMOTE algoritması aşırı örnekleme algoritmalarına göre en yaygın olarak kullanılan algoritmalarından biridir. Bu modelde, öznitelik seçimi yapılmamış olup Min-Max Normalizasyonu ve SMOTE aşırı örnekleme yöntemi ve yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, önerilen diğer tahmin modeline göre

doğruluk oranı (accuracy rate) biraz daha iyi performans vermiştir. İlgili model için en iyi sonucu Light Gradient Boosting Machine algoritması vermiştir. Bu model Şekil 8 olarak tanımlanabilir.

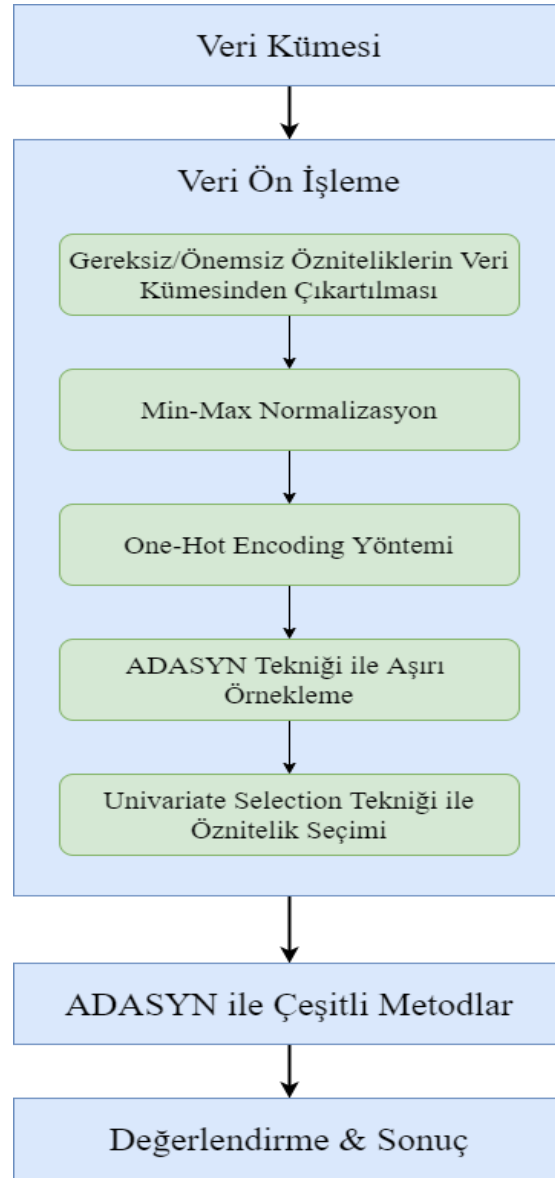


Şekil 8. SMOTE tekniği ile Önerilen Tahmin Modeli

F. 2. ADASYN ile Önerilen Tahmin Modeli

Bu modelde ise Min-Max Normalizasyonu ve ADASYN aşırı örnekleme yöntemi kullanılmasının yanı sıra Univariate Feature Selection algoritması yardımıyla birbiri ile ilişkili olan özellikler kullanılarak analiz edilmiştir ve toplamda 56 adet özellik kullanılmıştır. Çalışmada, önerilen diğer tahmin modeline göre özgünlük (specificity) ve hassasiyet (precision) daha iyi performans vermiştir.

Bu model Şekil 9 olarak tanımlanabilir.



Şekil 9. ADASYN tekniği ile Önerilen Tahmin Modeli

G. DEĞERLENDİRME & TARTIŞMA

Bu çalışmada önerilen tahmin modelini bulmak için makine öğrenmesi algoritmaları, derin öğrenme algoritmaları ve topluluk sınıflandırma teknikleri kullanılmış ve her biri için eğitim yapılmıştır. Bunlar sırasıyla Decision Tree, Artificial Neural Network, Logistic Regression, Bagging ve Boosting algoritmalarıdır.

Çalışmada aşırı örnekleme yöntemlerini kullanan ve kullanmayan tahmin modelleri olmak üzere 2 farklı model tipi oluşturulmuştur. Aşırı örnekleme yöntemlerini kullanan tahmin modelleri, kullanmayan modellere göre çok daha iyi bir başarı göstermiştir. Bu yüzden çalışmada önerilen modellere Önerilen Tahmin Modeller'i denmiştir. Önerilen tahmin modellerinde SMOTE ve ADASYN aşırı örnekleme yöntemleri kullanılmıştır.

G. 1. Aşırı Örnekleme Yöntemi Kullanmadan Eğitilen Tahmin Modelleri

Bu bölümde önerilmeyen tahmin modelleri anlatılmaktadır. Veri kümesine SMOTE, ADASYN gibi aşırı örnekleme yöntemleri kullanılmadan sadece sınıflandırma algoritmaları kullanarak eğitilen

modellerdir. Aşırı örnekleme kullanılmadan eğitilen modellerin başarısı, aşırı örnekleme yapılan modellere göre başarı elde edememiştir. Bu yüzden çalışmada ilgili tahmin modellerine yer verilmemiştir. Ayrıca önerilmeyen tahmin modellerine ait başarı oranları Tablo 1’ de gösterilmektedir.

Tablo 1. Önerilmeyen tahmin modellerinin başarı oranları

	Doğruluk Oranı (%)	Geri Çağırma (%)	Hassasiyet (%)	Özgünlük (%)	Dengelenmiş Doğruluk Oranı (%)	F1 Skoru (%)	ROC-AUC (%)
LightGBM	72.3	12.8	59.2	96.4	54.6	21.1	68.2
Hist Gradient Boosting	72.4	12.7	59.8	96.6	54.6	20.9	68.2
CatBoost	72.6	15.7	59.4	95.6	55.7	24.9	68.6
XGBoost	71.6	19.7	52.1	92.6	56.2	28.6	66.5
AdaBoost	71.6	9.9	54.5	96.6	53.2	16.7	66.1
Bagging	70.1	17.4	45.3	91.4	54.4	25.2	61.9
Logistic Regression	71.1	2.6	47.8	98.8	50.7	4.9	61.4
Decision Tree	62.0	35.7	35.0	72.8	54.2	35.3	54.2
Artificial Neural Network	69.4	7.2	40.3	95.4	51.3	12.2	61.2
Random Forest	65.4	37.9	39.5	76.5	57.2	38.7	61.9

G. 2. Aşırı Örnekleme Yöntemi Kullanarak Eğitilen Tahmin Modelleri

Bu bölümde önerilen tahmin modelleri anlatılmaktadır. Veri kümesine SMOTE ve ADASYN aşırı örnekleme yöntemleri kullandıktan sonra sınıflandırma algoritmaları ile eğitilen modellerdir.

İki tahmin modeli içinde en iyi sonucu veren algoritmalar birbirine çok yakın sonuçlardan oluşmaktadır ve en iyi sonucu veren topluluk sınıflandırma tekniği olan Light Gradient Boosting Machine (LightGBM) olarak tespit edilmiştir.

İlgili veri kümesi için performans ölçütlerinin çıktılarını bakıldığında, topluluk sınıflandırma tekniklerinin temel sınıflandırma algoritmalarına göre daha iyi çalıştığı incelenmiştir. Genellikle her iki önerilen model için en iyi sonucu veren topluluk sınıflandırma algoritmaları Gradient Boosting teknikleri olmuştur.

SMOTE ile önerilen tahmin modelinde doğruluk oranı (accuracy rate), hassasiyet (precision), özgünlük (specificity), dengelenmiş doğruluk oranı (balanced accuracy rate) performans ölçütleri için en iyi sonucu veren LightGBM tekniğidir. Geri çağırma (recall) performans ölçütü için ise Decision Tree en iyi sonucu vermektedir. Performans ölçülerinin çıktıları Tablo 2’de gösterilmektedir.

ADASYN ile önerilen tahmin modelinde doğruluk oranı (accuracy rate), hassasiyet (precision), özgünlük (specificity), dengelenmiş doğruluk oranı (balanced accuracy rate) performans ölçütleri için en iyi sonucu veren LightGBM tekniğidir. Geri çağırma (recall) performans ölçütü için ise Artificial Neural Network en iyi sonucu vermektedir. Performans ölçülerinin çıktıları Tablo 3’te gösterilmektedir.

Tablo 2. Birinci önerilen tahmin modeline ait performans çıktıları

	Doğruluk Oranı (%)	Geri Çağırma (%)	Hassasiyet (%)	Özgünlük (%)	Dengelenmiş Doğruluk Oranı (%)	F1 Skoru (%)	ROC-AUC (%)
LightGBM	80.2	64.9	93.5	95.5	80.2	76.6	86.9
Hist Gradient Boosting	80.0	64.8	93.0	95.1	80.0	76.4	86.8
CatBoost	79.2	66.8	88.9	91.7	79.2	76.3	86.1
XGBoost	78.4	63.5	90.6	93.4	78.4	74.6	85.2
AdaBoost	73.6	67.7	76.7	79.4	73.6	71.9	81.3
Bagging	77.7	65.2	87.0	90.5	77.8	74.6	82.3
Logistic Regression	59.2	62.0	58.6	56.3	59.1	60.2	62.6
Decision Tree	69.4	70.9	69.0	67.9	69.4	69.9	69.4
Artificial Neural Network	65.6	70.6	64.3	60.7	65.6	67.2	71.5
Random Forest	76.9	66.2	84.2	87.6	76.9	74.1	84.0

Tablo 3. İkinci önerilen tahmin modeline ait performans çıktıları

	Doğruluk Oranı (%)	Geri Çağırma (%)	Hassasiyet (%)	Özgünlük (%)	Dengelenmiş Doğruluk Oranı (%)	F1 Skoru (%)	ROC-AUC (%)
LightGBM	80.3	65.0	93.9	95.7	80.4	76.8	87.1
Hist Gradient Boosting	80.0	64.9	93.2	95.2	80.1	76.5	86.9
CatBoost	79.3	67.1	89.0	91.6	79.4	76.5	86.2
XGBoost	78.6	63.6	91.0	93.6	78.6	74.9	86.3
AdaBoost	73.2	67.9	76.2	78.5	73.2	71.8	81.0
Bagging	77.9	65.4	87.3	90.2	77.8	74.8	82.3
Logistic Regression	57.8	58.5	52.9	57.2	57.8	55.5	60.7
Decision Tree	69.9	71.0	69.9	68.7	69.9	70.5	69.9
Artificial Neural Network	64.7	75.3	62.3	54.1	64.7	68.2	70.5
Random Forest	77.0	66.4	84.5	87.8	77.1	74.4	84.0

Bu çalışmada, oluşturulan model eğitilmeden önce cell2cell veri kümesine ait abone bilgileri veri ön işleme yöntemleri ile işlenmiştir. Veri kümesi büyük miktarda öznitelige sahip olduğu için normalizasyon ve öznitelik seçimi yöntemleri uygulanmıştır. Ardından veri kümesinin sınıf dengesizliğini yok etmek için aşırı örnekleme yöntemleri kullanılmıştır ve dengelenmiş veri kümesi eğitime hazır hale gelmiştir.

Eğitime hazır olan veri kümesi için temel sınıflandırma ve topluluk sınıflandırma teknikleri kullanılarak en iyi sonucu veren model, önerilen tahmin modeli olarak seçilmiştir. Bu çalışma için çıktılar birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu yüzden toplamda 2 adet önerilen tahmin modeli seçilmiştir.

Geliştirilen modeller arasında en iyi modeli değerlendirmek amacıyla doğruluk oranı, geri çağırma, hassasiyet, özgünlük, dengelenmiş doğruluk oranı, F1 skoru ve ROC AUC olmak üzere toplamda 7 adet performans ölçütü kullanılmıştır.

Birinci tahmin modeli için seçilen modelin performans çıktıları Tablo 4'te verilmiştir. İkinci tahmin modeli için seçilen modelin performans çıktıları ise Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. Birinci tahmin modelinin performans çıktıları

Doğruluk Oranı	% 80.2
Geri Çağırma	% 70.9
Hassasiyet	% 93.5
Özgünlük	% 95.5
Dengelenmiş Doğruluk Oranı	% 80.2
F1 Skoru	% 76.6
ROC-AUC Değeri	% 86.9
Çalışma Zamanı	14.75 saniye

Tablo 5. İkinci tahmin modelinin performans çıktıları

Doğruluk Oranı	% 80.3
Geri Çağırma	% 75.3
Hassasiyet	% 93.9
Özgünlük	% 95.7
Dengelenmiş Doğruluk Oranı	% 80.4
F1 Skoru	% 76.8
ROC-AUC Değeri	% 87.1
Çalışma Zamanı	15.34 saniye

Çalışmada kullanılan veri kümesi, erişimi herkese açık olan bir veri kümesidir. İlgili veri kümesi ile birden fazla çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmayı benzer çalışmalarla karşılaştırmak amacıyla bir tablo hazırlanmıştır. Bu karşılaştırma tablosu Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Benzer çalışmalar ile karşılaştırılması

	[22]	[26]	[27]	[28]	[7]	İlgili Çalışma
Öznitelik	76	172	78	100	172	58
Geri Çağırma	% 76.5	% 60.6	% 94.5	-	-	% 75.0
Hassasiyet	-	% 60.4	% 94.5	-	% 95.2	% 93.9
Özgünlük	% 74.6	-	-	-	% 98.3	% 95.7
Doğruluk Oranı	-	-	-	% 57.0	-	% 80.3
ROC-AUC Değeri	% 81.6	-	-	-	-	% 87.1
Eğitim Zamanı	-	-	60.6 saniye	-	-	15.34 saniye
Yöntem	Random Forest, Rotation Forest, Forest, RotBoost	Naive Bayes, Logistic Regression, AdaBoost, OneR..	SVM, DT, RIP with Active Learning Based Approach	Distance based Sampling	Bagging, Boosting, SVM, ANN..	Gradient Boosting, Bagging, ANN, Logistic Regression..

IV. SONUC

Kullanılan veri kümesinde ilk olarak analize katkısı olmayan öznitelikler çıkartılmıştır ve tanımsız olan bazı kayıtlar veri kümesinden kullanılmamak üzere kaldırılmıştır. İkinci olarak normalizasyon ve kodlama yöntemleri kullanılarak veri kümesi eğitilmek üzere belirli bir formata alınmıştır. Veri kümesine genel itibarıyla bakıldığında sınıf dengesizliği mevcuttur. Şekil 1 (Abonelerin Bulunduğu Hizmetten Ayrılma Oranı)'de ki gibi gösterilmiştir. Veri kümesini dengeye getirmek amacıyla SMOTE ve ADASYN aşırı örnekleme teknikleri kullanılmıştır. Ardından belirli sınıflandırıcı yöntemleri ile veri kümesi eğitilmiştir. Eğitim aşamasında toplamda 58 adet öznitelik kullanılmıştır.

Geliştirilen tahmin modelleri arasından en iyi sonuç verenler belirlenmiştir. Toplamda 2 adet tahmin modeli önerilmiştir ve tahmin modelleri sırasıyla “ADASYN ile Önerilen Tahmin Modeli” ve “SMOTE ile Önerilen Tahmin Modeli” olarak adlandırılmıştır. Birinci tahmin modeli, ikinci tahmin modelinin performans çıktıklarına göre daha iyi olduğu belirlenmiştir. Önerilen modeller, eğitim süresi olarak karşılaştırıldığında ise birbirine yakın sonuçlar vermiştir ve en iyi performansı “SMOTE ile Önerilen Tahmin Modeli” sağlamıştır.

ADASYN ve SMOTE ile önerilen tahmin modellerinin, çalışmada kullanılan veri kümesi gibi dengede olmayan (veri sınıflarının denk sayıda olmaması) veri kümelerinde başarılı olduğu [15]'da ve [16]'da ifade edilmiştir.

Modellerin karşılaştırılması kullanılırken belirlenmiş olan Karmaşıklık Matrisi göz önüne alınmıştır ve performans ölçütü olarak Doğruluk Oranı (%80.3), Geri Çağırma (%75.0), Hassasiyet (%93.9), Özgünlük (%95.7), Dengelenmiş Doğruluk Oranı (%80.4), F1 Skoru (%76.8) ve ROC-AUC Oranı (%87.1), Çalışma Zamanı (15.34 saniye) kullanılarak iyi sonuçlar elde edilmiştir. İki tahmin modeli de incelendiğinde benzer sonuçlar verdiğini tespit edilmiştir. İki tahmin modelinde en iyi sonucu veren Light Gradient Boosting Machine sınıflandırıcısı olmuştur. Ayrıca, iki modelde de Geri Çağırma performansı ölçütünün %75.3 ile en iyi sonucu verdiği yöntem Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network) olmuştur.

Benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığında 58 öznitelik kullanılarak diğerlerinin 172 öznitelikle başardığına çok yakın sonuçlar elde edildiği kanıtlanmıştır. Ayrıca eğitim süresi olarak karşılaştırıldığında eğitim süresini göze alan çalışmalardan 4 kata yakın daha performanslı olduğu tespit edilmiştir. 58 adet öznitelik kullanarak elde edilen bazı başarı ölçütlerinin, benzer çalışmalara göre çok daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Gelecekte, veri kümesi ham halinde sınıf dengesizliği olduğu için aşırı örnekleme yöntemlerini kullanarak daha dengeli bir hale getirilmesi sağlanabilir. Ayrıca öznitelik seçimi algoritmaları ve normalizasyon algoritmaları kullanılarak performans karşılaştırılması yapılabilir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmayı desteklediği ve finanse ettiği için TTG International Ltd. 'ye müteşekkirim ve veri akışı mimarisinde bize yardımcı olan uzmanlara minnettarım. TTG International Ltd., devlet kurumlarına ve mobil ağ operatörü şirketlerine OSS ürün tedarikçisidir. TTG International Ltd., araştırma çalışmalarını desteklemek ve aynı zamanda Ar-Ge çalışmalarına katılım yoluyla çalışanların yenilikçiliğini teşvik etmek için çeşitli ülkelerde etkin bir şekilde faaliyet göstermektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] C. Gold, “*What this book is about*” in *Fighting Churn With Data*, 1. Baskı, O’reilly Media, 2020.
- [2] Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. “İletişim Hizmetleri İstatistikleri”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/iletisim-hizmetleri-istatistikleri/istatistik-2019-4-5ec51cf389753.pdf>. Erişim Tarihi: 01.09.2020.
- [3] A. M. AL-Shatnwai, M. F. Altibbi, “Predicting Customer Retention using XGBoost and Balancing Methods,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 11, no. 7, pp. 704- 712, 2020.
- [4] A. R. Safitri, M. A. Muslim, “Improved Accuracy of Naive Bayes Classifier for Determination of Customer Churn Uses SMOTE and Genetic Algorithms,” *JOSCEX Journal of Soft Computing Exploration*, vol. 1, no. 1, pp. 70-75, 2020.
- [5] D. Wadikar, “Customer Churn Prediction,” *Yüksek Lisans Tezi, Technological University Dublin*, 2020.
- [6] H. Abbasimehr, M. Setak, M. J. Tarokh, “A Comparative Assessment of the Performance of Ensemble Learning in Customer Churn Prediction,” *The International Arab Journal of Information Technology*, vol. 11, no. 6, pp. 599-606, 2014.
- [7] J. Vijaya ve E. Sivasankar, “Computing Efficient Features Using Rough Set Theory Combined with Ensemble Classification Techniques to Improve the Customer Churn Prediction in Telecommunication Sector,” *Computing*, vol. 100, no. 8, pp. 839–860, 2018.
- [8] N.N.A. Sjarif, M.R.M. Yusof, D.H. Wong, S. Yaakob, R. Ibrahim ve M.Z. Osman, “A Customer Churn Prediction using Pearson Correlation Function and K Nearest Neighbor Algorithm for Telecommunication Industry,” *International Journal of Advances in Soft Computing & Its Applications*, c. 11, s. 2, ss. 46-59, 2019.
- [9] Y. Tan, L.H. Shuan, L.J. Yan ve X. Guo, “Prediction on Customer Churn in the Telecommunications Sector Using Discretization and Naïve Bayes Classifier,” *International Journal of Advances in Soft Computing and its Applications*, c. 9, s. 3, ss. 23-35, 2017.
- [10] K.G. Li, B.P. Marikannan, “Hyperparameters Tuning and Model Comparison for Telecommunication Customer Churn Predictive Models,” *3rd Global Conference on Computing & Media Technology*, ss. 475-83, 2020.
- [11] Cell2Cell Dataset: Teradata Center For Customer Relationship Management at Duke University, Dec. 2018. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.kaggle.com/Jpacse/Datasets-for-Churn-Telecom>. Erişim Tarihi: 15.10.2020
- [12] K. Potdar, T. Pardawala ve C. Pai “A Comparative Study of Categorical Variable Encoding Techniques for Neural Network Classifiers,” *International Journal of Computer Applications*, c. 175, s. 4, ss. 7–9, 2017.
- [13] Ş. Taşdemir, B. Yanıktepe ve A.B. Güher, “The Effect on the Wind Power Performance of Different Normalization Methods by Using Multilayer Feed-Forward Backpropagation Neural Network,” *International Journal of Energy Applications and Technologies*, c. 5, ss. 131–139, 2018.



- [14] A.Y. Liu, "The Effect of Oversampling and Undersampling on Classifying Imbalanced Text Datasets," *Yüksek Lisans Tezi, University of Texas at Austin, USA*, 2004.
- [15] N.V. Chawla, K.W. Bowyer, L.O. Hall ve W.P. Kegelmeyer, "SMOTE: Synthetic Minority Over-Sampling Technique," *Journal of Artificial Intelligence Research*, c. 16, ss. 321–357, 2002.
- [16] H. He, Y. Bai, E.A. Garcia ve S. Li, "ADASYN: Adaptive Synthetic Sampling Approach for Imbalanced Learning," *2008 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IEEE World Congress on Computational Intelligence)*, ss. 1322-1328, 2008.
- [17] L. Breiman, "Bagging Predictors," *Department of Statistics, University of California Berkeley*, Technical Report No. 421, 1994. Retrieved 2019-07-28.
- [18] Y. Freund ve R. E. Schapire, "A Decision-Theoretic Generalization of On-Line Learning and an Application to Boosting," *Journal of Computer and System Sciences*, c. 55, s. 1, ss. 119-139, 1997.
- [19] M. R. H. Subho, M. R. Chowdhury, D. Chaki, S. Islam and M. M. Rahman, "A Univariate Feature Selection Approach for Finding Key Factors of Restaurant Business," *2019 IEEE Region 10 Symposium (TENSymp)*, Kolkata, India, 2019, pp. 605-610.
- [20] D. W. Hosmer, S. Lemeshow ve R. X. Sturdivant, "Introduction" in *Applied Logistic Regression*, 3. Baskı, WILEY, 2013.
- [21] L. Breiman, "Random Forests," *Machine Learning*, c. 45, s. 1, ss. 5-32, 2001.
- [22] A. Idris ve A. Khan, "Customer Churn Prediction for Telecommunication: Employing Various Various Features Selection Techniques and Tree Based Ensemble Classifiers," *2012 15th International Multitopic Conference (INMIC)*, ss. 23-27, 2012. doi:10.1109/inmic.2012.6511498.
- [23] J. Ali, R. Khan, N. Ahmad ve I. Maqsood, "Random Forests and Decision Trees," *IJCSI International Journal of Computer Science Issues International Journal of Computer Science Issues*, c. 9, s. 3, 2012.
- [24] Y. Khan, S. Shafiq, A. Abid, S. Ahmed, N. Safwan, S. Hussain, "Customers Churn Prediction using Artificial Neural Networks (ANN) in Telecom Industry," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, c. 10, s. 9, ss. 132-142, 2019, doi: 10.14569/IJACSA.2019.0100918.
- [25] P. Tan, M. Steinbach, V. Kumar, "Performance Measure" in *Introduction to Data Mining*, Pearson Education Limited (UK), 2014.
- [26] M. Yıldız ve S. Albayrak, "Customer Churn Prediction in Telecommunication," *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, ss. 256-259, 2015.
- [27] S. Jamil ve A. Khan. "Churn Comprehension Analysis for Telecommunication Industry Using ALBA," *2016 International Conference on Emerging Technologies (ICET)*, ss. 1-5, 2016.
- [28] A. Amin, F. Obeidat, B. Shah, A. Adnan, J. Loo ve S. Anwar, "Customer Churn Prediction in Telecommunication Industry Using Data Certainty," *Journal of Business Research*, c. 94, ss. 290–301, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makale

Titanyum Alaşımlarının Mikroyapı ve Şekillendirilebilirliğine Sıcaklığın Etkileri

 Mehmet Yasin DEMİREL^{a,*},  İbrahim KARAAĞAÇ^b

^a *Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara, TÜRKİYE*

^b *İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mehmetyasin.demirel@tai.com.tr

DOI: 10.29130/dubited.853833

ÖZET

Titanyum alaşımları sahip oldukları üstün mekanik özellikleri sebebiyle havacılık ve medikal endüstrileri başta olmak üzere çok sayıda sektörde kullanılmaktadır. Ancak titanyum malzemelerin üretim maliyetlerinin yüksekliği ve sınırlı şekillendirilebilirlikleri bir dezavantaj olarak kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Titanyum alaşımlarının şekillendirilebilirlik kabiliyetlerini artırmak için faz durumuna ve alaşım oranına göre uygun sıcaklık ve süreyle malzemeye ya da şekillendirme kalıbına müdahale etmek gerekebilmektedir. Bu çalışmada; titanyum alaşımlarının şekillendirilebilirlik kabiliyetlerini artırmak için yapılan çalışmalar, kullanılan ekipmanlar ve geliştirilen yöntemler ile sıcaklığın alaşımın mikroyapısına etkileri farklı faz gruplarına göre derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Titanyum alaşımları, Isıl işlem, Mikroyapı, Şekillendirilebilirlik*

The Effects of Temperature on Microstructure and Formability of Titanium Alloys

ABSTRACT

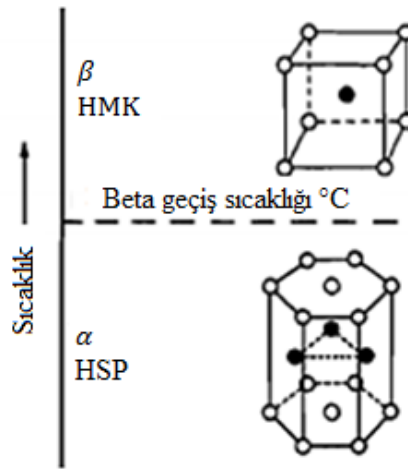
Titanium alloys are used in many sectors, especially in the aviation and medical industries due to their superior mechanical properties. However, the high production costs and limited formability of titanium materials are a disadvantage limit their usage areas. In order to increase the formability of titanium alloys, it may be necessary to interfere with the material or the forming die at the appropriate temperature and time according to the phase state and alloy ratio. In this study; the studies carried out to increase the formability of titanium alloys have been reviewed in terms of the effects of temperature on the microstructure, the used equipment and the developed methods according to different phase groups.

Keywords: *Titanium alloys, Heat treatment, Microstructure, Formability*

I. GİRİŞ

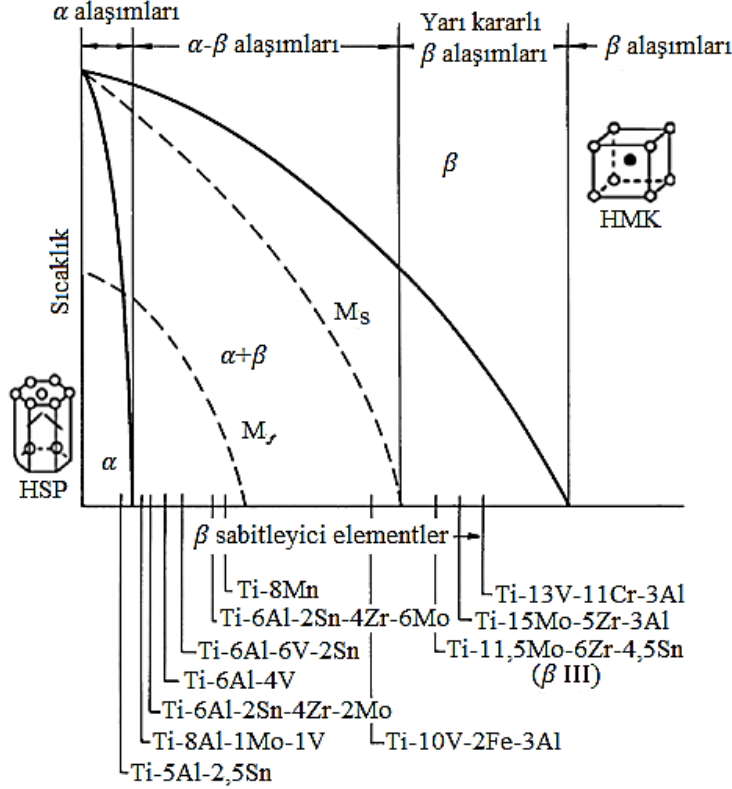
Titanyum alaşımları; sahip oldukları düşük özgül ağırlık değerlerine rağmen yüksek mekanik özellikleri, korozyon ve aşınma dirençleri sebebiyle başta havacılık olmak üzere medikal, petrokimya ve otomotiv endüstrilerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, titanyumun yüksek oksijen ilgisinden dolayı vakum arkı gibi kontrollü bir atmosfer gerektiren pahalı üretim prosesleri bu malzemenin satın alınabilirliğini de sınırlandırmaktadır [1].

Titanyum malzemeler farklı sıcaklıklarda farklı kristal yapılara ve fazlara sahiptir. Titanyum malzemeler, düşük sıcaklıklarda hegzagonal sıkı paket kristal yapıdaki (HSP) α fazındayken, 882 °C sıcaklığın üzerinde hacim merkezli kübik yapıdaki (HMK) β fazına geçmektedir. HSP α titanyum ve HMK β titanyumun kristal yapısı Şekil 1'de şematik olarak gösterilmektedir [2].



Şekil 1. Titanyum mikroyapısının sıcaklıkla değişimi

Titanyum alaşımları mikroyapılarına bağlı olarak, α -alaşımları, β alaşımları ve $\alpha+\beta$ alaşımları olarak üç temel kategoride sınıflandırılmaktadır. $\alpha \rightarrow \beta$ dönüşüm sıcaklığının artırılması ya da azaltılmasına etki eden elementlerin ilavesiyle titanyum alaşımları oluşturulmaktadır. Alaşım elementlerinin faz değişimine etkisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu alaşım elementleri, nötr, α veya β sabitleyiciler olarak ayrılmaktadır. α alaşımları, ticari saf (CP) titanyumları ve α fazı sabitleyicileri olarak bilinen Al, O, N, C gibi elementler ile Sn, Zr gibi nötr elementler içeren alaşımlardır. CP titanyumlar saf titanyuma yakın mekanik özellikler göstermektedirler. Bu alaşımlara çok az miktarda β fazı sabitleyicileri (Mo, V gibi) eklendiğinde yakın α fazı olarak tanımlanan yapı oluşmaktadır. Bu faz, α fazlı titanyuma yakın özellikler sergilemektedir. Ancak farklı olarak, bu alaşımlar, çalışma sıcaklığı 400-520 °C'ye varan ortamlarda da kullanılabilirler. Diğer bir grup olan $\alpha+\beta$ alaşımları, her iki fazın da varlığından dolayı daha yüksek mukavemet özelliklerine sahiptirler. Ti-6Al-4V alaşımı en çok bilinen $\alpha+\beta$ titanyum alaşımı olmasının yanı sıra üretilen titanyum alaşımlarının %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır. Diğer yandan, mikroyapısında önemli miktarda β fazı sabitleyicileri içeren β titanyum alaşımları, son otuz yılda kullanım alanlarının çok fazla artmasından dolayı endüstride artan ilgi konusu olmuştur. Bu alaşımlar, $\alpha+\beta$ titanyum alaşımlarına kıyasla daha iyi şekillendirilebilme ve sertleştirilebilme özellikleri nedeniyle, giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. En sık kullanılan β alaşımı Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn, havacılık ve uzay uygulamalarında daha ince sac metal gereksinimlerini çözmek için Ti-6Al-4V alaşımının alternatifi olarak geliştirilmiştir [3]-[10].



Şekil 2. Titanyum faz diyagramı

Mühendislik malzemelerinde, genellikle artan mukavemet değerleri ile birlikte şekillendirilebilirlik önemli ölçüde azalmaktadır. Bu durum sahip oldukları olumlu özelliklere rağmen, malzemelerin kullanımını önemli ölçüde sınırlamaktadır. Bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak, şekillendirilebilirliği, mekanik özellikleri ve yapısal kararlılığı artırmak amacıyla titanyum alaşımlarına ısıl işlem prosesleri uygulanmaktadır. Bu işlemler; gerilim giderme, tavlama, çözeltiye alma ve yaşlandırma olarak sıralanabilmektedir [11], [12].

Titanyum ve titanyum alaşımlarının ısıl işleme tepkisi, metalin bileşimine ve alaşım elementlerinin kristal yapının dönüşümü üzerindeki etkilerine bağlı olmaktadır. Bununla birlikte, çeşitli alaşımlar farklı çalışma koşulları ve mekanik özellikler için geliştirildiğinden, her ısıl işlem prosesi tüm titanyum alaşımlarına uygulanamamaktadır [13].

Titanyum alaşımları, (CP titanyum, Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn ve Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo gibi) sınırlı bir ölçüde soğuk şekillendirilebilmektedir. Diğer titanyum alaşımlarının soğuk şekillendirilmesi genellikle aşırı geri esnemeye neden olmaktadır. Bu problemin üstesinden gelmek için soğuk şekillendirme sonrası yaşlandırma veya gerilim giderme proseslerinin uygulanması ya da sıcak şekillendirme yapılması gerekmektedir. Sıcak şekillendirme, genellikle 595 ila 815 °C arasında değişen sıcaklıklarda uygulanmaktadır. Bu proses, malzemenin daha kolay deforme olmasını sağlamakta ve aynı zamanda deformasyon esnasında oluşan gerilmeleri de gidererek geri esneme miktarını en aza indirmektedir [14].

Tavlama ve gerilim giderme işlemleri korozyon direncini artırma ve çarpılmaları önlemenin yanı sıra şekil verme öncesi malzemeyi hazırlamak amacı ile de uygulanabilmektedir. Bazı titanyum ve alaşımları için önerilen tavlama ısıl işleminin parametreleri Tablo 1' de verilmiştir [15].

Tablo 1. Bazı titanyum alaşımları için önerilen tavlama ısı işlemi parametreleri

Alaşım		Tavlama Isıl İşlem Parametreleri		
İç Yapı	Türü	Sıcaklık (°C)	Zaman (Saat)	Soğutma Ortamı
α	Saf titanyum	660-770	0,1-8	Havada
	Ti-5Al-2,5Sn	730-850	0,16-4	Havada
$\alpha+\beta$	Ti-4Al-4V	660-770	1-8	Havada / Fırında
	Ti-6Al-4V	715-850	1-8	Havada / Fırında
β	Ti-13V-11Cr-3Al	720-800	0,16-1	Havada / Suda

Isıl işlem proseslerinde diğer önemli bir nokta da titanyumun oksijene olan duyarlılığıdır. Özellikle 800 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda alaşım yüzeyinde kalın, sert ve kırılğan olan bir kontaminasyon tabakası oluşmaktadır. Bu kontaminasyon tabakasına α -case adı verilmektedir. Bu sert ve kırılğan tabaka istenmeyen bir durumdur ve materyalin gerilme direnci ile şekillendirilebilirliğini azaltmaktadır [16].

Bu çalışmada; sıcaklığın titanyum alaşımlarının şekillendirilebilirliğine ve mikroyapılarına etkileri farklı fazlar açısından sınıflandırılarak incelenmiştir.

II. TİTANYUM ALAŞIMLARINDA ISIL İŞLEM VE ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK UYGULAMALARI

Ti alaşımlarına farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan ısıl işlemlerin, şekillendirilebilirliğe ve mikroyapıya etkileri araştırılmış, literatürde yapılan çalışmalar faz tiplerine göre sınıflandırılarak aşağıda bölümler halinde verilmiştir.

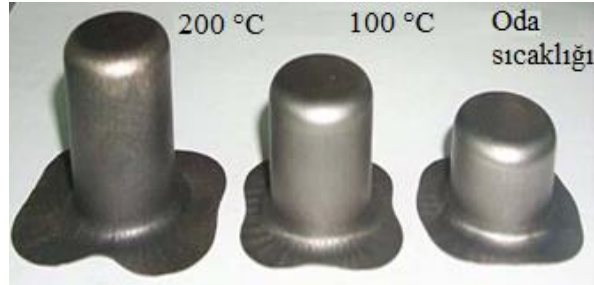
A. α FAZİ ÇALIŞMALARI

α titanyum alaşımları, CP titanyum, α alaşımları ve yakın α alaşımları olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılır. Al ve Sn gibi α sabitleyicileri içeren α alaşımları, ortam sıcaklıklarında tek fazlı yapıdadırlar. Bu sebeple, çekme mukavemetleri diğer fazlara nispeten düşük olmaktadır. Bununla birlikte, yüksek termal stabiliteye ve tokluğa sahiptirler. α titanyum oda sıcaklığında mükemmel sünekliğe ve şekillendirilebilirliğe sahiptir. Ancak, bazı CP titanyum çeşitleri, yüksek seviyelerde geri esnemenin oluşmasına sebep olan pekleşme oranları nedeniyle genellikle soğuk şekillendirilmektedir. Bu durum, sıcak şekillendirme yoluyla potansiyel olarak önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Yakın α alaşımları, mikroyapıda %2 seviyelerinde β fazı sabitleyicileri ve silis çökeltileri oluşturmak için % 0.5'e kadar Si içermektedirler. Bu alaşımlar, alaşımsız titanyum ve α alaşımlarına kıyasla daha yüksek çekme dayanımına sahiptirler ve 400 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda tüm titanyum alaşımları arasında en yüksek sürünme direncini sergilemektedirler [17], [18].

CP titanyumun sıcak şekillendirilmesi üzerine çalışan Öztürk vd., çalışmalarında 0,6 mm kalınlığına sahip DIN WL 3.7024 sac malzemeyi elektrik rezistansı kullanarak ısıtmışlardır.

Numuneler 600, 650 ve 680 °C'de ısıtıldıktan sonra endüstriyel bir presle sıcak olarak şekillendirilmiştir. Mikroyapı ve faz değişimlerini incelemek için tane boyutu ölçümü ve XRD analizi yapmışlardır. Sonuçlar, belirtilen sıcaklık aralığında hiçbir mikroyapısal değişikliğin meydana gelmediğini göstermiştir. Bununla birlikte, küçük tane büyümesi ve titanyum oksit izleri gözlenmiştir. Şekillendirme sonrası geri esnemenin etkin bir şekilde ortadan kaldırılmasıyla, endüstriyel boyutta parça üretimi için elektrik dirençli ısıtma yönteminin uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir [19].

CP titanyum sac numunelerin şekillendirilebilirliğinin deneysel olarak araştırıldığı çalışmalarda Chen vd. 0,5 mm kalınlığındaki Grade 1 CP titanyum numuneleri oda sıcaklığından 300°C'ye kadar çeşitli sıcaklıklarda ısıtmışlar ve şekillendirme sınırlarını belirlemek için V-bükme ve derin çekme testleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında malzemenin mekanik özellikleri incelenmiş ve malzemenin oda sıcaklığında daha yüksek bir akma gerilimine ve daha az bir uzama değerine sahip olduğu, ancak 300 °C'ye kadar ısıtıldığında uzama miktarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Şekillendirme sınır oranı ve çekme derinliği değerlerinde, oda sıcaklığından 100 °C'ye kadar olan aralıkta önemli bir artış olmadığı, 100 °C'den 200 °C'ye sıcaklık arttıkça, bu değerlerin hızla arttığı gözlemlenmiştir. Şekillendirilen numunelerin çekme derinliği değişimi Şekil 3'te verilmiştir [20].



Şekil 3. CP titanyum malzemelerin sıcaklığa göre derin çekilebilirliğindeki değişim

CP malzemelerin araştırıldığı bir diğer çalışmada da, Liu ve Chou Grade 4 CP titanyum sac malzemeye iki sıcaklıklı derin çekme prosesi uygulamışlardır. 25, 100, 200, 300 ve 400 °C'de ısıtılmış kalıba yerleştirilen numuneler, derin çekme işlemi sırasında su ile soğutulan zımba ile şekillendirilmişlerdir. Şekillendirme sınırı incelendiğinde, kalıp sıcaklığının ortam sıcaklığından 400°C'ye çıktığında çekilmiş numunelerin yüksekliğinin yaklaşık iki kat arttığını gözlemlemişlerdir [21].

Ayrıca, CP titanyum malzemelerin derin çekilebilirliği sonlu elemanlar yöntemiyle de incelenmiştir. Port vd., kozmetik endüstrisi için tasarlanmış CP titanyum malzemeden bir kapağın derin çekme ile şekillendirilebilirliğini optimize etmek için 3D sonlu eleman modeli geliştirmişlerdir. Sayısal sonuçların uygunluğunu görebilmek için yapılan deneysel çalışmalarda, 0,5 mm kalınlığında titanyum sac malzeme kullanılmıştır. Karşılaştırılan sonuçlar, geri esneme değerlerini de göz önüne alan bir sayısal modelin, derin çekme işlemi sırasında numunelerin davranışını doğru bir şekilde tahmin ettiğini göstermiştir [22].

α fazlı titanyum malzemelerde yaşlandırma işleminin malzeme özelliklerine etkileri de literatürde kapsamlı olarak araştırılmıştır. Leyens vd. bir yakın α alaşımı olan Ti-6Al-2,75Sn-4Zr-0,4Mo-0,45Si'nin 600 °C'de ki 1, 10, 100 ve 1000 saatlik yaşlanma süreçlerinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerinde neden olduğu değişiklikleri araştırmışlardır. 25,4 mm çapındaki numunelerin yüzeyindeki oksijen penetrasyonunun etkileri ve mikroyapı değişimleri ayrı ayrı incelenmiştir. 100 saate kadar yaşlandırılan numunelerde çekme ve akma dayanımı az miktarda artarken, 1000 saatlik süreçte bu değerlerin hızla düştüğü

gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak, oksijenin nüfuz ettiği yüzeylerde mikro çatlakların görüldüğü belirtilmiştir [23].

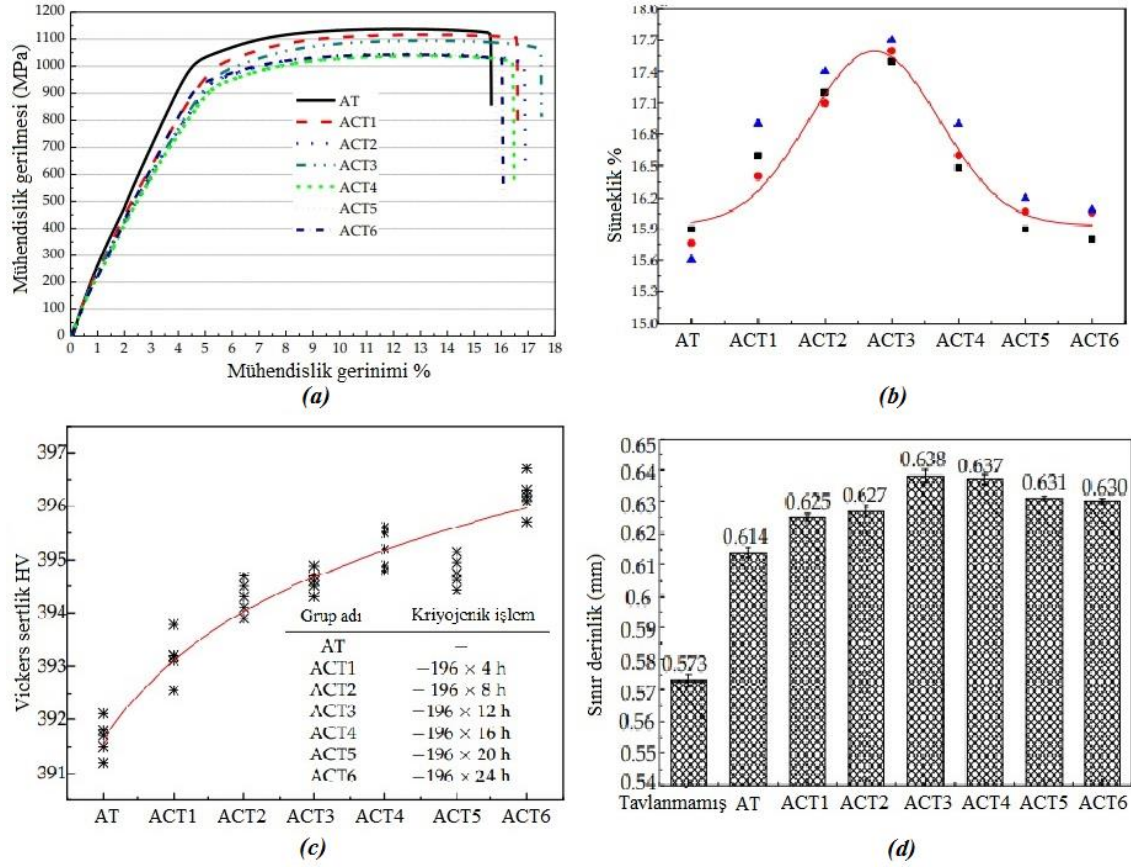
B. $\alpha + \beta$ FAZI ÇALIŞMALARI

$\alpha + \beta$ faz titanyum alaşımları oda sıcaklığında α ve β fazı içeren, yüksek mukavemetli ve ısıl işlem uygulanabilen alaşımlardır. Genel olarak %4-6 oranında β fazı sabitleyici elementleri içermektedirler [24].

$\alpha + \beta$ fazı alaşımlar içerisinde Ti-6Al-4V, sahip olduğu işlenebilirlik ve mekanik özellikler sebebiyle endüstriyel uygulamalarda en yaygın kullanılan titanyum alaşımıdır. $\alpha + \beta$ faz alaşımları, saf titanyumun dayanımını ve tribolojik özelliklerini iyileştirmek, kullanım alanını genişletmek amacıyla geliştirilmiştir. Ancak, yüksek mukavemet özelliklerinden dolayı ve oda sıcaklığındaki yüksek geri esneme eğilimi nedeniyle sınırlı şekillendirilebilirliğe sahiptir. Bu durum, Ti-6Al-4V'nin oda sıcaklığında şekillendirilmesinin veya derin çekilmesinin mümkün olmadığını göstermektedir [25], [26].

Yüksek mukavemetli sacların şekillendirilmesinde ılık ya da sıcak şekillendirme yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu proseste, deformasyon hızı ve şekillendirme sıcaklığı ana değişkenler olarak sıralanabilmektedir. Literatürdeki deneysel çalışmalarda, deformasyon hızı ve sıcaklığın yüksek mukavemetli sacların mikroyapısına ve şekillendirilebilirliğine etkilerinin sıklıkla araştırıldığı belirlenmiştir. Ayrıca, Ti-6Al-4V alaşımının 400 °C'den yüksek sıcaklıklardaki ısıl işlemlerinde, ortamdaki oksijenden dolayı α fazlarının etkilenmesinin malzemeyi daha kırılgan hale getirdiği, bu durumu önlemek için de alaşımın yüksek sıcaklıklardaki ısıl işlemlerinin koruyucu bir atmosferde yapılması gerektiği görülmüştür [27]-[29].

Tüm titanyum alaşımlarında olduğu gibi, $\alpha + \beta$ titanyum alaşımları için de, ısıl işlem süreci mikroyapıyı etkileyen önemli bir faktördür. Isıl işlemin şekillendirilebilirliğe etkilerinin araştırıldığı çalışmada Hu vd., Ti-6Al-4V alaşımına tavlama sonrası uygulanan kriyojenik işlemin şekillendirilebilirlik üzerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Numuneleri 760 °C'de 90 dk tavlandıktan sonra vakum fırın içerisinde 20 °C/dk soğuma hızı ile soğutmuştur. Tavlama sırasında Argon gazı sürekli olarak fırına enjekte edilmiştir. Tavlama işlemi ardından numuneler, 7 farklı sürelerde (0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 saat) sıvı nitrojen içinde bekletilmiştir. İşlemin mekanik özelliklere ve şekillendirilebilirliğe etkileri Şekil 4'te gösterilmiştir.



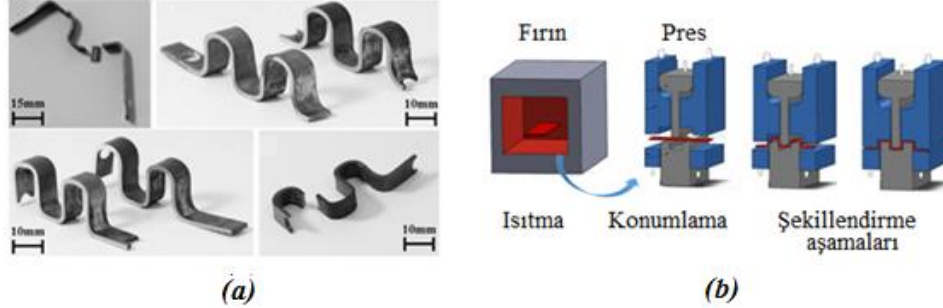
Şekil 4. Kriyojenik işlemin malzeme özelliklerine etkisi a) gerilme-gerinim b) süneklik c) sertlik d) çekme derinliği ilişkisi

Çalışmalarında ayrıca, derin çekme testleri de gerçekleştirilmiştir. Kriyojenik işlem uygulanmamış malzemenin çekme derinliği 0,573 mm iken, çekme derinliği kademeli olarak artmış ve ardından 0,638 mm'lik üst değere 12 saat bekletilen (ACT3) numunelerde ulaşıldığı belirtilmiştir. Daha sonra çekme derinliğinin diğer numunelerde yine kademeli olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, ısıl işlemin ve kriyojenik işlemin numunelerin elastise değerlerini düşürmesiyle, çekme ve akma mukavemetleri üzerinde pozitif etkiler oluşturmasıyla açıklanmıştır [30].

Şekillendirilebilirliğin araştırıldığı bir diğer çalışmada da Li vd. 1,5mm kalınlığındaki alaşımın şekillendirilebilirliğini, 700-800 °C'de ve geniş bir deformasyon oranı aralığında (0.0005-0.05 s⁻¹) farklı biçimdeki numuneler ile yarım kübe şekillendirmesi yaparak incelemişlerdir. Gerilme hızı ve sıcaklık etkileri dikkate alınarak alaşımın şekillendirme sınırı modeli oluşturulmuştur. Deneysel çalışmalarında, Ti-6Al-4V alaşımının sınır geriniminin, deformasyon oranı arttıkça ve sıcaklık düşürüldükçe azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, gerilim oranının, şekillendirme sınır oranı üzerindeki etkisinin, sıcaklık arttıkça daha güçlü hale geldiği tespit edilmiştir [31].

Kopec vd. de, çalışmalarında alaşımın en iyi şekillendirme koşullarını belirlemek için 0,1 ila 5 s⁻¹ arasında değişen sabit gerinim oranları ile 600 ila 900 °C arasında değişen sıcaklıklarda tek eksenli çekme testleri gerçekleştirmişlerdir. 1,5x8x90 mm boyutlarındaki Ti-6Al-4V numuneler, 2 °C/s ısınma oranında 600 ila 950 °C arasında değişen sıcaklıklarda tavllanmış, ardından hemen fırından alınarak soğuk kalıplarda şekillendirilmişlerdir. Deformasyondan sonra malzemenin sertliğinin faz dönüşümü nedeniyle arttığı belirtilmiştir. Malzemenin sınırlı

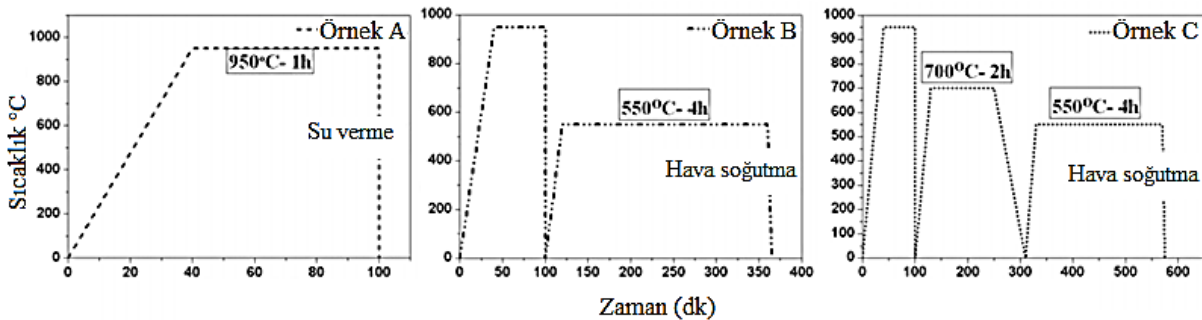
sünekliği nedeniyle şekillendirme işlemi düşük sıcaklıklarda başarısız olurken, 900 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, aşırı α - β faz dönüşümü meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak numunelerin kalıba sıcak transferi ve biçimlendirilmesi sırasında, sıcaklığın önemli ölçüde düşüşü biçimlendirilebilirliğin azalmasına yol açtığı belirtilmiştir. Şekil 5'te şekillendirilmiş numuneler ve yapılan çalışmanın adımları gösterilmiştir [32].



Şekil 5. Isıtma ile şekillendirme prosesi a) şekillendirilmiş numuneler b) deneysel süreç

Çetin yaptığı deneysel çalışmasında, 1mm kalınlığındaki Ti-6Al-4V numuneleri farklı sıcaklıklarda ısıtarak U profil olarak şekillendirilebilirliği araştırmıştır. 350, 450, 550, 650, 750, 850 ve 950 °C'ye kadar ısıtılan sac numuneleri 10 dk boyunca homojen bir mikroyapı elde etmek amacıyla bu sıcaklıkta beklettikten sonra fırından alınarak sıcak şekillendirmiştir. 550 °C 'ye kadar ısıtılmış numunelerin mikroyapılarında herhangi bir değişim gözlenemezken bu sıcaklıktan sonra 850 °C sıcaklığa kadar α taneleri büyümeye başlamış ve daha iri α yapılarının meydana geldiği gözlemlenmiştir. Özellikle 850 °C'de malzemenin sünekliğinin artıp daha kolay şekillendirilebilir olmasında yeniden kristalleşmenin esas etki olduğu görülmüştür. 950°C sıcaklığa kadar ısıtılan numunelerde ise mikroyapı değişiminden kaynaklı sertlik ve dayanım değerleri artmış, geri esneme açısının yükselerek şekillendirilebilirliğin düşmesine neden olduğu belirlenmiştir [33].

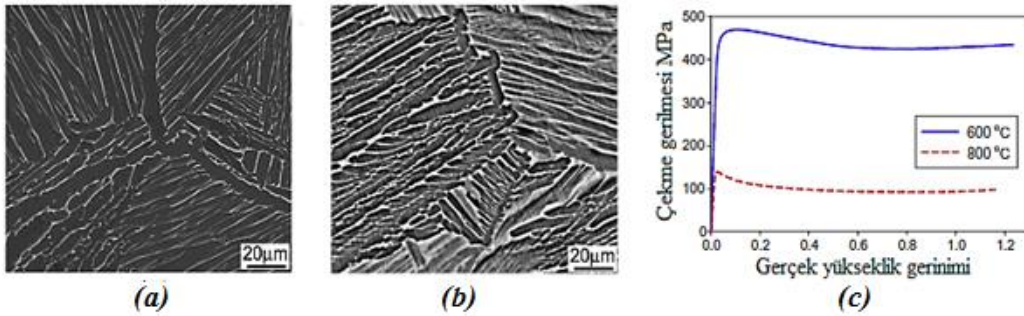
Gheysarian ve Abbasi diğer bir ısıtma işlemi olan yaşlandırma işleminin 1 mm kalınlığındaki Ti-6Al-4V sac numunelerin mikroyapısına, mekanik özelliklerine ve şekillendirilebilirliğine etkilerini araştırmışlardır. Numunelere, çözeltiye alma, çözelti işleminden sonra yaşlandırma ve havada soğutma, çözelti işleminden sonra tavlama ve yaşlandırma en sonunda havada soğutma prosesi uygulanmıştır. Mikroyapı karakterizasyonu için optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu ve XRD analizleri kullanılırken, şekillendirilebilirliği değerlendirmek için geri esneme ve Erichsen testleri uygulanmıştır. Sonuçlar yaşlandırma işleminin numunenin sertliğini artırdığını ve şekillendirilebilirliği azalttığını göstermiştir. Yaşlandırma öncesi tavlama işlemi uygulamasının ise, şekillendirilebilirliği artırdığı ve geri esneme değerlerini azalttığı sonucuna varmışlardır. Şekil 6'da deneysel çalışmalarda uygulanan ısıtma işlemlere ait grafikler verilmiştir [34].



Şekil 6. Ti-6Al-4V alaşımına uygulanan ısıtma işlem sıraları

Literatürde, oluşabilecek şekillendirme kusurlarını ve maliyetleri azaltmak için sonlu elemanlar metodlarının kullanıldığı çalışmalar da çok sayıda mevcuttur. Kotkünde vd, 0,9mm kalınlığındaki Ti-6Al-4V sac malzeme ile ılık derin çekme deneyleri gerçekleştirmişler ve kalınlık değişimi ile kullaklanma gibi şekillendirilebilirlik kusurlarını incelemişlerdir. 400 °C sıcaklıkta yapılan çalışmalarda 54 mm numune çapı ve 1,8 derin çekme sınır oranı ile başarılı çekme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları ile Hill 1948 ve Cazacu Barlat sonlu elemanlar modelleriyle elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Deneysel sonuçlarının Cazacu Barlat modeli ile daha uyumlu olduğunu belirtmişlerdir [35].

Sıcaklığın yanı sıra deformasyon hızlarının mikroyapıya etkilerini de araştıran, Ding vd. çalışmalarında, 20mm çapında 30mm boyunda silindirik Ti-6Al-4V alaşımı numuneleri 850, 900, 950, 1000 ve 1050 °C sıcaklıklarda; 0.05, 0.1, 0.5 ve 1.0 s⁻¹ deformasyon hızlarında bilgisayar kontrollü servo-hidrolik pres ile preslemiş ve ardından suda soğutmuşlardır. Yapılan incelemelerde, 850, 900 ve 950 °C deforme olan numunelerde, $\alpha+\beta$ fazlarının sadece bir kısmının, β fazına dönüştüğü görülmüştür. Bununla birlikte, 1000 ve 1050 °C sıcaklıklarda neredeyse tüm α fazlarının β fazına dönüştüğü belirlenmiştir. Ayrıca, işlem sıcaklığı 1000 °C olduğunda, dinamik yeniden kristalizasyonun düşük oranda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. İşlem sıcaklığı 1050 °C olduğunda ise, dinamik yeniden kristalleşmenin nispeten büyük alanlarda gerçekleştiği belirlenmiştir [36]. Benzer bir çalışma da, Zhrebtsov vd., 8 mm çapında 12 mm uzunluğunda silindirik Ti-6Al-4V $\alpha-\beta$ iki fazlı titanyum alaşımı numunelerin katmanlı mikroyapısını küreselleştirmek ve ara yüzlerin enerjisini artırmak için düşük sıcaklıklarda (600 ve 800 °C) ısıtma işlemi ve 10⁻³ s⁻¹ nominal deformasyon hızında presleme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. 600 °C'de 2, 4 ve 8 saat, 800 °C'de 1, 3 ve 9 saat, bekletilen numuneler sıcak olarak preslenmiş ve ardından suda soğutulmuşlardır. Şekil 7'de numunelerin mikroyapılarındaki değişimler verilmiştir.



Şekil 7. a ve b) SEM görüntüleri α fazları koyu, β fazları açık renk c) 600 ve 800 °C tavlansmış numunelerin gerilme-gerinim grafiği

Deneysel çalışmalarda 800 °C'de lamelli mikroyapının küresel bir yapıya dönüştüğü, bununla birlikte kalın lameller için, deformasyon sırasında dinamik yeniden kristalleşme nedeniyle yeni tanecikler oluştuğu gözlemlenmiştir. Sıcaklığın 600 °C'ye düşürülmesinin, β fazının hacminde bir azalmaya neden olduğu görülmüştür. İnce β ara lamelleri nispeten hızlı bir şekilde α matris fazına dönüştüğü ve bu durumun statik yeniden kristalleşme ile ilgili olduğu belirtilmiştir [37].

Semiatin vd. indüksiyon ile ısıtma işleminin de araştırıldığı deneysel çalışmasında, 19,1 mm çapında 101.6 mm boyundaki iki farklı Ti-6Al-4V deney numunesini, indüksiyonla ısıtma tekniği kullanılarak β tavlama sırasında, eşit eksenli α mikroyapısı ile tane büyümesi kinetiğini incelemişlerdir. Tavlama işleminde 1,4, 5,6 ve 18 °C s⁻¹ ısıtma hızları ve 1020 ila 1260 °C arasındaki sıcaklıklar kullanılmış ve istenilen sıcaklığa ulaşıldıktan sonra hemen

suda soğutulmuştur. Deneysel çalışma sonucunda mikroyapıdaki β tanecik boyutuna, sıcaklığın ve ısınma hızının büyük etkileri olduğu gözlemlenmiştir [38]. Daha geniş sıcaklık ve deformasyon hızı aralıklarında Seshacharyulu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, 10mm çapında 15mm boyunda silindirik Ti-6Al-4V alaşımı numuneleri 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1050 ve 1100 °C sıcaklıklarda ve 0.0003, 0.001, 0.01, 0.1, 1, 10 ve 100 s⁻¹ deformasyon hızlarında bilgisayar kontrollü servo-hidrolik pres ile preslemiş ve ardından hava ile soğutmuşlardır. Numuneler, ısıtma işleminde borosilikat cam macun ile kaplanarak çevresel etkenlerden korunmuş ve yağlama sağlanmıştır. Bu çalışmanın amacının, geniş bir sıcaklık aralığında sıcak deformasyonunun mikroyapısal mekanizmalarını modellemek olduğu belirtilmiştir. Deneysel sonuçları, malzemenin 750–950 °C sıcaklık aralığında ve 0,002 s⁻¹den daha yüksek deformasyon hızlarında ince taneli süper plastiklik sergilediğini ve β fazının, 1050 °C sıcaklığın üzerinde dinamik yeniden kristalleşmeye maruz kaldığını göstermiştir [39].

Bir diğer $\alpha+\beta$ fazı alaşımı olan TA15 (Ti-6Al-2Zr-1Mo-1V) titanyum levhanın sıcak şekillendirilebilirliğini Ma vd. deneysel ve teorik olarak incelemiştir. 1,6 mm kalınlığındaki çekme numunelerine, 0,01 s⁻¹ gerinim hızı ile 800, 840 ve 880 °C'de çekme testi uygulanmıştır. Bununla birlikte şekillendirme testi için hazırlanan numunelere anti-oksidasyon koruyucusu uygulanmış ve yağlanmıştır. Test sürecinde, kalıp 700 °C'de ve zımba 880 °C'de tutularak deneyler yapılmıştır. Deneysel sonuçlarla teorik sonuçların uygunluğu gözlemlenmiştir [40].

Sıcaklığın ayrıca titanyum alaşımının işlenebilirliğine etkileri de araştırılmıştır. Akyol çalışmasında, 16 mm çapındaki çubuk şeklindeki malzemeleri tavlama, su verme ve yaşlandırma olmak üzere üç değişik ısıl işleme tabi tutmuş ve tornalama yöntemi ile aynı kesme parametreleri kullanılarak işlenebilirliği incelemiştir. Çalışmalarında ilk olarak 3 parça için de 750 °C'de 4 saat normal fırın atmosferinde tavlama işlemi uygulanmış ve havada soğutma gerçekleştirilmiştir. Daha sonra diğer iki numune su verme işlemi için 955 °C 'de 1 saat bekletilmiş ve su verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından, üçüncü numune 540 °C de 4 saat boyunca fırında yaşlandırılmış ve fırından çıkarılarak havada soğutularak ısıl işlemler tamamlanmıştır. β dönüşüm sıcaklığının çok altındaki bir sıcaklık olan 750 °C ye kadar ısıtılan Ti-6Al-4V numune fırın ortamında soğutularak β fazının küresel olarak α matris fazı içinde oluşması sağlanmış, nispeten yumuşak ve işlenebilirliği yüksek bir içyapı elde edilmiştir. Bununla birlikte, en yüksek sertlik değerlerine 950 °C 'den su verilmiş alaşımın 2 saat boyunca 540 °C de yaşlandırılmasıyla ulaşılmıştır [41].

C. β FAZI ÇALIŞMALARI

β fazı alaşımlar ifadesi, β dönüşüm sıcaklığının (882 °C) üzerinde soğutulduktan sonra %100 β fazlarını korumak için yeterli toplam β fazı sabitleyici içeriğine sahip alaşımlar olarak tanımlanabilmektedir. Bu alaşımlar α ve $\alpha + \beta$ alaşımlarının sahip olduğu olumsuz yönlerin üstesinden gelmek için geliştirilmiştir. Oda sıcaklığında sahip oldukları üstün soğuk şekillendirilebilirlik özellikleri, yaşlandırma ile elde edilen yüksek mekanik özellikler ve mükemmel korozyon direnci nedeniyle bu alaşımlar artan uygulama alanları bulmaktadır. β alaşımları, yüksek gerilme mukavemetlerine (> 1,400 MPa) ulaşana kadar ısıl işleme tabi tutulabilirler. Ti-10V-2Fe-3Al gibi bazı diğer β alaşımları ise mükemmel yorulma mukavemetine sahiptirler [42]-[44].

Yarı kararlı β alaşımlarının ısıl işlemi temelde çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemi olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Ayrıca, uygulanan yaşlandırma işlemi; yüksek sıcaklıkta

yaşlandırma, düşük sıcaklıkta yaşlandırma ve dubleks yaşlandırma olmak üzere üç farklı yolla gerçekleştirilmektedir. Yaşlandırma süreci, bu alaşımların mukavemetinde % 50-80 artış sağlamaktadır. Bu alaşımlar içerisinde Amerikan Hava Kuvvetleri'nin desteğiyle geliştirilen Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn (Ti-15-3) alaşımı, özellikle havacılık endüstrisinde geniş kullanım alanlarına sahip yarı kararlı β titanyum alaşımlarındandır [45], [46].

Literatür araştırmasında çalışmaların, ısıl işlemlerin sonucunda alaşımın mekanik özelliklerinin gelişimine yönelik odaklanıldığı görülmüştür. Etkin bir mukavemet ve süneklik kombinasyonunun 450 °C sıcaklığın üzerinde yaşlandırma sıcaklığı kullanıldığında elde edilebildiği belirtilmiştir. Bu nedenle β faz alaşımlarda 250-300 °C'de ön yaşlandırma ve ardından 500 °C'de yaşlandırma işlemi ile dubleks yaşlandırma işleminin iyi mekanik özellikler ve süneklik dengesi sağladığı literatürde ortaya konulmuştur. β fazı alaşımlara uygulanan ısıl işlemlerin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada Naveen ve arkadaşları, Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al numunelere ön yaşlandırma ve son yaşlandırma uygulamışlardır. 16 mm çapında 6 mm kalınlığındaki numuneler ile 300 °C'de 10 saat bekletilerek bir ön yaşlandırma işlemi ve ardından faz çökmesinin ilerlemesini izlemek için 500 °C'de farklı zamanlarda (30dk, 1 saat, 2 saat, 4 saat, 8 saat, 16 saat, 32 saat ve 64 saat) son yaşlandırma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Çökme fazını izotermal bekleme süresinin bir fonksiyonu olarak hesaplayabilmek için Thermo-Calc yazılımı ile XRD tekniği kullanmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen çökeltile α fazının miktarının, XRD sonuçlarıyla makul bir uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir [47].

Zhang vd. çalışmalarında, Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al alaşımının sıcak deformasyon davranışını, sıcak presleme testleri kullanarak incelemiştir. Sıcak şekillendirilebilirlik için uygun aralığı belirlemek, gerinim hızı ve sıcaklığın mikroyapısal değişim üzerindeki etkilerini araştırmak için aktivasyon enerji haritası ve Zener-Hollomon parametre haritası geliştirilmiştir. 8 mm çapında ve 12 mm uzunluğundaki numuneler, ilk olarak 1200 °C'ye ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 5 dakika bekletilmiştir. Ardından 5 °C s⁻¹ oranında seçilen test sıcaklığına (850-1150 °C) soğutulmuş ve testten önce 30 saniye bekletilmiştir. Sıcak pres testleri, 0,001–10 s⁻¹ gerinim oranı aralığında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, sıcak deformasyon için güvenli bölgenin, incelenen tüm sıcaklık aralığı boyunca 0,001–0,1 s⁻¹ gerinim hızı aralığında meydana geldiğini göstermiştir. Hesaplanan sıcak deformasyon karakteristiği ile mikroyapısal gözlemlerin sonuçlarının uyumlu olduğu belirtilmiştir [48].

Yüksek mukavemetli sac malzemelerinin derin çekme yöntemiyle şekillendirilmesi sırasında yağlayıcı kullanılması şekillenme esnasında kalıp elemanları ve sac malzeme temas yüzeylerinde oluşan sürtünme kuvvetlerinin etkisini azaltmaktadır [49]. Harada ve çalışma arkadaşları, Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al titanyum alaşımlı sac levhanın şekillendirilebilirliğini artırmak için çok aşamalı bir derin çekme işlemi uygulamışlardır. Derin çekme işlemi sırasında tutukluğu önlemek ve yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için yağlayıcıların yanında numunelerin yüzeyinde oluşan oksit tabakadan da faydalanılmıştır. Çok aşamalı derin çekme işleminde, yüzey pürüzlülüğü ve sertliğin şekillendirilebilirlik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Oksit tabakanın oluşması için numuneler, 750 °C'de 5 dakika bekletilmiştir. İşlemin üçüncü aşamasında şekillenebilirliği geliştirmek için, çekilen numuneler 750 °C'de 5 dakika ara tavlama işleminden geçirilmiş ve yeniden oksit tabakası oluşması sağlanmıştır. Ara tavlama sayesinde numuneler, altı aşamada başarıyla şekillendirilerek uzun bir titanyum kap oluşturulmuştur [50].

Ti-10V-2Fe-3Al alaşımı, derin sertleşebilirlik, iyi mukavemet ve süneklik özellikleri ile yüksek kırılma tokluğu kombinasyonuna sahip bir alaşım sağlamak amacıyla geliştirilmiştir.

Ti-10V-2Fe-3Al, havacılık endüstrisindeki β titanyum alaşımlarının en önemli ve en sık kullanılan örneği haline gelmiştir. Neugebauer vd. çalışmalarında Ti-10V-2Fe-3Al alaşımının şekillendirilebilirlik özelliklerini incelemek için dolu silindirik malzemelerden içi boş profiller oluşturan ekstrüzyon işlemine odaklanmışlardır. Bu yöntemin, derin delik delme gibi işleme yöntemlerine kıyasla önemli ölçüde daha çeşitli malzeme kullanımına izin verdiği belirtilmiştir. Test numunelerinin şekillendirilmesi, 500 ile 600 °C gibi dar bir aralıkta gerçekleştirilmiştir. Numuneler, şekillendirme süresince sıcaklığın düşüşü de göz önüne alınarak, argon gazı atmosferi altında 650 °C sıcaklıkta 60 dakika boyunca fırında ısıtılmışlardır. Şekillendirme işlemi sonucunda, Ti-10V-2Fe-3Al alaşımından yapılmış içi boş bir mil üretmeyi başarmışlardır. Bu işlem sırasında meydana gelen yüksek deformasyonların, aşırı tane incelmeye sebep olarak mukavemette muazzam bir artışa sebep olduğunu gözlemlenmiştir [51], [52].

III. SONUC

Titanyum alaşımları, mikroyapıları ve alaşım elementlerine göre çok farklı mekanik özelliklere ve şekillendirilebilirlik kabiliyetlerine sahip malzemelerdir. Bu çalışmada; farklı titanyum alaşımlarının şekillendirilebilirlik davranışları ve mikroyapılarına sıcaklığın etkileri uygulanan ısıtım prosesleri açısından incelenmiş ve bu alanda yapılan çalışmalar derlenmiştir. Elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Titanyum alaşımları sahip oldukları düşük özgül ağırlık, yüksek mekanik özellikler, üstün korozyon ve aşınma dirençleri ve biyolojik uyumluluğu sebebiyle başta havacılık, medikal, petrokimya ve otomotiv endüstrilerinde, spor ekipmanları ve aksesuar imalatında sıklıkla kullanılmaktadır.
- Titanyum alaşımları, aynı faz sınıfında yer almasına rağmen, içerdikleri Al, O, N, C, Sn, Zr gibi α fazı ve V, Mo, Nb, Ta, Cr gibi β fazı sabitleyici elementlerine ve miktarlarına göre farklı mekanik ve şekillendirilebilirlik özelliklerine sahip olabilmektedirler. Bu nedenle her ısıtım işlemi bütün titanyum alaşımlarına uygulanmamaktadır.
- Titanyumun allotropik bir malzeme olması nedeniyle oda sıcaklığında HSP α fazındayken, 882 °C sıcaklığın üzerinde HMK β fazına geçmektedir. α dönüşüm sıcaklığı ile β dönüşüm sıcaklığı arasında malzemenin mikroyapısında $\alpha+\beta$ fazları bulunmaktadır.
- Genellikle titanyum alaşımları, oda sıcaklığında gerçekleştirilen şekillendirme prosesleri sonucunda yüksek geri esneme değerlerine sahip olabilmektedirler. Bu kusuru ortadan kaldırmak, şekillendirilebilirliği, mekanik özellikleri ve yapısal kararlılığı artırmak amacıyla alaşımlara ısıtım prosesleri uygulanmaktadır.
- CP titanyumlar yüksek korozyon dirençlerine rağmen saf titanyuma yakın mekanik özellikler göstermektedirler ve mukavemet değerleri diğer titanyum alaşımlarına göre düşüktür. α fazlı alaşımlar, mekanik özellikler olarak saf titanyuma yakın özellikler sergilemektedirler. Bu alaşımlara çok az miktarda β fazı sabitleyicileri (Mo, V gibi) eklendiğinde yakın α fazı olarak tanımlanan yapı oluşmaktadır. Bu faz, α fazlı titanyuma yakın özellikler sergilemektedirler. Ancak farklı olarak, bu alaşımlar, çalışma sıcaklığı 400-520 °C'ye varan ortamlarda da kullanılabilirler. $\alpha+\beta$ alaşımları, her iki fazın da varlığından dolayı daha yüksek mukavemet özelliklerine sahiptirler. β fazı sabitleyicileri içeren β titanyum alaşımları, diğer titanyum alaşımlarına kıyasla daha iyi şekillendirilebilir ve sertleştirilebilir özellikleri göstermektedirler.

- Titanyum alaşımlarının yüksek sıcaklıklardaki oksijen ve hidrojen yatkınlığı sebebiyle ısıl işlem prosesleri koruyucu ortamlar altında gerçekleştirilmektedir. Isıl işlem prosesleri genellikle, vakum ortamında ya da argon, azot gibi gaz atmosferlerinde gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, numunelerin ısıya dayanıklı borosilikat cam macun ile kaplanması uygulamaları da bulunmaktadır.

IV. KAYNAKLAR

- [1] S. H. Zahiri, D. Fraser, ve M. Jahedi, “Recrystallization of Cold Spray-Fabricated CP Titanium Structures,” *Journal of Thermal Spray Technology*, vol. 18, no. 1, pp. 16-22, 2009.
- [2] G. Ateş, “Ti6Al4V Titanyum Alaşımının İç Yapısı ve Yüzey Özellikleri Üzerine Termokimyasal İşlem Parametrelerinin Etkisi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta Türkiye, 2018.
- [3] L. Urtekin, Ö. Keleş, “Biyomedikal Uygulamalar İçin Tin Kaplı Ti6Al4V Alaşımının Mekanik Özelliklerinin Araştırılması,” *Savunma Bilimleri Dergisi*, c. 18, s. 36, ss. 91-108, 2019.
- [4] P. J. Arrazola, A. Garay, L. M. Iriarte, M. Armendia, S. Marya ve F. Le Maître, “Machinability of Titanium Alloys (Ti6Al4V and Ti555.3),” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, no. 5, pp. 2223-2230, 2009.
- [5] R. Santhosh, M. Geetha, V. K. Saxena ve M. Nageswararao, “Studies on Single and Duplex Aging of Metastable Beta Titanium Alloy Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn,” *Journal of Alloys And Compounds*, vol. 605, pp. 222-229, 2014.
- [6] Y. Yılmaz, B. Avcı ve H. Demirören, “Biyomalzeme Sektöründe Kullanılan Titanyum ve Alaşımları,” *SETSCI Conference Proceedings*, c. 4, s. 6, ss. 357-362, 2019.
- [7] X. Liu, P. K. Chu ve C. Ding, “Surface Modification of Titanium, Titanium Alloys, and Related Materials for Biomedical Applications,” *Materials Science and Engineering: R: Reports*, vol. 47, no. 4, pp. 49-121, 2004.
- [8] C. Leyens, M. Peters, *Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications*, Weinheim, Almanya: Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, 2003, böl. 1, ss. 1-36.
- [9] C. Ensarioğlu, M. C. Çakır, “Titanyum ve Alaşımlarının İşlenebilirlik Etüdü Bölüm I,” *Mühendis ve Makina*, vol. 46, no. 546, ss. 36-46, 2005.
- [10] T. Choda, H. Oyama ve S. Murakami, “Technologies for Process Design of Titanium Alloy Forging for Aircraft Parts,” *Kobelco Technology Review*, vol. 33, pp. 44-49, 2015.
- [11] A. İşler, “Titanyum Alaşımlarının Isıl İşlem ve Mekanik Özellikleri,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul Türkiye, 1999.
- [12] Y. Yılmaz, “Biyomalzeme Olarak Kullanılan Titanyum Alaşımlarının Mekanik Davranışları ve Korozyon Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkilerinin İncelenmesi,” Yüksek

lisans tezi, Metalurji Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ Türkiye, 2019.

[13] R. Gilbert, *ASM Handbook: Volume 4: Heat Treating*, 10. baskı, Michigan Üniversitesi, ABD: ASM International, 1991, böl. 67, ss. 913-923.

[14] J. D. Beal, R. Boyer ve D. Sanders, *ASM Handbook, Volume 14b: Metalworking: Sheet Forming*, Ohio ABD: ASM International, 2006, böl. 64, ss. 656-669.

[15] F. Öztürk, S. Toros, E. Esener ve E. Uysal, "Otomotiv Endüstrisinde Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Kullanımının İncelenmesi," *Mühendis ve Makina*, c. 50, s. 596, ss. 44-49, 2009.

[16] P. Oyar, "Titanium ve Özellikleri." *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, c. 25, s. 1, ss. 151-159, 2015.

[17] I. Weiss, S. Semiatin, "Thermomechanical Processing of Alpha Titanium Alloys - an Overview," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 263, no. 2, pp. 243-256, 1999.

[18] A. O. Caballero, F. Li, D. E. I. Ojos, M. D. Atkinson ve J. Q. Fonseca, "On the Ductility of Alpha Titanium: The Effect of Temperature and Deformation Mode," *Acta Materialia*, vol. 149, pp. 1-10, 2018.

[19] F. Öztürk, R. E. Ece, N. Polat, A. Köksal, Z. Evis, ve J. Y. Sheikh-Ahmad, "Application of Electric Resistance Heating Method on Titanium Hot Forming at Industrial Scale." *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 41, no. 11, pp. 4441-4448, 2016.

[20] F. K. Chen, K. H. Chiu, "Stamping Formability of Pure Titanium Sheets." *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 170, no. 1-2, ss. 181-186, 2005.

[21] J. M. Liu, S. S. Chou, "Study on the Microstructure and Formability of Commercially Pure Titanium in Two-Temperature Deep Drawing." *Journal of Materials Processing Technology*, c. 95, s. 1-3, ss. 65-70, 1999.

[22] A. L. Port, F. Toussaint ve R. Arrieux, "Finite Element Study and Sensitive Analysis of the Deep-Drawing Formability of Commercially Pure Titanium," *International Journal of Material Forming*, vol. 2, no. 2, pp. 121, 2009.

[23] C. Leyens, M. Peters, D. Weinem ve W. A. Kaysser, "Influence of Long-Term Annealing on Tensile Properties and Fracture of Near- α Titanium Alloy Ti-6Al-2.75 Sn-4Zr-0.4 Mo-0.45 Si." *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 27, no. 6, pp. 1709-1717, 1996.

[24] C. Töre, *Mekanik Tasarımda Titanium ve Özellikleri*, Ankara Türkiye: TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 2007, ss. 158-175.

[25] F. Bülbül, İ. Çelik, "Isıl İşlemin Akımsız Ni-B Kaplanan Saf Titaniumun Yapısına Etkisi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 29, s. 1, ss. 89-94, 2014.

[26] O. M. Badr, B. Rolfe, P. Hodgson, ve M. Weiss, "Forming of High Strength Titanium Sheet at Room Temperature," *Materials & Design*, c. 66, ss. 618-626, 2015.

- [27] N. Şen, “Experimental Investigation of The Formability of Ultrahigh-Strength Sheet Material Using Local Heat Treatment,” *Ironmaking & Steelmaking*, vol. 47, no. 2, pp. 93-99, 2020.
- [28] N. Şen ve N. Kurgan, “Sac Metal Malzemelerin Ilık Derin Çekme Yöntemiyle Şekillendirme Prosesinde Malzeme Karakterizasyonu,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 3, ss. 663-674, 2015.
- [29] N. Kotkunde, H. N. Krishnamurthy, P. Puranik, A. K. Gupta, ve S. K. Singh, “Microstructure Study and Constitutive Modeling of Ti-6Al-4V Alloy at Elevated Temperatures.” *Materials & Design (1980-2015)*, vol. 54, pp. 96-103, 2014.
- [30] Z. Hu, H. Zheng, G. Liu ve H. Wu, “Effects of Cryogenic Treatment after Annealing of Ti-6Al-4V Alloy Sheet on Its Formability at Room Temperature,” *Metals*, vol. 8, no. 5, pp. 295, 2018.
- [31] X. Li, G. Guo, J. Xiao, N. Song ve D. Li “Constitutive Modeling and the Effects of Strain-Rate and Temperature on the Formability of Ti-6Al-4V Alloy Sheet.” *Materials & Design*, vol. 55, pp. 325-334, 2014.
- [32] M. Kopec, K. Wang, D. J. Politis, Y. Wang, L. Wang, ve J. Lin, “Formability and Microstructure Evolution Mechanisms of Ti6Al4V Alloy During a Novel Hot Stamping Process,” *Materials Science and Engineering: A*, vol. 719, pp. 72-81, 2018.
- [33] G. Çetin, “Ti-6Al-4V Sacların Mikroyapı Değişimi ve Geri Yaylanma Davranışının İncelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Otomotiv Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa Türkiye, 2019.
- [34] A. Gheysarian, M. Abbasi, “The Effect of Aging on Microstructure, Formability and Springback of Ti-6Al-4V Titanium Alloy,” *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 26, no. 1, pp. 374-382, 2017.
- [35] N. Kotkunde, A. D. Deole, A. K. Gupta ve S. K. Singh, “Numerical Analysis of Warm Deep Drawing for Ti-6Al-4V Alloy,” *Advances in Material Forming and Joining*, pp. 109-139, 2015.
- [36] R. Ding, Z. Guo, ve A. Wilson, “Microstructural Evolution of a Ti-6Al-4V Alloy During Thermomechanical Processing,” *Materials Science and Engineering: A*, vol. 327, no. 2, ss. 233-245, 2002.
- [37] S. Zherebtsov, M. Murzinova, G. Salishchev, ve S. Semiatin, “Spheroidization of the Lamellar Microstructure in Ti-6Al-4V Alloy During Warm Deformation and Annealing,” *Acta Materialia*, vol. 59, no. 10, pp. 4138-4150, 2011.
- [38] S. Semiatin, P. Fagin, M. Glavicic, I. Sukonnik, ve O. Ivasishin, “Influence on Texture on Beta Grain Growth During Continuous Annealing of Ti-6Al-4V,” *Materials Science and Engineering: A*, vol. 299, no. 2, pp. 225-234, 2001.
- [39] T. Seshacharyulu, S. Medeiros, W. Frazier, ve Y. Prasad, “Hot Working of Commercial Ti-6Al-4V with an Equiaxed A-B Microstructure: Materials Modeling Considerations,” *Materials Science and Engineering: A*, vol. 284, no. 2, pp. 184-194, 2000.

- [40] B. Ma, X. Wu, X. Li, M. Wan, ve Z. Cai, "Investigation on the Hot Formability of Ta15 Titanium Alloy Sheet," *Materials & Design*, vol. 94, pp. 9-16, 2016.
- [41] S. Akyol, "Ti6Al4V Titanyum Alaşımının İşlenebilirliğinin Isıl İşlem Yardımıyla Arttırılması," Yüksek lisans tezi, Malzeme ve İmalat Lisansüstü Programı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul Türkiye, 2007.
- [42] P. J. Bania, "Beta Titanium Alloys and Their Role in the Titanium Industry," *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society-Jom*, vol. 46, no. 7, pp. 16-19, 1994.
- [43] R. Santhosh, M. Geetha, ve M. N. Rao, "Recent Developments in Heat Treatment of Beta Titanium Alloys for Aerospace Applications," *Transactions of the Indian Institute of Metals*, vol. 70, no.7, pp. 1681-1688, 2017.
- [44] R. R. Boyer, "Aerospace Applications of Beta Titanium Alloys," *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society-Jom*, vol. 46, no. 7, pp. 20-23, 1994.
- [45] Q. Shi, Y. Tse, ve R. Higginson, "Microstructure Evolution and Microhardness Analysis of Metastable Beta Titanium Alloy Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn Consolidated Using Equal-Channel Angular Pressing from Machining Chips," *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 29, no. 6, pp. 4142-4153, 2020.
- [46] S. Rajaraman, G. Manivasagam, V. Kumar, ve M. N. Rao, "Structure-Property Correlation in an Aircraft Sheet Metal Alloy Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn," *TMS 2014: 143rd Annual Meeting & Exhibition*, pp. 105-112, 2014.
- [47] M. Naveen, R. Santhosh, M. Geetha, ve M. N. Rao, "Experimental Study and Computer Modelling of the B→ A+B Phase Transformation in Ti15-3 Alloy Under Isothermal Conditions," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 616, pp. 607-613, 2014.
- [48] J. Zhang, H. Di, H. Wang, K. Mao, T. Ma, ve Y. Cao, "Hot Deformation Behavior of Ti-15-3 Titanium Alloy: A Study Using Processing Maps, Activation Energy Map, and Zener-Hollomon Parameter Map" *Journal of Materials Science*, vol. 47, no. 9, pp. 4000-4011, 2012.
- [49] N. şen, N. Kurgan, İ. Karaağaç ve O. Uluer, "Ilık Derin Çekme Prosesinde Yağlayıcı Etkisinin şekillendirilebilirlik Açısından Deneysel Araştırılması," *Politeknik Dergisi*, c. 19, s. 2, ss. 185-193, 2016.
- [50] Y. Harada, Y. Maeda, M. Ueyama, ve I. Fukuda, "Improvement of Formability for Multistage Deep Drawing of Ti-15v-3cr-3sn-3al Alloy Sheet," *Procedia Engineering*, vol. 81, pp. 819-824, 2014.
- [51] R. Neugebauer, L. W. Meyer, T. Halle, M. Popp, S. Fritsch, ve C. John, "Manufacture of a B-Titanium Hollow Shaft by Incremental Forming," *Production Engineering*, vol. 5, no. 3, pp. 227-232, 2011.
- [52] J. D. Cotton, R. D. Briggs, R. R. Boyer, S. Tamirisakandala, P. Russo, N. Shchetnikov, ve J. C. Fanning, "State of the Art in Beta Titanium Alloys for Airframe Applications," *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society-Jom*, vol. 67, no. 6, pp. 1281-1303, 2015.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Ostenitleme Sıcaklığının Bor Alaşımli 30MnB5 Çeliğinin Sertlik ve Tokluk Özelliklerine Etkisi

 Candan ŞEN ELKOCA ^{a,*}

^a *Alaplı Meslek Yüksekokulu, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, TÜRKİYE*

* *candan.selkoca@beun.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.837324

ÖZET

Bu çalışmada, bor alaşımli 30MnB5 çeliğinin farklı ostenitleme koşulları sonrasındaki sertlik ve tokluk özellikleri incelenmiştir. Çalışmada farklı sıcaklıklarda ostenitleme işlemine tabi tutulan Charpy çentikli test numuneleri su verme işlemi ile sertleştirilmiş ve ardından 200 °C’de menevişlenmiştir. Menevişlenen numuneler üzerinde sertlik ölçümleri yapılmış ve darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Darbe testi sonrasında kırılan numunelerin kırık yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda incelenmiş ve metalografik yöntemle hazırlanan numunelerin mikroyapıları optik mikroskopta incelenmiştir. Elde edilen verilere dayanarak optimum sertlik ve tokluk özelliğini veren ostenitleme koşulu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Bor alaşımli çelik, 30MnB5, Isıl işlem, Su verme, Menevişleme*

The Effect of Austenitizing Temperature on the Hardness and Toughness Properties of Boron Alloyed 30MnB5 Steel

ABSTRACT

In this study, the effect of austenitizing temperature on the hardness and toughness properties of 30MnB5 boron alloyed steel after quenching and tempering processes was investigated. In the study, the prepared Charpy notched test specimens, which were subjected to austenitization process at various temperatures, were hardened by quenching and then tempered at 200 °C. Hardness measurements and impact tests were carried out on the tempered samples. After the impact test, the fractured surfaces of the broken samples were examined through scanning electron microscope and the microstructures of the samples prepared by the metallographic method were examined under optical microscope. Based on the data obtained, the austenitizing condition that gives optimum hardness and toughness was determined.

Keywords: *Boron-alloyed steel, 30MnB5, Heat treatment, Quenching, Tempering*

I. GİRİŞ

Borlu çelikler yüksek mukavemet yanında yüksek sertlik ve yüksek aşınma dayanımına sahip alaşımlı çeliklerdir. Kolay işlenebilir olmaları ve uygulanan ısıl işlemler sonrasında çok iyi mekanik özellikler sergilemeleri bu tip çeliklerin en önemli özelliklerindedir. Bor elementi bu tür çeliklerde sertleşebilirliği büyük oranda arttırmaktadır [1]. Yüksek sıcaklıklarda ostenit tane sınırlarında oluşan bor segregasyonu tane sınırlarındaki ara yüzey enerjisini azaltmaktadır. Bu durum özellikle ostenitleme işleminin ardından soğuma sırasında ferrit ve perlitin çekirdeklenmesini geciktirmekte ve böylece hızlı soğuma esnasında martenzitik yapı oluşumuna imkan sağlamaktadır.

Bor alaşımlı çelikler hızlı bir şekilde soğutulduğunda tane içinde kalan bor sertleşebilirlik üzerinde büyük bir etki yaratır. Ancak yüksek karbon oranlarında bor bu etkisini kaybetmektedir. Bu yüzden genellikle karbon oranı % 0,10 ile % 0,45 arasında tutulmaktadır. Bor elementi düşük karbonlu, düşük alaşımlı çeliklere genellikle (%0,0005 - %0,007) civarında ilave edilir. Çok düşük miktardaki ilavesinin önemli mukavemet artışları sağlaması sebebiyle, B elementi Cr ve Mo gibi bazı pahalı alaşım elementlerin yerini almıştır [2]. Bor elementinin farklı çeliklerin mekanik özellikleri üzerinde yarattığı etki son yıllarda büyük ilgi kazanmıştır [3]-[7]. Bor, 20MnB5, 27MnB5, 30MnB5, 38MnB5, 27MnCrB5 ve 33MnCrB5 gibi çeliklerle geniş bir kullanım alanı yaratmıştır. Bu kapsamda bor alaşımlı 30 MnB5 çeliği, otomotiv endüstrisinden tarım alet ve makinelerine kadar geniş bir yelpazede kendine kullanım alanı bulmaktadır.

Bor alaşımlı çeliklerin mikroyapıları ve mekanik özellikleri uygulanan ısıl işlemlerle büyük oranda iyileştirilebilmektedir. Yapılan çalışmalara göre, ferritik - perlitik bir mikroyapıya ve 700 MPa çekme mukavemetine sahip bor alaşımlı bir 30MnB5 çeliğinin su verme sonrasında çekme mukavemetinin yaklaşık 1.700 MPa çıktığı görülmüştür [8].

Aşınma direnci esas olarak sertlik ve mikroyapı gibi parametrelerle ilişkilidir. Aşınma direncini arttırmak için temel yaklaşım, mümkün olduğunca sertliğin yükseltilmesidir. Ancak, sertlikteki önemli bir artış, genellikle malzemenin kırılabilirliğinin artmasına yol açmakta, dolayısıyla malzemenin kullanım performansını etkilemektedir. Tu ve arkadaşları [9], aynı sertlikte, alt beynitten oluşan bir mikroyapının yalnızca menevişlenmiş martensite göre daha yüksek bir tokluğa ve süneklığe sahip olduğunu bildirmiştir. Toprağı işleyen aletlerde kullanılan malzemeler, aşınmaya karşı koyacak kadar sert olurken, aynı zamanda darbe ve çarpımlara karşı koyacak kadar da sağlam olmalıdır [10]. Bu nedenle yüksek aşınmaya maruz kalan pulluk malzemesinin tokluğu ve sertliği, çalışma koşullarını karşılamak için optimize edilmelidir. Uygun bir çözüm, sertlik ile malzemenin tokluğu arasında bir değiş tokuş gerektirir (tokluk lehine sertlikten bir miktar ödün verme).

Yukarıdaki açıklamalara göre, tarımsal uygulamalarda kullanılan bor alaşımlı 30MnB5 çeliğinin sertlik ve aşınma gibi mekanik özellikleri dışında tokluğunun da geliştirilmesi gereklidir. Bu çalışmada farklı ostenitleme sıcaklıklarının sertlik yanında tokluk üzerindeki etkisi de araştırılmış ve en iyi sertlik - tokluk kombinasyonunu verecek ostenitleme sıcaklığı belirlenmeye çalışılmıştır.

II. MALZEME VE METOD

Çalışmada 5 mm kalınlığındaki sıcak haddelenmiş 30MnB5 bor alaşımlı çelik sac malzeme kullanılmıştır. Malzemenin spektral analiz sonucunda elde edilen kimyasal kompozisyonu Tablo 1'deki gibi olup, çelik içerisindeki B miktarının % 0,0029 oranında olduğu belirlenmiştir. Isıl işlem öncesinde (sıcak haddelenmiş durumda) çelik sacın mekanik özellikleri ise Tablo 2'deki gibidir.

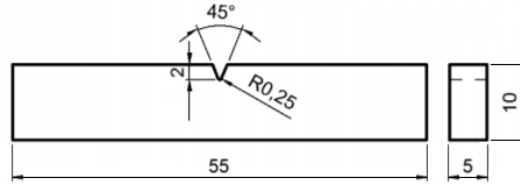
Tablo 1. Kimyasal bileşim (% ağırlık olarak)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	B	N
0,293	0,278	1,277	0,0115	0,0032	0,145	0,036	0,0029	0,0058

Tablo 2. Malzemenin sıcak haddelenmiş durumdaki mekanik özellikleri

Akma mukavemeti (kg/mm ²)	Çekme mukavemeti (kg/mm ²)	Uzama (%)	Sertlik (HRB)	Darbe direnci (J)
44,2	68,0	21	89	4,2

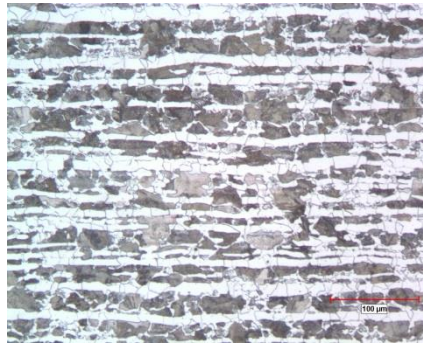
ASTM A370 standardına göre, normal altı boyutlarda (Şekil 1) hazırlanan çentikli darbe test numuneleri elektrikli bir mufla fırınında 50 °C'lik artışla 750 - 1000 °C sıcaklık aralığında 30 dak. süre ile ostenitlenmiş ve hemen ardından oda sıcaklığında su içeren bir tanka daldırılarak su verilmiştir. Su verilen numuneler daha sonra aynı mufla fırınında bu kez 200 °C'de 2 saat menevişleme işlemine tabi tutulmuştur. Isıl işlem görmüş olan numunelerin HRC sertlikleri Zwick ZHU 250 cihazında ölçülmüş ve çentikli darbe testleri Zwick HIT 450P cihazında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Darbe testi sonrasında kırık yüzeyleri Jeol JSM 5600 taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Ayrıca, sıcak haddelenmiş (ısıl işlem görmemiş) ve ısıl işlem görmüş numunelerden çıkarılan numuneler optik mikroskop incelemeleri için metalografik olarak hazırlanmıştır. Bu amaçla bakalite gömülen numuneler, sırasıyla 180 - 240 - 320 - 400 - 600 - 1000 grid'lik SiC zımpara kağıtlarıyla zımparalanmış, ardından yine sırasıyla 3 ve 1 µm elmas süspansiyonlarıyla parlatılmıştır. Mikroyapı detaylarının ortaya çıkarılabilmesi için parlatılan numuneler 15 s. süre ile %3'lük Nital çözeltisi ile dağlanmış ve hemen ardından su ile durulanıp, sıcak hava akımında kurutulmuştur. Optik mikroskop (OM) incelemeleri Nikon Epiphot 200 ışık mikroskobu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Kullanılan Charpy çentikli darbe test numunelerinin boyutları

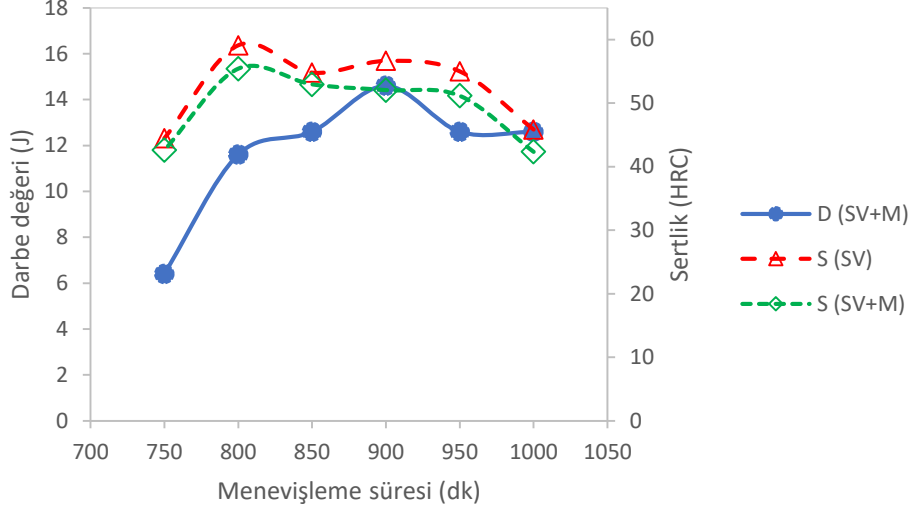
III. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Sıcak haddelenmiş durumdaki 30MnB5 çeliğinin optik mikroskop görüntüsü Şekil 2'deki gibi olup, ferrit ve perlitten oluşan mikroyapı haddeleme doğrultusunda uzamıştır.



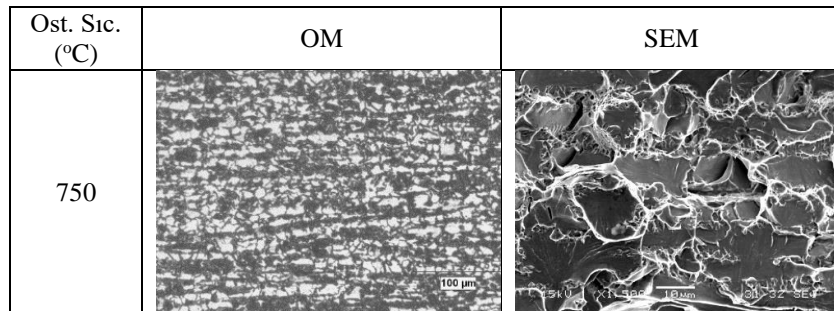
Şekil 2. Sıcak haddelenmiş 30MnB5 çeliğinin mikroyapısı

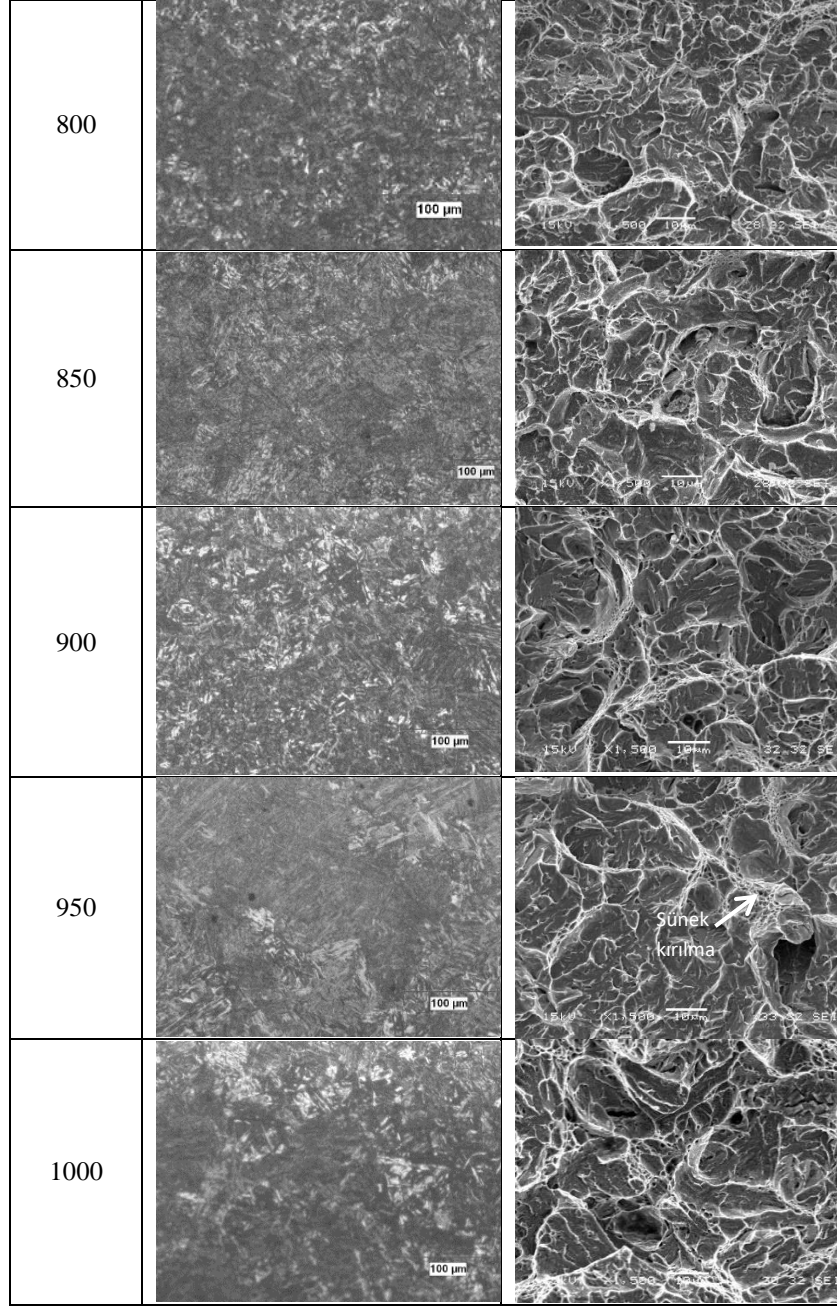
Isıl işlemler (SV: Su verme ve M: Menevişleme) sonrasında numunelerin çentikli darbe test sonuçları (D) ve sertlikleri (S) Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3'e göre, 900 °C'ye kadar artan ostenitleme sıcaklığı ile tokluk değerinde önce bir artış, ardından bir düşme gözlenirken, 800 °C'ye kadar artan sertliğin bu sıcaklığın üzerindeki ostenitleme işlemleri sonrasında genel olarak bir düşme eğilimi sergilediği görülmüştür.



Şekil 3. Isıl işlemler sonrasında numunelerin çentikli darbe test sonuçları ve sertlikleri

Isıl işlemler sonrasında ortaya çıkan mikroyapılar ve darbe testleri sonrasında kırılan yüzeylerin kırık yüzey görüntüleri Şekil 4'teki gibidir. 750 °C'deki kırık yüzeyi gevrek çatlama (klivaj) ve sünek ayrılma yüzeylerinden oluşurken, 750 °C'nin üzerindeki işlemler su verilmiş ve menevişlenmiş malzemelere özgü gevrek benzeri (quasi-klivaj) ayrılma yüzeyleri oluşturmuştur. Su verme ile sertleştirilmiş numuneler arasında en yüksek kırılma enerjisi 900 °C'de ısıtılan numunede elde edilmiştir. Burada sıcaklık artışıyla malzemenin tokluğunda da artış görülmüştür. Ancak 900 °C'den sonra darbe enerjisi tekrar düşmektedir. 900 °C'ye kadar olan ostenitleme işlemleriyle toklukta gözlenen artış, bu sıcaklıklarda önceki ostenit tane sınırlarında ortaya çıkan ferrit oluşumlarıyla açıklanabilir. Kırık yüzeylerinin SEM görüntüsü önceki ostenit tane sınırlarında oluşan ferritin sünek bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Kim ve arkadaşlarına [11] göre, önceki ostenit tane sınırları arasında oluşan ferrit, çatlakların yayılmasına bir engel oluşturmaktadır ve tane sınırlarında film benzeri karbürlerin oluşumuna engel olmaktadır. Buna göre, tane içerisinde ilerleyen çatlaklar yumuşak bir fazla, yani taneler arası ferrit ile karşılaşır, yayılmaları gecikecektir. 900 °C'nin üzerindeki ostenitleme işlemleri sonrasında tokluğun düşmesi ise artan ostenitleme sıcaklığına bağlı olarak artan ostenit tane boyutuyla açıklanabilir. Ostenit tane boyutundaki artış, tane sınır alanını azaltır. Tane sınırı alanındaki azalma, sınırdaki toplam bor konsantrasyonunu arttırmaktadır. Bu ise yüksek ostenitleme sıcaklıklarında daha fazla bir bor karbür çökmesi demektir. Suski ve Oliveira'nın [12] belirttiği gibi artan ostenitleme sıcaklığı ile ostenit tane boyutu artmakta, bu ise akma noktasındaki düşme eğilimi ile birlikte sertlik düşüşüne de yol açmaktadır.





Şekil 4. Isıl işlemler sonrasında OM ile gözlenen mikroyapılar ve darbe testi sonrasında SEM ile görüntülenen kırılma yüzeyleri

Borkarbür ($Fe_{23}(C,B)_6$) çökmesi, ostenitleme sıcaklığının yükselmesiyle artmaktadır. Bu artış, daha önce belirtildiği gibi, ostenit tane sınırlarındaki bor konsantrasyonunun artışıyla ilişkilidir. Borun bu bölgelerdeki denge dışı segregasyonu çeliğin sertleşebilirliğini de azaltmaktadır. Borkarbürün neden olduğu sertleşebilirlikteki azalmanın, mikroyapıdaki beynit yüzdesini de arttırdığı ifade edilmektedir. Borkarbürlerin bu sıcaklıklarda çökmesi su verme sonrasında meydana gelmektedir, yani çöktüler önce çözünmekte, ardından soğutma sırasında çökmekte ve sonrasında planlanan menevişleme sıcaklığına ulaşıldığında kabalaşmaktadırlar [12]. Bu durum 900 °C'den su verme sonrasında nispeten yüksek olan sertliğin menevişleme işlemi sonrasında neden diğer sıcaklıklardan daha çok düştüğünü açıklamaktadır.

IV. SONUC

Bu çalışmada, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde, su verme ve menevişleme işlemleri sonucunda yapıda menevişlenmiş martenzit oluşumları gözlenmiştir.
- En yüksek sertlik değeri 800 °C'de, en yüksek tokluk ise 900 °C'de ostenitlenmiş numunelerde elde edilmiştir.
- Aşınmaya dayanıklı bor alaşımlı 30MnB5 malzemeden üretilecek bir parçanın aynı zamanda kullanım yerindeki darbelere karşı dirençli olması isteniyorsa, 850 °C'de gerçekleştirilecek bir ostenitleme işleminin istenilen optimum özellikleri sağlayacağı görülmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] I. Mejía, A. Bedolla Jacuinde, C. Maldonado and J.M. Cabrera, "Hot Ductility Behaviour of A Low Carbon Advanced High Strength Steel (AHSS) Microalloyed with Boron," *Materials Science and Engineering A*, vol. 528, no. 13-14, pp. 4468-4474, 2011.
- [2] A. Terzic, M. Calcagnotto, S. Guk, T. Schulz and R. Kawalla, "Influence of Boron on Transformation Behavior During Continuous Cooling of Low Alloyed Steels," *Materials Science & Engineering A*, vol. 584, pp. 32-40, 2013.
- [3] T. I. Titova, N. A. Shulgan and I. Yu Malykhina, "Effect of Boron Microalloying on the Structure and Hardenability of Building Steel," *Metal Science and Heat Treatment*, vol. 49, no. 1-2, pp. 39-44, 2007.
- [4] K. S. Chandravathia, K. Laha, N. Shinyab and M. D. Mathewa, "Effects of Boron and Cerium on Creep Rupture Properties of Modified 9Cr-1Mo Steel and its Weld Joint," *Procedia Engineering*, vol. 55, pp. 433-437, 2013.
- [5] Z. P. Luo and C. Y. Sun, "Effect of the Interfacial Bonding Status on the Tensile Fracture Characteristics of a Boron-Fiber-Reinforced Aluminum Composite," *Materials Characterization*, vol. 50, no.1, pp. 51-58, 1999.
- [6] W. Chen, C. J. Boehlert, E. A. Payzant and J. Y. Howe, "The Effect of Processing on the 455 °C Tensile and Fatigue Behavior of Boron-Modified Ti-6Al-4V," *International Journal of Fatigue*, vol. 32, no. 3, pp. 627-638, 2010.
- [7] W. Chen and C. J. Boehlert, "The 455 °C Tensile and Fatigue Behavior of Boron-Modified Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si (Wt.%)", *International Journal of Fatigue*, vol. 32, no. 5, pp. 799-807, 2010.
- [8] H. Güler, R. Ertan and R. Özcan, "Characteristics of 30MnB5 Boron Steel at Elevated Temperatures," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 578, pp. 417-421, 2013.
- [9] M.-Y. Tu, C. A. Hsu, W. H. Wang, and Y. F. Hsu, "Comparison of Microstructure and Mechanical Behavior of Lower Bainite and Tempered Martensite in JIS SK5 Steel," *Materials Chem. and Physics*, vol. 107, no. 2-3, pp. 418-425, 2008.
- [10] A. G. Foley, P. J. Lawton, A. W. Barker and V. A. Mclees, "The Use of Alumina Ceramic to Reduce Wear of Soil-engaging Components," *J. Agric. Eng. Res.*, vol. 30, pp. 37-46, 1984.

[11] J. S. Kim, K.-T. Park, D. Lee and C. S. Lee, "Effect of Intergranular Ferrite on Hydrogen Delayed Fracture Resistance of High Strength Boron-added Steel," *ISIJ International*, vol. 47, no. 6, pp. 913-919, 2007.

[12] C. A. Suski and C. A. S. de Oliveira, "Effect of Austenitization Temperature on the Precipitation of Carbides in Quenched Low Carbon Boron Steel," *Metallography Microstructure and Analysis*, vol. 2, no. 2, pp. 79-87, 2013.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Classification of Human and Vehicles with The Deep Learning Based on Transfer Learning Method

 Enes CENGİZ ^{a*},  Cemal YILMAZ ^b,  Hamdi Tolga KAHRAMAN ^c

^a Department of Mechatronic Engineering, Faculty of Technology, Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, TURKEY

^b Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, Ankara, TURKEY

^c Department of Software Engineering, Faculty of Technology, Karadeniz Technical University, Trabzon, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: enescengiz@aku.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.842394

ABSTRACT

There has been a significant increase in the use of deep learning algorithms in recent years. Convolutional neural network (CNN), one of the deep learning models, is frequently used in applications to distinguish important objects such as humans and vehicles from other objects, especially in image processing. With the development of image processing hardware, the image processing process is significantly reduced. Thanks to these developments, the performance of studies on deep learning is increasing. In this study, a system based on deep learning has been developed to detect and classify objects (human, car and motorcycle / bicycle) from images captured by drones. Two datasets, the image set of Stanford University and the drone image set created at Afyon Kocatepe University (AKÜ), are used to train and test the deep neural network with the transfer learning method. The precision, recall and f1 score values are evaluated according to the process of determining and classifying human, car and motorcycle / bicycle classes using GoogleNet, VggNet and ResNet50 deep learning algorithms. According to this evaluation result, high performance results are obtained with 0.916 precision, 0.895 recall and 0.906 f1 score value in the ResNet50 model.

Keywords: Deep learning, Object detection, CNN

Derin Öğrenme Tabanlı Transfer Öğrenme Yöntemiyle İnsan ve Araçların Sınıflandırılması

ÖZET

Son yıllarda derin öğrenme algoritmalarının kullanımında önemli bir artış görülmektedir. Uygulamalarda derin öğrenme modellerinden evrişimli sinir ağı (ESA) özellikle görüntü işlemede insan ve araç gibi önemli nesnelere diğer nesnelere ayırmak için sıklıkla kullanılmaktadır. Görüntü işleme donanımlarının gelişmesiyle görüntü işleme süreci önemli ölçüde azaltılmaktadır. Bu gelişmeler sayesinde derin öğrenme üzerine yapılan çalışmaların performansı artmaktadır. Bu çalışmada, dronlar tarafından elde edilen görüntülerden nesnelere (insan, araba ve motosiklet/bisiklet) tespit etmek ve sınıflandırmak için derin öğrenmeye dayalı bir sistem geliştirilmiştir. Derin sinir ağının transfer öğrenme yöntemiyle eğitilmesi ve test edilmesi için açık kaynak olan Stanford Üniversitesi görüntü seti ve Afyon Kocatepe Üniversitesi (AKÜ)'nde oluşturulan drone görüntü seti olmak üzere iki veri seti kullanılmıştır. GoogleNet, VggNet ve ResNet50 derin öğrenme algoritmaları kullanılarak insan, araba ve motosiklet/bisiklet sınıflarını tespit etme ve sınıflandırma işlemine göre kesinlik, duyarlılık ve f1 skor değerleri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucuna göre ResNet50 modelinde 0,916 kesinlik, 0,895 hassasiyet ve 0,906 f1 skor değeriyle performansı yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin öğrenme, Nesne tespiti, CNN

I. INTRODUCTION

Target determination has emerged as one of the problems in the field of computer vision, which has attracted the most attention and studies in recent years. The detection and tracking of an object or a living being with the traditional target detection algorithms poses a problem due to the high visibility distance of the object to be detected from the air. In recent years, data driven CNN has been used frequently, with the improvement of datasets and the technological advancement of image processing hardware. In this way, great progress has been made in extracting image information and object recognition [1],[2]. Drones tackle many challenging tasks and contribute to the solution of problems. Drones, which are involved in applications such as object and human detection from the air, search and rescue activities and productivity analysis of agricultural lands, are also encountered in many different areas [3].

Airborne Drone detection of people and vehicles has a very important place for use in the defense industry. It provides great convenience to the user, especially when used in areas that may pose a threat. Determining and classifying the coordinates of the classes in the images is important at this point. The task of detecting and tracking people and vehicles from the images obtained by drone can be overcome with the deep learning algorithms that have recently been presented [4].

How to work the deep learning algorithms in the sub-branch of artificial intelligence can be understood by examining the neural network neurons in the human brain. Deep learning algorithms are prepared by training with a training dataset to solve a problem. The deep learning model, which does not have the desired information at the beginning, learns the necessary information for the problem as a result of the training. Basically, these deep learning models are used in the field of computer vision, which allows the computer to see like a human.

Since the 1990s, important studies have been carried out on object and human classification using deep learning methods. CNN is the best-known model of deep learning. CNNs trained with aerial images obtained from a certain height by means of drones are used in object detection. In the object detection process, the deep learning model is required to show high performance.

In some studies; Vgg network, one of the CNN models, was developed and used for object detection. With the proposed architecture, new layers are added to the network to increase the performance of the model. ResNet connection developed in front of the full connected layers of the Vgg network has been added. It was trained using approximately 20 thousand training and test images to classify 20 different classes and an accuracy rate of more than 85% was achieved [5]. Another study used a deep learning model to detect pedestrians in aerial images. The deep learning models used in the study were trained and tested with the PASCAL VOC 2007 dataset. In order to increase the detection performance of pedestrians in the aerial images included in this dataset, image part and merger transformation was made. Thus, when looking at the experimental results, such preprocessing methods have shown that it can significantly increase the detection rates for CNNs [6]. In the other study, the detection and tracking of pedestrian and car classes was carried out with a deep learning model trained with aerial drone images. Training and testing were carried out separately with two different datasets, one of which is the open source dataset COCO and the other one obtained by drone from the Seoul National University campus. When the results of the study are examined, the model trained with the images obtained from the university campus performed better than the model trained with the open source COCO dataset [7]. In a different study, a deep learning model was proposed for the detection of airborne ships. In the proposed model, the ResNet which is a deep learning model was first trained open source dataset PASCAL VOC 2007. Later, the model was trained by transfer learning with the training set of the SAR ship dataset. The test process of the model was performed with the test set of the SAR ship dataset and the results were presented. The neural network trained with the transfer learning method and the network trained without transfer learning were compared in terms of average sensitivity and training time. According to the comparison result, the network trained with the transfer learning method reveals better performance [8].

In the study, VggNet, GoogleNet and ResNet50 deep learning algorithms are used to detect human, car and motorcycle / bicycle classes. A comparison of algorithms has been made over their success in classifying the specified objects. For the training of the CNNs used, two different datasets were used, one being the open source Stanford drone dataset and the other the drone dataset obtained from the AKU campus we created. Using both datasets, VggNet, GoogleNet and ResNet50 deep network are trained with the transfer learning method and then are tested with the AKU test dataset.

In the first part of this work the importance of aerial human, car, motorcycle / bicycle detection and other previous academic studies on the subject in the literature are mentioned. In the second part, information is given about CNN's working principle. In addition, the layers that make up the CNN are introduced and the process of the network during its training is explained. In the third chapter, the datasets used for training the model, the process of bringing them into the appropriate form and the transfer learning method are explained. Again, in this section, at the end of the test process, by obtaining the precision, recall and f1 score values from the error matrix and is revealed the performance of the model. The fourth section includes the evaluation of the results obtained from the three sections.

II. DEEP LEARNING MODELS

Computer vision is a field that enables machines to see the world as humans, perceive it in a similar way. It is used for many different tasks such as image and video recognition, image analysis and classification, natural language processing. Deep learning is especially used for classification, recognition and detection tasks. The predominant orientation of the studies is in this direction. Nowadays, deep learning algorithms appear in many areas and provide convenience in many tasks based on human power. In recent years, advances in deep learning and computer vision have been built on and perfected on CNN. CNN are multi-layer sensor neural networks used in image recognition and processing, especially designed to process image data [9],[10].

The most useful task to learn how to design a high-performance CNN is to examine high-performance models that have already been built. With the use of CNNs in ILSVRC competition since 2012, successful studies in this field have emerged. In recent years, with the participation of giant technology companies in this competition, its popularity is increasing day by day. ILSVRC competition contributes both to the rapid advancement of the latest technology for computer vision tasks and to the development of general innovations in the architecture of CNN models [4],[11].

The data given as input to CNN is passed through certain layers and transferred towards the output. Convolution can work in 1D (speech processing), 2D (image processing), 3D (video processing). 2D convolution is important because it is used in feature extraction in the field of image processing and is also the basic block of CNN. The image is converted to matrix format by converting the numerical values of each pixel of the colors in the image. The matrix created in this way represents the image numerically. By applying certain filters to this matrix, different details of the entrance image are revealed. That is, it reveals the distinctive features of the image. Some of the filters used are; blur filter, sharpen filter, emboss filter, edge detection filter etc. With the help of these filters, deep attribute information of CNN can be extracted. In deep CNN, which has a multi-layer structure, a separate process is carried out on each layer and data is transferred to the next layer. Each layer performs its own function and finally, the desired classification is made as output [12].

In a neural network, the image applied to the input is passed through layers with multiple neurons and transferred to the output. Each neuron is connected to all neurons in the previous and next layers. There are many layers used in CNN. These; convolution, pooling, activation, flattening are fully connected, normalization and dropout layers [13],[14].

Convolution layer is the process of multiplying filter matrices on the digital matrices of the image in image processing. The pooling layer is the preferred layer after convolution. It is also known as the

down sampling layer [15],[16],[17]. The activation layer is used to regulate the output of layer neurons. There are many types of activation functions, especially the rectified linear unit (ReLU). The task of the flatten layer is to prepare the data at the entrance of the fully connected layer at the end of its network. In this layer, the matrices which comes from the convolution and pooling layer are converted into a one-dimensional array. There are classes to be detected at the exit of the fully connected layer after the flattening layer. The normalization layer in the neural network helps to reduce the training time. This layer resists the vanishing gradient during training of the CNN. Thus, the training time of the network decreases and it shows better performance [18]. The dropout layer is used to prevent it from over-learning the deep neural network. The working performance of the network is increased by preventing from overfitting the network. In this layer, it ensures that a certain percentage of neurons are neglected randomly in each iteration. Dropout takes a value between 0 and 1 [19]. The classification of the object desired from the image applied to the entrance of the deep CNN architecture and the connections between layers are shown in Figure 1.

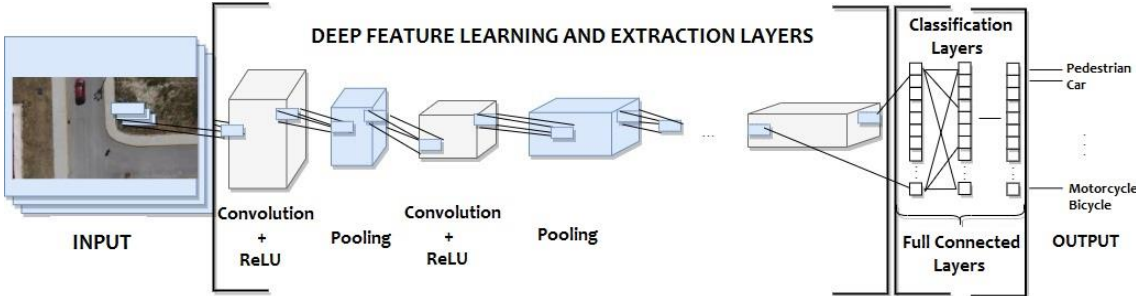


Figure 1. General view of CNN architecture

A project competition called ILSVRC has been organized every year on deep learning since 2010. It is requested that the objects in the images given to the competition participants are detected and classified correctly. CNN architectures have been easily introduced to the world with this competition. With the inclusion of CNN models in the competition in 2012, the emergence of successful models accelerated. The LeNet-5 model is accepted as the first successful and important application of CNN before ILSVRC [20]. Later, CNN models (AlexNet, Vgg, GoogleNet and ResNet) developed for ILSVRC contribute to the literature.

A. 1. AlexNet

The deep learning algorithm AlexNet presented by Alex Krizhevsky et al. Was introduced to the literature in 2012. With the ILSVRC competition, he contributes greatly to the development of CNN. In this model, 224x224 sized images with three color channels are used as input images. The most important difference of the AlexNet model, which is similar to the LeNet architecture, is that it is deeper. The appearance of the AlexNet architecture is shown in Figure 2.

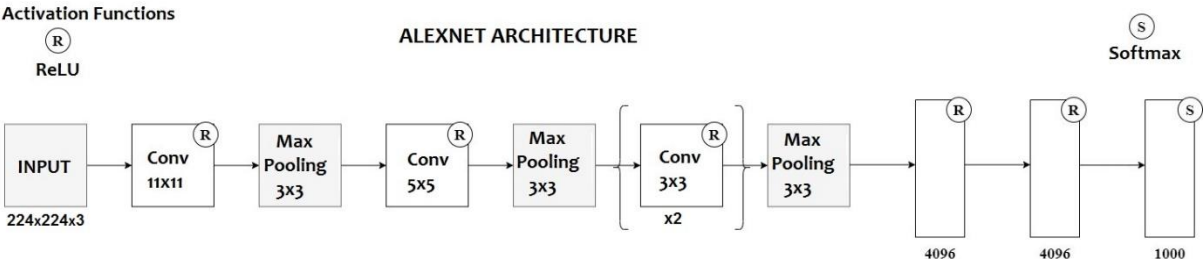


Figure 2. AlexNet CNN architecture

A. 2. VggNet

Vgg architecture is abbreviation of Visual Geometry Group laboratory in Oxford where the studies were conducted. Unlike the large size filters in LeNet-5 and smaller but still relatively large size filters in AlexNet, small size filters (3x3 and 1x1) were preferred in the model. More filters are used compared to other models. The appearance of the VggNet architecture is shown in Figure 3.

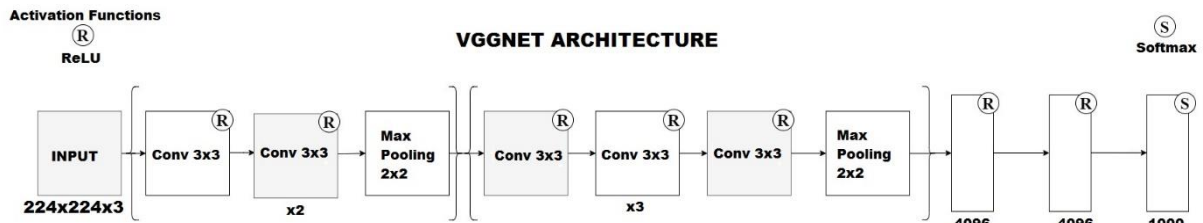


Figure 3. VggNet CNN architecture

A. 3. GoogleNet

Having 12 times less parameters than the AlexNet model, the GoogleNet architecture consists of 22 layers (27 layers when pooling layers are added). This model, also known as the Inception model, was used as the team name of GoogleNet in the ILSVRC14 competition. The architecture, which has a 224x224x3 view at its entrance, has 5 million parameters in total. In the convolution layer, 1x1, 3x3 and 5x5 size filters are used [21]. The filter structure used in the GoogleNet architecture is shown in Figure 4.

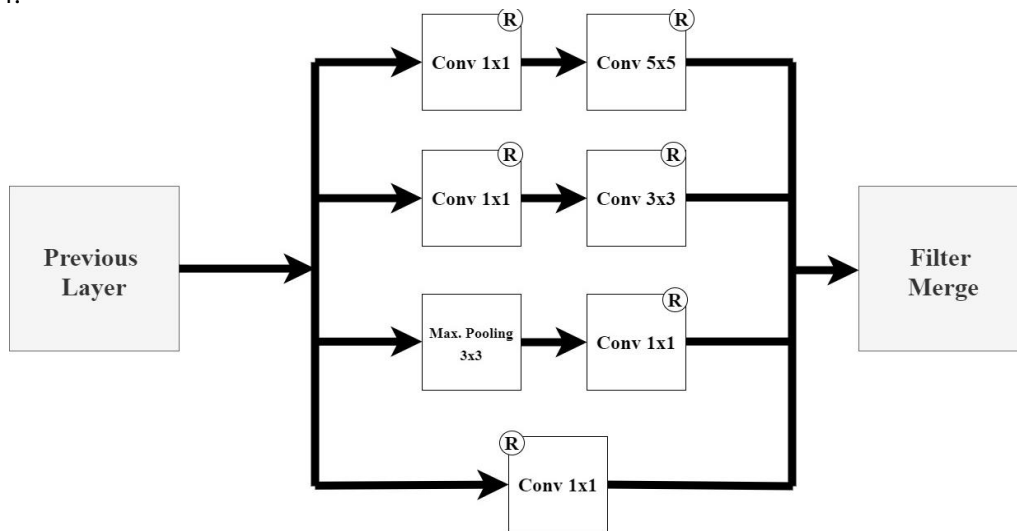


Figure 4. Filter and size reduction structures implemented in GoogleNet architecture

A. 4. ResNet

The ResNet model, known as Residual Network, won the first place in the ILSVRC15 competition, making significant contributions to the literature. ResNet architecture has a deeper structure than other models. With the increase in depth, the target function is approached better and better feature extraction is made. There is a 224x224x3 image at the entrance of the ResNet model. ResNet CNN model generally; It consists of the convolution layer, activation layer, pooling layer and fully connected layer groups [22],[23]. The connection used in the ResNet architecture is shown in Figure 5.

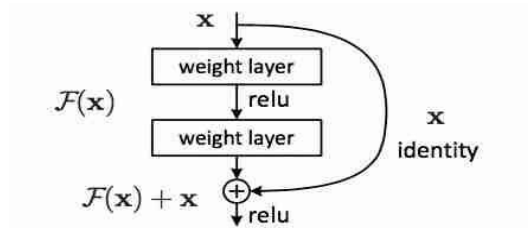


Figure 5. ResNet architecture connection example

Unlike the successive consecutive structure as in the models (AlexNet, VGGNet and GoogleNet) that were developed before it, it used residual blocks in the ResNet model.

III. RELATED WORK

In this section, the application process of the system, which is classified as human, car, motorcycle / bicycle with a deep learning CNN-based model, is explained. The application process of the study is given in the flow chart in Figure 6.

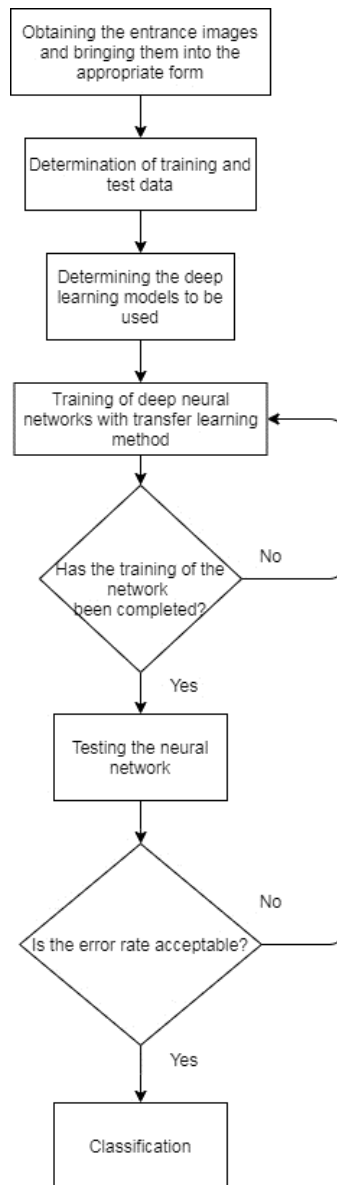


Figure 6. Application process flow chart

Pre-training of the network is provided by training the neural network with the dataset obtained from the Stanford University campus, which is an open source for human, car, motorcycle / bicycle detection and classification [24]. Then, the training of the neural network is continued with the training set of the dataset obtained from the AKU campus. In this way, the performance of the model is increased to higher levels with the transfer learning method. The deep neural network, which is trained with the transfer learning method, is tested with the battery test dataset. The application of the transfer learning method is shown in Figure 7.

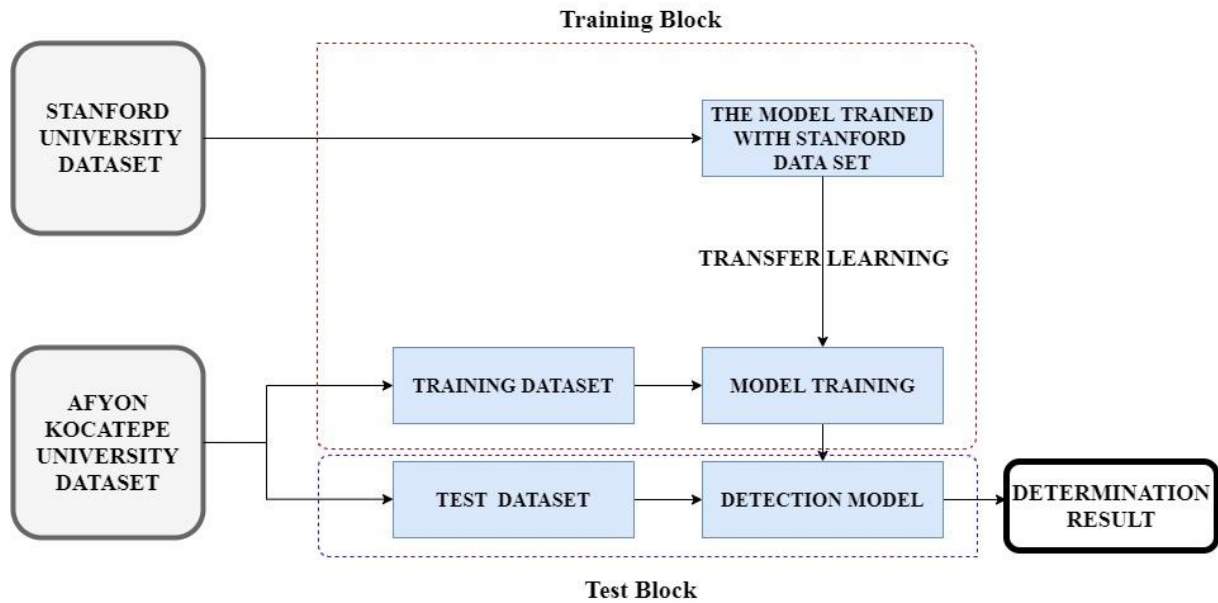


Figure 7. Realization of the transfer learning method to the deep neural network

2591 images are used in the Stanford dataset used for training the deep neural network. These images contain at least one of the objects to be classified. Although the dimensions of the images are 1424x1088 and 1630x1940, they have been reduced to 224x224 for use in deep learning algorithms. Then, drone images are obtained from the AKU campus and the second dataset is created. This dataset consists of approximately 1250 images. These images are 1280x720 in size and have been reduced to 224x224 for training and testing. Training and testing dataset is created by separating 80% for training and 20% for testing of the images in the dataset. The images obtained from the AKU campus are shown in Figure 8.



Figure 8. Images from the created dataset

Weights are updated by training the deep neural network, which is initially randomly weighted, with the Stanford University dataset. Then, the deep neural network is retrained with the AKU training dataset, and the weights are updated. GoogleNet, VggNet and ResNet50 deep learning algorithms are

used for classification of human, car, motorcycle / bicycle. There are certain parameters when training the model in deep learning. Preferred values in these parameters may differ from train to train [25]. Preferred hyper-parameters in the study are given in table 1.

Table 1. Hyper-parameters selected for training

Dataset	Learning rate	Number of training rounds (epoch)	Step Number
Stanford and AKÜ datasets	1e-5	40	2000

In the study, Google Colaboratory system is used to train and test deep learning models. Deep learning studies are developed by using libraries such as Keras, Tensorflow, Pytorch, OpenCV of the system, shortly known as Colab. Thanks to the NVIDIA Tesla K80 graphics processor in the system, more calculations can be made in large datasets, so it can provide results quickly. As the number of iterations increases, the training time of the deep neural network increases. Therefore, training with a GPU supported system results in a much shorter time than a CPU supported system. Examples of the classification process of images are given in Figure 9.



Figure 9. Images Examples of the classification process of images

The above images include the outputs of the images passed from the deep neural network. The outputs are obtained by applying the introduction image to the weights updated with the transfer learning method. Different results are observed with the deep learning models used. The deep learning algorithms using the transfer learning method and their precision, recall and f1 score values are given in Table 2.

Table 2. Precision, recall and f1 score values with transfer learning of deep learning algorithms

Deep Learning Algorithm	Total Image Count	Precision	Recall	F1 Score
GoogleNet	3841	0,882	0,860	0,871
VggNet	3841	0,894	0,872	0,883
ResNet50	3841	0,916	0,895	0,906

The deep learning algorithms without using the transfer learning method and their precision, recall and f1 score values are given in Table 3.

Table 3. Precision, recall and f1 score values without transfer learning of deep learning algorithms

Deep Learning Algorithm	Total Image Count	Precision	Recall	F1 Score
GoogleNet	3841	0,83	0,811	0,82
VggNet	3841	0,839	0,813	0,825
ResNet50	3841	0,854	0,84	0,847

When Table 2 and Table 3 is examined, deep learning algorithms and their precision, recall and f1 score values in images are given. While determining the precision and recall values, the objects in the image are calculated with true positive, false positive, true negative and false negative values. F1 score value gives the harmonic average of precision and recall values.

IV. CONCLUSION

Object detection and classification from images has emerged as a very popular field with the development of deep learning algorithms recently. Effective studies are revealed with the integration of these two developments together with the widespread use of drones in our lives. In this study, a structure that detects and classifies human, car and motorcycle / bicycle classes from the air based on deep learning with drone is created. A new system has been developed by training Stanford drone set, which is open source and AKU dataset we have created with the transfer learning method in deep neural network. In general, high success has been achieved in this detection and classification process performed with 3 different deep learning algorithms. Important studies have been carried out to increase the success of the detection and classification processes of objects such as people and vehicles. Different methods were proposed in each study and had a different effect on success. In this study, models with high performance have been introduced by training the datasets with the transfer learning method. Considering the precision, recall and f1 score values given in Table 2, the ResNet50 model achieved higher success than other models with a score value of 0.906. However, the performance of other models gives higher results compared to models in which transfer learning is not used. When table 2 and table 3 are compared, it is seen that more successful results can be obtained by using the transfer learning method in deep neural networks.

V. REFERENCES

- [1] P. Panchal, G. Prajapati, S. Patel, H. Shah, and J. Nasriwala, "A review on object detection and tracking methods," *International Journal for Research in Emerging Science and Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 7-12, 2015.
- [2] H. Li, Z. Wu, and J. Zhang, "Pedestrian detection based on deep learning model," In 2016 9th International Congress on Image and Signal Processing, Bio Medical Engineering and Informatics, pp. 796-800, 2016.
- [3] M. Hassanalian, and A. Abdelkefi, "Classifications, applications, and design challenges of drones: A review," *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 91, pp. 99-131, 2017.
- [4] U. Shah, and A. Harpale, "A Review of Deep Learning Models for Computer Vision," In 2018 IEEE Punecon, Pune, India, pp. 1-6, 2018.
- [5] M. F. Haque, H. Y. Lim, and D. S. Kang, "Object Detection Based on VGG with ResNet Network," In 2019 International Conference on Electronics, Information, and Communication, Auckland, New Zealand, pp. 1-3, 2019.
- [6] Y. C. Chang, H. T. Chen, J. H. Chuang, and I. C. Liao, "Pedestrian Detection in Aerial Images Using Vanishing Point Transformation and Deep Learning," In 2018 25th IEEE International Conference on Image Processing, Athens, Greece, pp. 1917-1921, 2018.
- [7] H. Song, I. K. Choi, M.S. Ko, J. Bae, S. Kwak, and J. Yoo, "Vulnerable pedestrian detection and tracking using deep learning," In 2018 International Conference on Electronics, Information, and Communication, Honolulu, USA, pp. 1-2, 2018.

- [8] Y. Li, Z. Ding, C. Zhang, Y. Wang, and J. Chen, "SAR Ship Detection Based on Resnet and Transfer Learning," In IGARSS 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Yokohama, Japan, pp. 1188-1191, 2019.
- [9] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, "Gradient-based learning applied to document recognition," Proceedings of the IEEE, vol. 86, no. 11, pp. 2278-2324, 1998.
- [10] L. Deng, and D. Yu, "Deep learning: methods and applications, " Foundations and Trends in Signal Processing, vol. 7, no. 4, pp. 197-387, 2014.
- [11] C. Kyrkou, G. Plastiras, T. Theocharides, S. I. Venieris, and C. S. Bouganis, "DroNet: Efficient convolutional neural network detector for real-time UAV applications, " In 2018 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition, Dresden, Germany, pp. 967-972, 2018.
- [12] K. K. Çevik, and A. Çakı, "Görüntü İşleme Yöntemleriyle Araç Plakalarının Tanınarak Kapı Kontrolünün Gerçekleştirilmesi," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c.. 10, s. 1, ss. 31-38, 2010.
- [13] F. Bayram, "Derin öğrenme tabanlı otomatik plaka tanıma, " *Politeknik Dergisi*, c. 23 , s. 4, ss. 955 - 960, 2020.
- [14] A. Kızrak, and B. Bolat, "Derin Öğrenme ile Kalabalık Analizi Üzerine Detaylı Bir Araştırma, " *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol.11, pp. 263-286, 2018.
- [15] E. Cengil, and A. Çınar, "A New Approach for Image Classification: Convolutional Neural Network, " *European Journal of Technic*, vol. 6, no. 2, pp. 96-103, 2016.
- [16] W. Rawat, and Z. Wang, "Deep convolutional neural networks for image classification: A comprehensive review, " *Neural computation*, vol. 29, no. 9, pp. 2352-2449, 2017.
- [17] T. Pala, U. Güvenç, H. T. Kahraman, İ. Yücedağ, and Y. Sönmez, "Comparison of Pooling Methods for Handwritten Digit Recognition Problem, " In 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), pp. 1-5, 2018.
- [18] S. Ioffe, and C. Szegedy, "Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift," In International conference on machine learning, pp. 448-456, 2015.
- [19] N. Srivastava, G. Hinton, A. Krizhevsky, I. Sutskever, and R. Salakhutdinov, "Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting, " *The Journal of Machine Learning Research*, vol. 15, no. 1, 1929-1958, 2014.
- [20] Y. LeCun, L. D. Jackel, L. Bottou, C. Cortes, J. S. Denker, H. Drucker, and V. Vapnik, "Learning algorithms for classification: A comparison on handwritten digit recognition," *Neural Networks: The Statistical Mechanics Perspective*, New Jersey, USA, 261-276, 1995.
- [21] C. Szegedy, W. Liu, Y. Jia, P. Sermanet, S. Reed, D. Anguelov, and A. Rabinovich, "Going deeper with convolutions, " In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 1-9, 2015.
- [22] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, Las Vegas, USA, pp. 770-778, 2016.

- [23] E. Cengiz, C. Yılmaz, H. T. Kahraman, and F. Bayram, "Pedestrian and Vehicles Detection with ResNet in Aerial Images," 4th. International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences, Samsun, Turkey, pp. 416-419, 2019.
- [24] T. Tang, Z. Deng, S. Zhou, L. Lei, and H. Zou, "Fast vehicle detection in UAV images," In 2017 International Workshop on Remote Sensing with Intelligent Processing, Shanghai, China, pp. 1-5, 2017.
- [25] J. H. Yoo, H. I. Yoon, H. G. Kim, H. S. Yoon, and S. S. Han, "Optimization of Hyperparameter for CNN Model using Genetic Algorithm," In 2019 1st International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE), pp. 1-6, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Nikel'in Brokoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) Tohumlarının Çimlenmesi ve Fide Gelişimi Üzerine Etkileri

 Çiğdem ÇİNGİL BARIŞ^{a,*},  Muammer ÜNAL^b

^a Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, HAYEF, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, TÜRKİYE

^b Biyoloji Bölümü, Fen Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ccingil@iuc.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.798455

ÖZET

Bu çalışmada, brokoli bitkisinin tohum ve fidelerinde değişen konsantrasyonlardaki nikelin etkisi ve birikimi incelenmiştir. Tohumlarda çimlenme yüzdesi, bitkinin kök-gövde uzunlukları, ağırlık miktarları, klorofil, karotenoid, total çözünebilir protein ile MDA içerikleri, POD aktiviteleri ve Ni birikimi belirlenmiştir. 100 µM NiSO₄ ün tohumlarda çimlenmeyi inhibe ettiği gözlenmiştir. Ni'nin büyümeyi etkilediği, ağırlık miktarlarında da değişikliklere neden olduğu belirlenmiştir. 9 günlük fidelerin klorofil içerikleri 1 µM NiSO₄ de artarken, 30 günlük fidelerde ise 0.1 µM NiSO₄ de artış tespit edilmiştir. Fidelerdeki total çözünebilir protein içeriğinde 10 ve 100 µM NiSO₄ de azalışlar gözlenirken, POD aktivitesinde artışlar gözlenmiştir. Ayrıca, nikelin özellikle köklerde biriktiği belirlenmiştir. Nikelin brokolinin çimlenme ve büyüme-gelişimi üzerine olan etkileri ile ilgili olarak, düşük konsantrasyonlardan (0.01, 0.1 ve 1 µM) bitkinin olumlu etkilendiği, yüksek konsantrasyonların ise (10 ve 100 µM) toksik etkilere neden olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nikel, Çimlenme, Bitki büyümesi, Brokoli, *Brassica oleracea* L. var. *italica*, Metal birikimi

The Effects of Nickel on Seed Germination and Seedling Development in Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*)

ABSTRACT

In this research, the effect and accumulation of nickel in varying concentrations in broccoli seeds and seedlings were investigated. Germination rate of seeds, root-stem length of the plant, weight amounts, contents of chlorophyll, carotenoid, total soluble protein and MDA, POD activities and Ni accumulation were determined. It was observed that 100 µM NiSO₄ inhibited germination in seeds. It has been determined that Ni affect growth and also cause changes in weight amounts. While the chlorophyll content of 9-day-old seedlings increased in 1 µM NiSO₄ was applied, an increase was found in 0.1 µM NiSO₄ in 30-day-old seedlings. While decreases were observed in 10 and 100 µM NiSO₄ in total soluble protein content in seedlings, increases in POD activity were observed. In addition, it was determined that nickel accumulated especially in the roots. Regarding the effects of nickel on the germination and growth-development of broccoli, it was determined that plant is affected positively in low concentrations (0.01, 0.1 and 1 µM), while high concentrations (10 and 100 µM) caused toxic effects.

Keywords: Nickel, Germination, Plant growth, Broccoli, *Brassica oleracea* L. var. *italica*, Metal accumulation

I. GİRİŞ

Bitkilerde mevcut olan kimyasal elementlerden bazılarının normal büyüme için gerekli esas elementler oldukları saptanmıştır. Bu elementlerden herhangi birinin yokluğu durumunda bitkilerin yaşam döngülerini tamamlayamadıkları görülmektedir. Bu elementler; karbon, hidrojen, oksijen, potasyum, kalsiyum, magnezyum, azot, fosfor, kükürt, mangan, çinko, bakır, klor, bor, molibden, nikel ve demirdir ve bitki büyümesi için gerekli, esas elementler olarak belirtilmektedirler [1]-[3]. Nikel (Ni), bitkilerin normal bir şekilde büyümeleri ve gelişmeleri için önemli olduğu bilinen mikro elementlerden bir tanesidir ve birçok metabolik süreçte gereklidir [4],[5]. Optimum Ni dozlarının, bazı fizyolojik süreçleri etkileyerek bitki büyümesini teşvik ettiği bildirilmiştir [6]. Nikel, bitkilerdeki üreaz ve hidrojenaz enzimlerinin yapısı ve aktivitesi için gerekli olan ve azot metabolizması için gerekli olan temel bir elementtir. Nikelin bitkiler için temel bir metal olması ve bitki metabolizmasında önemli roller oynamasına rağmen [4], [7], artan endüstriyel kullanımı nedeniyle Ni toksisitesi ciddi bir endişe yaratmaktadır. Bitkilerde çok düşük miktarlarda yararlı olduğu halde; sanayi faaliyetlerin artışı, gübreler, kimyevi ilaçlar, yerleşim yeri ve sanayi atıkları ile ekolojik çevrede miktarı birikme sonucu artış göstermekte bunun neticesi olarak pek çok fizyolojik olay üzerine olumsuz etkiler yapmaktadır [5],[8],[9]. Nikelin aşırı konsantrasyonlarının bitkilerde fotosentez ile solunuma ket vurma, hücre zarının geçirgenliğini azaltması, fotosentetik elektron taşınımını engellemesi, hücrede üreaz aktivitesini azaltması, protein sentezlenmesini, klorofil ile azot seviyelerini düşürmesi, hücrenin su dengesini değiştirmesi gibi pek çok fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerin aksaması gibi olumsuz etkileri bulunmaktadır [10]-[12].

Tohum, döllenme olayından sonra gelişen tohum taslağı içerisindeki embriyo ve besi dokusundan meydana gelen, neslin devamını sağlayan, tohumlu bitkilerin üreme ve yayılma organıdır [13]. Tohum, olgunlaştıktan ve çevreye yayıldıktan sonra dormansi (uyku hali) olarak adlandırılan bir sürece girmektedir. Dormansi, metabolik hızın çok yavaş, büyüme ve gelişmenin durgun olduğu bir dönemdir. Tohumun bir sonraki büyüme mevsimine kadar uygun olmayan koşulların atlatılmasına yardımcı olmak için geçirdiği uyku dönemi dormansidir [14],[15]. Tohum dormansisi olumsuz çevresel koşullarda çimlenmeyi engelleyerek tohumun hayatta kalma şansını artırmaktadır. Dormansi değişik şekillerde kırılıp ortadan kaldırılabilmektedir. Dormansinin sona ermesi ile birlikte bitki çimlenme durumuna gelebilir. Çimlenme biyolojik anlamda, elverişli koşullarda tohum embriyosundan normal bir bitkiyi meydana getirebilme yeteneğinde olan yapıların ortaya çıkmasıdır. Tohum, çimlenme ve fide aşamasında olumsuz çevresel koşullara karşı oldukça duyarlı olup, hasara uğradığı takdirde bitkilerin yaşam döngüsü daha başlamadan son bulabilmektedir [16]. Tohumun çimlenme süreci, tohuma suyun alınması ile başlayan ve sonrasında embriyonik eksenin (genellikle radikula) testadan dışarıya çıkışı ile neticelenen bir seri süreçler olarak ifade edilir [17].

Tohum çimlenmesi ve erken fide büyümesi, gelecekteki fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri geniş ölçüde yansıtan bir bitkinin hayatındaki ilk olaylardır. Tohum çimlenmesi üzerine Ni'nin etkisinin, bitkiye ve ortamdaki Ni konsantrasyonuna bağlı olarak değişebildiği bazı çalışmalarda gösterilmiştir. Ni(NO₃)₂ ve NiSO₄ solüsyonlarının *Triticum* tohumlarının çimlenmesini hızlandırdığı gözlenmiştir. Düşük seviyedeki Ni(NO₃)₂ ın, dormant *Phyleum pratense* tohumlarının çimlenmesini teşvik ettiği, ancak 58,71 ppm Ni iyonunun toksisiteye neden olduğu görülmüştür [18]. Ekim öncesinde 2.68 ile 26.3 ppm konsantrasyon aralığında NiSO₄ solüsyonunun uygulanmasının, *Pisum sativum*, *Phaseolus vulgaris*, *Triticum* ve *Ricinus communis* tohumlarının çimlenmesi üzerine teşvik edici etkisinin olduğu [19]; 26.3 ppm ve daha yüksek konsantrasyonların ise bu tohumların çimlenmesini inhibe ettiği görülmüştür. Düşük konsantrasyondaki NiSO₄ solüsyonlarının *Lupinus albus* bitkisinin çimlenmesi üzerine yararlı etkilere sahip olduğu da belirlenmiştir [20]. Singh [21] tarafından, Ni'nin düşük konsantrasyonlarının *Cicer* bitkisinde tohum çimlenmesini teşvik ettiği ileri sürülmüş ve tohum çimlenmesi üzerine Ni'nin etkisinin, türlere ve ortamdaki Ni konsantrasyonuna bağlı olduğu bu çalışma ile açıkça gösterilmiştir. Tohum çimlenmesi üzerine Ni'nin etkilerinin fizyolojisi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. *Oryza* tohumunun çimlenmesi ve fidelerdeki bazı oksidatif enzimlerin aktivitesinin Ni ile teşvik edildiği ortaya çıkarılmıştır [22]. Welch [23]'e göre, çimlenmenin Ni

tarafından teşvik edilmesinin üreazın metal bileşeni olarak Ni'nin görev almasına dayalı olabileceği rapor edilmiştir [24].

Yüksek bitkiler için nikelin esas element olduğu Brown ve diğ. [5] tarafından ileri sürülmüş ve bir besin elementi olarak kabul edilmiştir [25], [26]. Yapılan pek çok çalışma, Ni uygulamasının tarım bitkilerinin verimini artırdığını göstermektedir. *Pinus* fideleri ile yapılan deneylerde, Ni'nin büyüme için gerekli bir element olduğu kanıtlanmıştır [27]. *Eragaria* ve *Gossypium* verimindeki artışın, toprağa Ni ilavesi ile olduğu bildirilmiştir [28]. Nikel uygulaması, pamuk bitkisinin toprak üstü kısımlarının yanı sıra kök kitlesini de artırmaktadır. Ekim öncesinde Ni uygulanmış *Triticum* tohumlarında kök ve gövdenin maksimum büyüme gösterdiği ancak konsantrasyonun 250 ppm den yüksek olduğu durumda büyümenin genellikle inhibe edildiği bulunmuştur [29]. Paprika (*Capsicum frutescens* L.) ve domates (*Lycopersicon esculentum* L.) bitkilerinin büyüme ve gelişmesinin, düşük konsantrasyonda Ni uygulaması ile teşvik edildiği, yüksek konsantrasyonların ise bu bitkiler için toksik olduğu rapor edilmiştir [30]. Ni uygulamaları soya fasulyesi verimini de artırmaktadır [10]. Etiyole bezelye bitkisinin hipokotil kısımlarının ışığa duysuz büyümesi de Ni tarafından teşvik edilmektedir [10]. Bazzaz ve diğ. [31] Ni'nin, *Helianthus annuus* hipokotilinin uzamasını ve taze ağırlığını önemli ölçüde artırdığını bildirmişlerdir. Gordon ve diğ. [32], *Lemna paucicostata* bitkilerini tek azot kaynağı olarak üre bulunan ortamda büyütmüşler ve 2 µM'ın üzerindeki seviyelerde NiSO₄ ilavesinin büyümeyi önemli ölçüde teşvik ettiği ve 50 µM NiSO₄ ün vejetatif büyüme oranını iki katına çıkardığı görülmüştür. Nikelin aynı zamanda dane olgunlaşması ve bitki senesensinde de temel fonksiyonlara sahip olabildiği rapor edilmiştir [5]. Bu araştırmalar, Ni'nin yüksek bitkilerin normal büyüme ve gelişmesi üzerinde önemli etkilerinin olduğunu göstermektedir.

Bu araştırmada, ülkemiz ve dünya ekonomisi için büyük öneme sahip olan ve son yıllarda tüketimi oldukça artan *Brassica oleracea* L. var. *italica* (brokoli) bitkisi üzerine nikelin etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmanın başlıca amacı, Ni'nin brokoli bitkisinin tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerine olan fizyolojik etkilerini saptamak ve bu bitkinin çeşitli kısımlarındaki nikel birikimlerini belirlemektir. Böylece Nikel ve brokolinin, çevre ile insan sağlığı açısından güvenle tüketilebilirliğinin ortaya konması amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. BİTKİ MATERYALİ VE KULLANILAN BESİ ÇÖZELTİSİ

Bu araştırmada deney materyali olarak, *Brassica oleracea* L. var. *italica* (brokoli) tohumları kullanılmıştır. Brokoli bitkisinin deney materyali olarak seçilmesinde; ekonomik değerinin yüksek olması, epigeik çimlenme özelliği göstermesi, su kültürü (hidroponik kültür) çalışmalarında yetiştirilmeye elverişli olması, nikel uygulaması sonucunda meydana gelen fizyolojik değişimlerin kolay izlenebilmesi ve brokolide nikel birikimi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamış olması etken olmuştur. Brokoli tohumları çimlenme ve gelişmelerinin her aşamasında nikelin (NiSO₄) değişen konsantrasyonlarını içeren Hoagland besi çözeltileri [33] ile muamele edilmiştir. Analizlerde kullanılan Ni konsantrasyonları ön denemelerden sonra belirlenmiştir. 100 µM Ni den daha yüksek konsantrasyonlarda tohum çimlenmesinin inhibe edildiği gözlenmiş ve bu nedenle kullanılan NiSO₄ konsantrasyonları 0.01, 0.1, 1, 10 ve 100 µM olarak uygulanmıştır. Nikel içermeyen Hoagland besi çözeltisi kontrol olarak kullanılmıştır. Brokoli tohumları %2-3 sodyum hipoklorit çözeltisinde steril edildikten sonra distile sudan geçirilmiştir. Tohumlar, kontrol (Hoagland) ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ ortamlarında 24 saat imbibisyona bırakılmıştır. İmbibisyon ortamlarından alınan tohumlar her bir petriye 30'ar tane olmak üzere 1.5 cm aralıklarla ekilmiştir. Petriler 16 saat aydınlık, 8 saat karanlık fotoperiyotlarında 20±1°C de ve 8000 lux ışık şiddeti koşullarındaki büyüme odasına yerleştirilmiştir.

B. ÇİMLENME YÜZDESİ

Kontrol (Hoagland) ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 ortamlarında 24 saat imbibisyona bırakılan ve daha sonra petrolere aktarılan brokoli tohumlarından kontrol grubunun çimlenmeleri sabit kalana kadar (1. günden 5. güne kadar) günlük olarak izlenmiş ve çimlenme oranları yüzde olarak ifade edilmiştir. Radikulanın testadan dışarı çıkması çimlenme kriteri olarak alınmıştır. Yapılan gözlemler sonucunda çimlenme yüzdesinin 5. günden sonra değişmediği saptanmıştır. Bu nedenle tohum çimlenmesi 5 gün süreyle izlenmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir.

C. BİTKİ BÜYÜMESİ

Su kültürü deneyleri için kurulan düzenekte yüzey sterilizasyonuna tabi tutulup distile sudan geçirilen tohumlar Hoagland besi suyu ile ıslatılmış perlit ortamına ekilerek Hoagland besi çözeltisi ile sulanmıştır. 16 saat aydınlık, 8 saat karanlık fotoperiyotlarda $20\pm 1^\circ\text{C}$ de 8000 lux ışık şiddeti koşullarındaki büyüme odalarına yerleştirilmiştir. Çimlenme gününden itibaren perlitte 15 gün tutulan ve hemen hemen birbirine yakın boylarda olan fideler Hoagland besi çözeltisi içeren 7 lt'lik su kültürü kaplarına yani hidroponik ortama alınmıştır. 7 gün boyunca hidroponik ortamda büyütülen 22 günlük bitkiler içinden eşit büyüme evresinde olan örnekler uygulama yapılmak üzere seçilerek kontrol (Hoagland) ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren besi çözeltilerinin bulunduğu 1 lt'lik kaplara transfer edilmiştir. Deney süresince su kültürü kaplarında düzenli olarak havalandırma sağlanmıştır. 30 gün boyunca yetiştirilen brokoli bitkisine Ni uygulaması, her 1 lt'lik polietilen kaba bir bitki olacak şekilde yapılmıştır. Her deney kabı için toplam hacmi 1 lt olacak şekilde hazırlanan Hoagland besi çözeltisine, NiSO_4 çözeltisinden hesaplanan miktarlarda metal ilavesi yapılarak farklı konsantrasyonlarda uygulama ortamı hazırlanmıştır. Ni uygulanmayan kontrol bitkileri için Hoagland besi çözeltisi uygulama ortamı olarak kullanılmıştır. 7 gün boyunca metal uygulamasının sonunda 30 günlük olan kontrol ve deney bitkilerine analizler yapılmıştır.

D. KÖK VE HİPOKOTİL UZUNLUĞUNUN ÖLÇÜLMESİ

Kontrol (Hoagland) ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 9 ve 30 günlük brokoli fidelerinin kök ve hipokotil uzunlukları milimetrik taksimatlı cetvel kullanılarak ölçülmüştür. 9 günlük fidedelerde, kök uzunluğu ölçümünde primer kökler kullanılırken; hipokotil uzunluğu kökün bittiği yer ile kotiledonların çıktığı kısım olarak ifade edilmiştir

E. TAZE VE KURU AĞIRLIK MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ

Kontrol (Hoagland) ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen fideler darası önceden belirlenmiş alüminyum folyo üzerinde tartılarak taze ağırlıkları alındıktan sonra 80°C etüvde ağırlık sabit kalıncaya kadar (3-4 gün) bekletilerek kuru ağırlıkları tespit edilmiştir [34]. Taze ve kuru ağırlık miktarları "g" cinsinden ifade edilmiştir.

F. KLOROFİL VE KAROTENOİD TAYİNİ

Klorofil ve karotenoid tayini yapılacak olan bitki kısımlarının (kotiledon ve yaprak) taze ağırlığı alınarak %90 aseton içeren havan içerisinde ekstraksiyonu yapılmıştır. Ekstreler 3000 g de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Daha sonra supernatantların spektrofotometrede 630, 645, 665, 480 ve 750 nm dalga boyundaki absorpsiyon değerleri belirlenmiştir [35]. Bu değerlerin birim taze ağırlıktaki klorofil a, klorofil b, total klorofil ve karotenoid içerikleri hesaplanmıştır. Klorofil ve karotenoid miktarları " $\mu\text{g/g.T.A.}$ " olarak ifade edilmiştir.

G. TOTAL PROTEİN MİKTARI TAYİNİ

Taze ağırlığı alınan materyal sodyum fosfat tamponunda soğuk havanda ekstre edilmiştir. Homojenatlar 13.000 devir/dakika 30 dakika santrifüj işlemine tabi tutulmuştur. Santrifüj sonunda

suda çözünen proteinleri içeren üst sıvı (supernatant) alınmıştır. Bitki kısımlarındaki total çözünebilir protein miktarının kantitatif tayini için Bradford [36] metodu kullanılmıştır. Örneklerin 595 nm dalga boyundaki absorpsiyonu spektrofotometrede ölçülmüştür. Elde edilen absorpsiyon değerleri önceden hazırlanan bovine serum albumin (BSA) protein standartına göre hesaplanarak total çözünebilir protein miktarı belirlenmiştir. Total protein miktarı “µg/ml” türünden ifade edilmiştir.

H. PEROKSİDAZ (POD) AKTİVİTESİNİN SPEKTROFOTOMETRİK TAYİNİ

Taze ağırlığı alınan materyal protein miktarı tayinindeki şekilde sodyum fosfat tamponu (pH 7.0) ile ekstraksiyon yapılarak santrifüj edilmiştir. POD aktivitesinin belirlenebilmesi için 0.1 M sodyum fosfat tamponu üzerine 5 mM H₂O₂ ve 15 mM guaiakol ilave edilmesi ile tampon taze olarak hazırlanmıştır. POD aktivitesinin spektrofotometrik ölçümü için 470 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçüm yapılmıştır (Shimadzu UV-1601) [37]. Elde edilen absorbans değerlerine göre POD enzim aktivitesi “ΔA/g.T.A.dk.” cinsinden ifade edilmiştir.

I. LİPİT PEROKSİDASYONUNUN ÖLÇÜLMESİ

Lipit peroksidasyonu sonucunda oluşan malondialdehid (MDA) gibi ürünlerin ölçümü Heath ve Packer [38] yöntemine göre yapılmıştır. Kök, gövde ve yaprak kısımlarının taze ağırlıkları alındıktan sonra %5 trikloroasetik asit (TCA) içeren soğuk havanda homojenize edilmiştir. Ekstraktlar 10000 rpm de 15 dakika santrifüj edilmişlerdir. Eşit hacimlerde alınan supernatant üzerine %0.5 tiyobarbitürik asit (TBA) içeren %20 TCA eklenmiş, karışım 96°C de 30 dakika inkübe edildikten sonra çok hızlı bir şekilde buz banyosunda soğutulmuş ve 10000 rpm de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Supernatantların absorbansı 532 nm de ölçülmüştür. Herhangi bir bulanıklıktan kaynaklanan ölçüm değerlerinin elimine edilmesi amacıyla 600 nm deki absorbans alınarak önceki absorbanstan çıkarılmıştır. Lipit peroksidasyon ürünleri bu şekilde MDA yöntemiyle ölçülerek sonuçlar “nmol MDA g⁻¹ taze ağırlık” olarak ifade edilmiştir.

J. NİKEL ANALİZİ

Hidroponik ortamda kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ uygulanarak yetiştirilen 9 ve 30 günlük brokoli fidelerinin kök, gövde ve yapraklarındaki nikel miktarının saptanması için EPA [39] metodu kısmen değişiklikler yapılarak kullanılmıştır. Kuru olarak muhafaza edilen parçalara ayrılmış bitki numuneleri ezilerek metal içeriğinin homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır. Kuru ağırlık olarak alınan numuneler %65’lik HNO₃ ve H₂O₂ ile çözünme işlemine tabi tutulmuştur. ICP-MS çok sayıda elementin niteliksel ya da niceliksel olarak hızla, hassas ve doğru bir şekilde ölçülmesine imkân veren bir elementel analiz yöntemidir. Numunelerdeki Ni birikim miktarı “mg/kg kuru ağırlık” olarak ifade edilmiştir.

K. İSTATİSTİKSEL HESAPLAMALAR

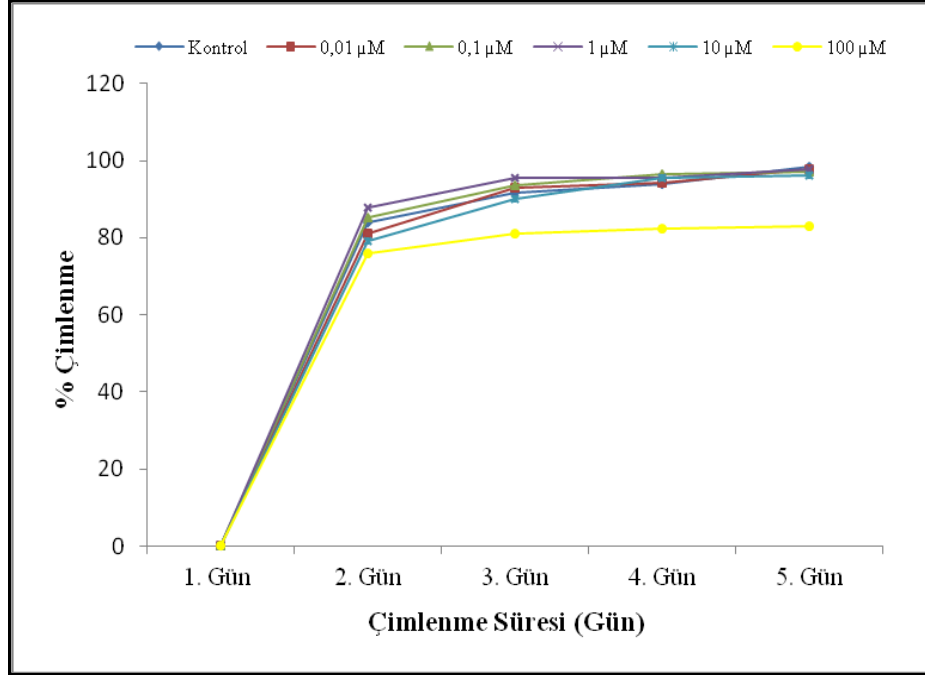
Bu araştırmada yapılan tüm denemelerde, her örnek için kendi içinde 3 tekrarı olan 3 farklı deney yapılmış olup, standart sapmalar SPSS programı kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen tüm ölçümleri istatistiksel olarak anlamlandırmak için *t-testi* uygulanmıştır. p<0.05 düzeyindeki farklılıklar anlamlı olarak kabul edilmiştir.

III. BULGULAR

A. ÇİMLENME YÜZDESİ

Kontrol ve değişen NiSO₄ konsantrasyonu içeren petrielerde 1. günde çimlenme meydana gelmediği ve bütün petrielerde çimlenmenin 2. günden itibaren başladığı izlenmiştir. Kontrol grubunda çimlenme oranının 5. günde %98.46 olduğu ve çimlenme yüzdesinin maksimum değere ulaştığı görülmüştür.

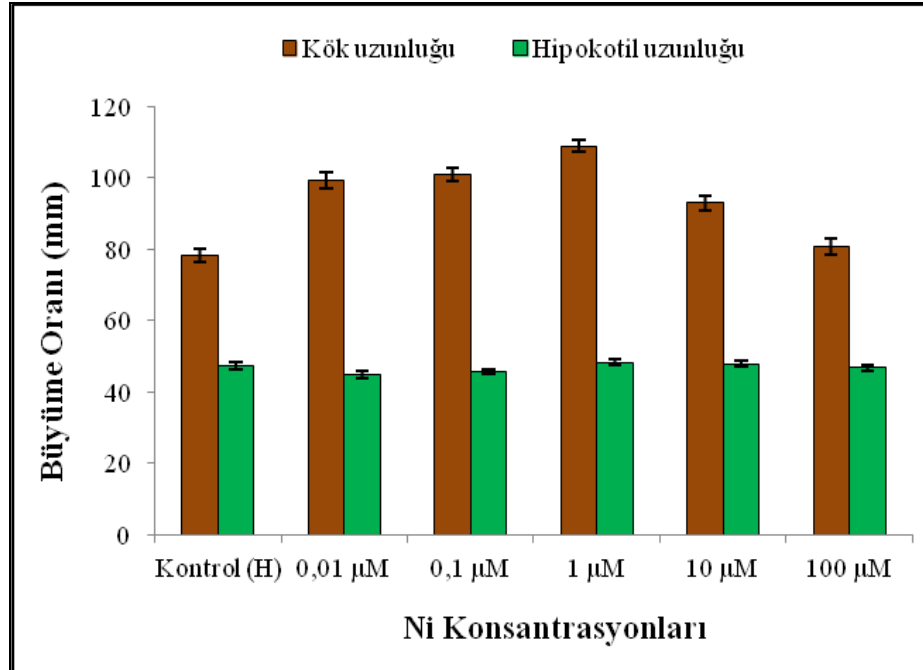
0.01, 0.1 ve 1 μM NiSO_4 içeren besi çözeltilisindeki tohumların çimlenme yüzdeleri kontrol grubuna yakın bulunmuş olup artan Ni konsantrasyonları ile birlikte tohumların 5. günde çimlenme yüzdelerinin azaldığı görülmüştür. En düşük çimlenme yüzdesinin 100 μM NiSO_4 konsantrasyonunda olduğu ve 5. günde çimlenmenin %82.91 oranında kaldığı görülmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM Ni içeren Hoagland serileri uygulanan 9 günlük brokoli tohumlarının çimlenme yüzdeleri

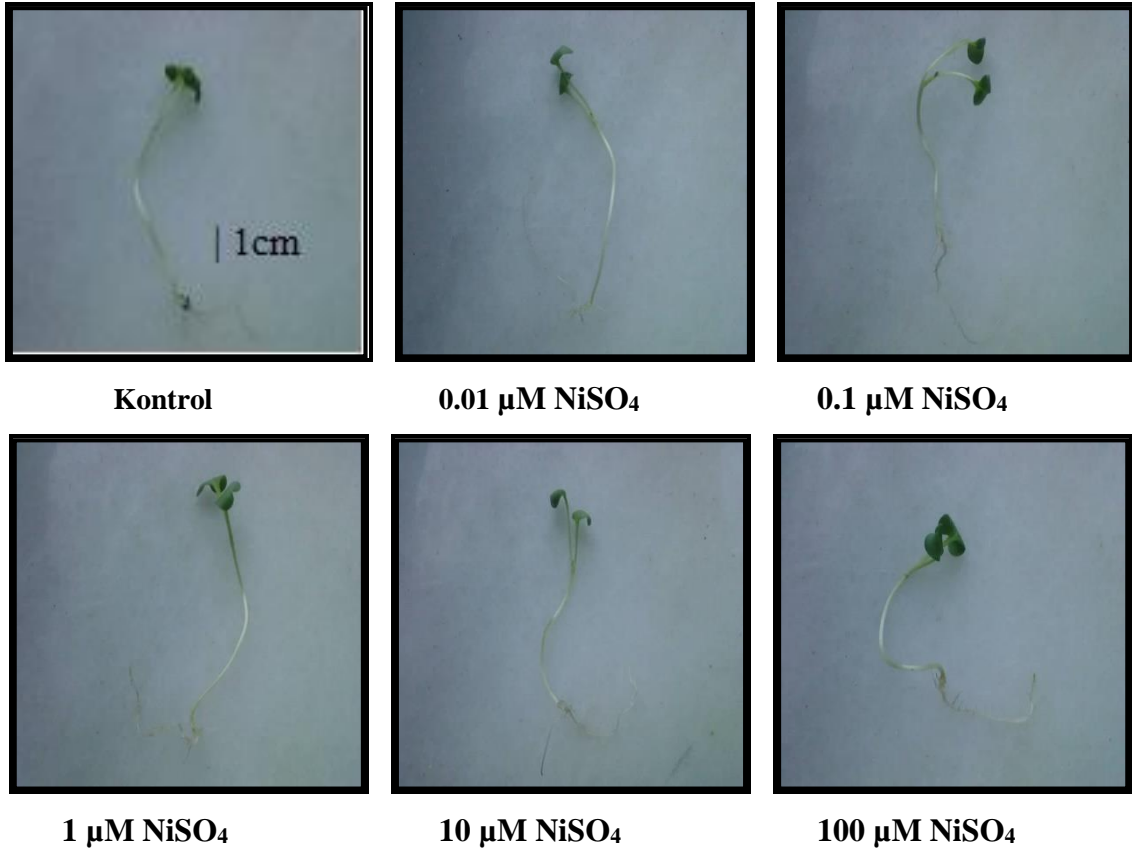
B. BİTKİ BÜYÜMESİ

Brokoli fidelerinin 9. gündeki kök ve hipokotil uzunluklarına ait sonuçlar Şekil 2’de sunulmuştur.



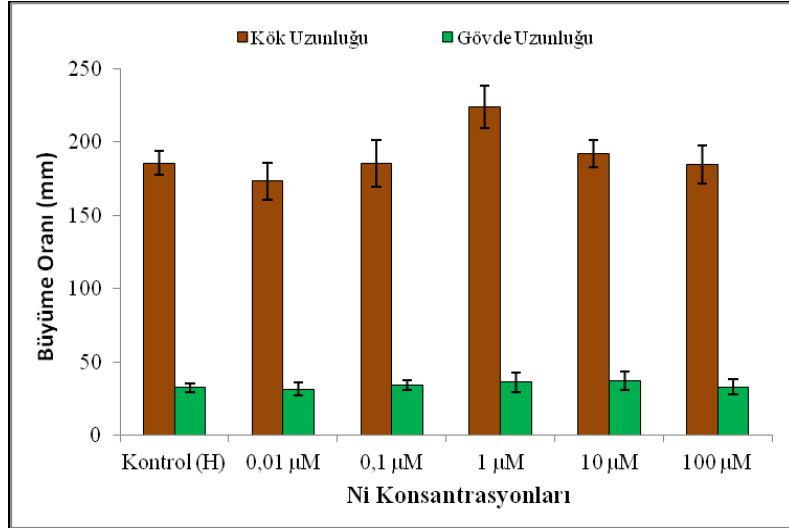
Şekil 2. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland serileri uygulanan 9 günlük brokoli fidelerinin kök ve hipokotil uzunlukları (mm)

9 günlük brokoli fidelerinde kontrole kıyasla bütün konsantrasyonların kök büyümesini teşvik ettiği görülmüş ve bu büyümenin en fazla %39 oranı ile 1 μM NiSO_4 içeren besi ortamında yetişen fidelerde olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). 0.01, 0.1 ve 100 μM NiSO_4 içeren besi ortamında çimlenen tohumların hipokotil uzunluklarının ise, kontrole göre az bir oranda inhibe edildiği görülmüştür ($p<0.05$). En fazla artış %2 oranı ile 1 μM konsantrasyonda meydana geldiği tespit edilmiştir. Değişen Ni konsantrasyonları ile azalan hipokotil uzunlukları 0.01 μM NiSO_4 uygulamasında en az değeri vermiş ($p<0.05$) ve kontrole göre %5'lik bir azalma olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 100 μM NiSO_4 den daha yüksek konsantrasyonlarda tohumlar çimlense bile, hipokotil ve kök büyümesi izlenememiş ve bitkilerin öldükleri görülmüştür (Şekil 3).



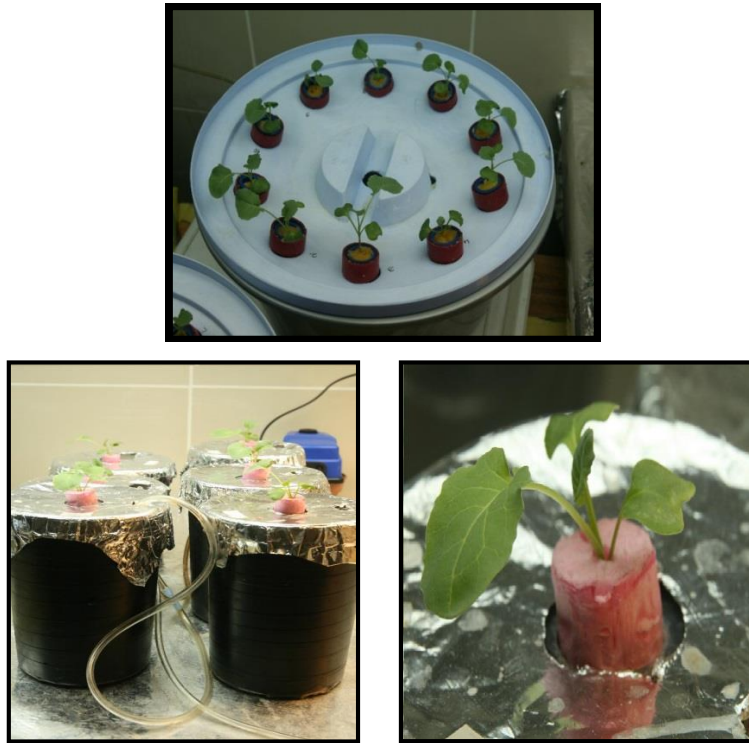
Şekil 3. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland serileri uygulanan 9 günlük brokoli fidelerinin genel görünüşleri

Brokoli fidelerinin 30. gündeki kök ve gövde uzunluklarına ait sonuçlar Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 30 günlük brokoli fidelerinin kök ve gövde uzunlukları (mm)

Kontrol ve NiSO₄ içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 30 günlük brokoli fidelerinin 1 µM NiSO₄ konsantrasyonunda yetiştirilen fidelerde kök uzunluğunun en yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir. 10 µM NiSO₄ içeren besi çözeltilerinde yetiştirilen fidelerde artan gövde uzunluğunun, 0.01 µM NiSO₄ konsantrasyonunda azaldığı gözlenmiştir (p<0.05). Kontrol grubuna göre 1 µM NiSO₄ uygulamasında kök uzunluğunda %20'lik bir artış olduğu tespit edilmiştir. Minimum kök uzunluğu ise 0.01 µM NiSO₄ serisinde ölçülmüş ve %14'lük bir azalma belirlenmiştir. Maksimum gövde uzunluğu 10 µM NiSO₄ konsantrasyonunda saptanmış ve kontrole kıyasla %14 oranında bir artış kaydedilmiştir. Minimum gövde uzunluğu 0.01 µM NiSO₄ uygulamasında olup kontrole yakın bir değer gösterdiği gözlenmiştir. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 30 günlük brokoli fidelerinin uygulama öncesi ve uygulama sırasındaki görünüşleri Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 5. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 30 günlük brokoli fidelerinin uygulama öncesi ve uygulama sırasındaki görünüşleri

C. TAZE VE KURU AĞIRLIK MİKTARLARI

Kontrol ve NiSO₄ içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 9 günlük brokoli fidelerinin kök, hipokotil ve kotiledonlarının taze ve kuru ağırlık miktarları tespit edilerek Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 9 günlük brokoli bitkisinin kök, hipokotil ve kotiledonlarının taze ve kuru ağırlıkları (g) (± değerler, standart sapmayı göstermektedir)

Taze Ağırlık (g)			
Seriler (µM)	Kök	Hipokotil	Kotiledon
Kontrol (H)	0.0081 ± 0.0002*	0.0124 ± 0.002*	0.0121 ± 0.0005*
0.01 µM	0.0088 ± 0.0002*	0.0126 ± 0.003*	0.0131 ± 0.0004*
0.1 µM	0.0095 ± 0.0003*	0.0128 ± 0.006*	0.0123 ± 0.0004*
1 µM	0.0086 ± 0.0006*	0.0118 ± 0.002*	0.0125 ± 0.0009*
10 µM	0.0081 ± 0.0002*	0.0115 ± 0.007*	0.0124 ± 0.0001*
100 µM	0.0078 ± 0.0005*	0.0118 ± 0.007*	0.0118 ± 0.0009*

Kuru Ağırlık (g)			
Seriler (µM)	Kök	Hipokotil	Kotiledon
Kontrol (H)	0.00037 ± 0.0009*	0.00395 ± 0.0002*	0.00066 ± 0.0002*
0.01 µM	0.00038 ± 0.0008*	0.00449 ± 0.0003*	0.00070 ± 0.0007*
0.1 µM	0.00041 ± 0.0003*	0.00416 ± 0.0006*	0.00065 ± 0.0006*
1 µM	0.00039 ± 0.0001*	0.00404 ± 0.0001*	0.00066 ± 0.0006*
10 µM	0.00036 ± 0.0001*	0.00252 ± 0.0001*	0.00069 ± 0.0002*
100 µM	0.00023 ± 0.0004*	0.00252 ± 0.0007*	0.00055 ± 0.0006*

*p<0.05 değerleri, kontrol grubuna göre anlamlı farklılık gösteren deney serilerini göstermektedir.

Fidelerin köklerinde taze ağırlık miktarları 0.1 µM NiSO₄ konsantrasyonu dışında diğer tüm serilerde kontrole yakın değerler verdiği görülmüştür. 0.1 µM NiSO₄ konsantrasyonunda kontrole göre %17 oranında artış tespit edilmiştir. Hipokotillerdeki maksimum taze ağırlık 0.1 µM NiSO₄ konsantrasyonunda gözlenmiş ve kontrole göre bu artışın %3 oranında olduğu bulunmuştur. 10 µM NiSO₄ uygulamasında ise hipokotilde %7’lik bir azalışın olduğu belirlenmiştir. 0.01 µM NiSO₄ içeren besi çözeltilerinde yetiştirilen fidelerin kotiledonlarının taze ağırlık miktarlarının maksimum değerinde olduğu saptanmış ve kontrole göre %8 oranında bir artış kaydedilmiştir. Minimum taze ağırlık değerinin ise 100 µM NiSO₄ konsantrasyonlarında olduğu %3 oranındaki azalışla tespit edilmiştir.

Genel olarak değişen NiSO₄ konsantrasyonlarında 9 günlük fidelerin kök, hipokotil ve kotiledonlarının kuru ağırlık miktarlarına bakıldığında, kök kuru ağırlığında minimum kuru ağırlık miktarı 100 µM NiSO₄ konsantrasyonunda bulunmuş ve %38 oranında bir azalma kaydedilmiştir. En yüksek kök kuru ağırlığı ise 0.1 µM NiSO₄ konsantrasyonu uygulanan fidelerde ve kontrole göre %10 oranında olduğu tespit edilmiştir. Hipokotilde ise en düşük kuru ağırlık miktarı 10 ve 100 µM NiSO₄ konsantrasyonunda belirlenmiş ve kontrole kıyasla %36’lık bir azalmanın olduğu belirlenmiştir. Fidelerin kotiledonlarında ise en yüksek kuru ağırlık miktarı 0.01 µM NiSO₄ konsantrasyonun gözlenmiştir ve kontrole göre %6 oranında artan kuru ağırlık miktarının 100 µM NiSO₄ da %17 oranında azaldığı saptanmıştır.

Kontrol ve NiSO₄ içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 30 günlük brokoli fidelerinin kök, gövde ve yapraklarının taze ve kuru ağırlık miktarları tespit edilerek Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland serileri uygulanan 30 günlük brokoli bitkisinin kök, gövde ve yapraklarının taze ve kuru ağırlıkları (g) (\pm değerler, standart sapmayı göstermektedir)

Taze Ağırlık (g)			
Seriler (μM)	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol (H)	0.0247 \pm 0.004*	0.0176 \pm 0.004*	0.0489 \pm 0.0003*
0.01 μM	0.0220 \pm 0.006*	0.0162 \pm 0.004*	0.0445 \pm 0.0007*
0.1 μM	0.0246 \pm 0.006*	0.0168 \pm 0.001*	0.0430 \pm 0.0006*
1 μM	0.0289 \pm 0.0001*	0.0200 \pm 0.005*	0.0593 \pm 0.0009*
10 μM	0.0188 \pm 0.0001*	0.0168 \pm 0.004*	0.0453 \pm 0.0003*
100 μM	0.0222 \pm 0.0001*	0.0166 \pm 0.003*	0.0267 \pm 0.0008*

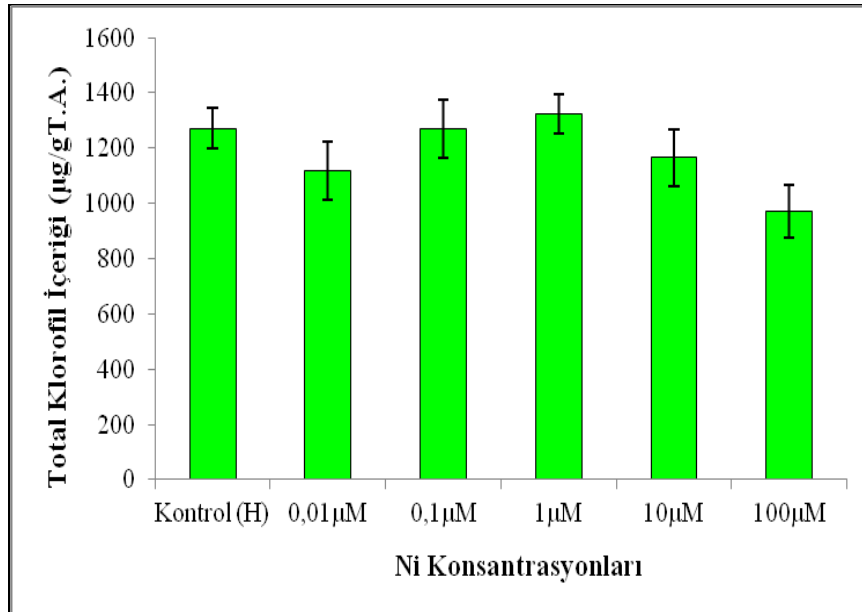
Kuru Ağırlık (g)			
Seriler (μM)	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol (H)	0.00142 \pm 0.0002*	0.00133 \pm 0.0003*	0.0049 \pm 0.0008*
0.01 μM	0.00127 \pm 0.0001*	0.00132 \pm 0.0003*	0.0046 \pm 0.0009*
0.1 μM	0.00132 \pm 0.0002*	0.00144 \pm 0.0003*	0.0048 \pm 0.0005*
1 μM	0.00163 \pm 0.0002*	0.00158 \pm 0.0005*	0.0054 \pm 0.0007*
10 μM	0.00137 \pm 0.0003*	0.00146 \pm 0.0002*	0.0051 \pm 0.0005*
100 μM	0.00139 \pm 0.0004*	0.00145 \pm 0.0006*	0.0043 \pm 0.0004*

*p<0.05 değerleri, kontrol grubuna göre anlamlı farklılık gösteren deney serilerini göstermektedir.

1 μM NiSO_4 içeren besi çözeltilerinde yetiştirilen fidelerin kök, gövde ve yapraklarının taze ağırlık değerlerinin kontrol ve diğer Ni içeren besi çözeltilerinde yetiştirilen fidelerden daha fazla olduğu bulunmuştur. 1 μM NiSO_4 uygulaması yapılmış fidelerin taze ağırlık miktarlarında köklerde %17, gövdede %14 ve yapraklarda %21'lik artışların olduğu saptanmıştır. Kuru ağırlık miktarlarına bakıldığında en yüksek kuru ağırlığın yine 1 μM NiSO_4 konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir. Bu artışların sırasıyla kökte %15, gövdede %19 ve yaprakta ise %10 oranlarında olduğu tespit edilmiştir.

D. KLOROFİL İÇERİĞİ

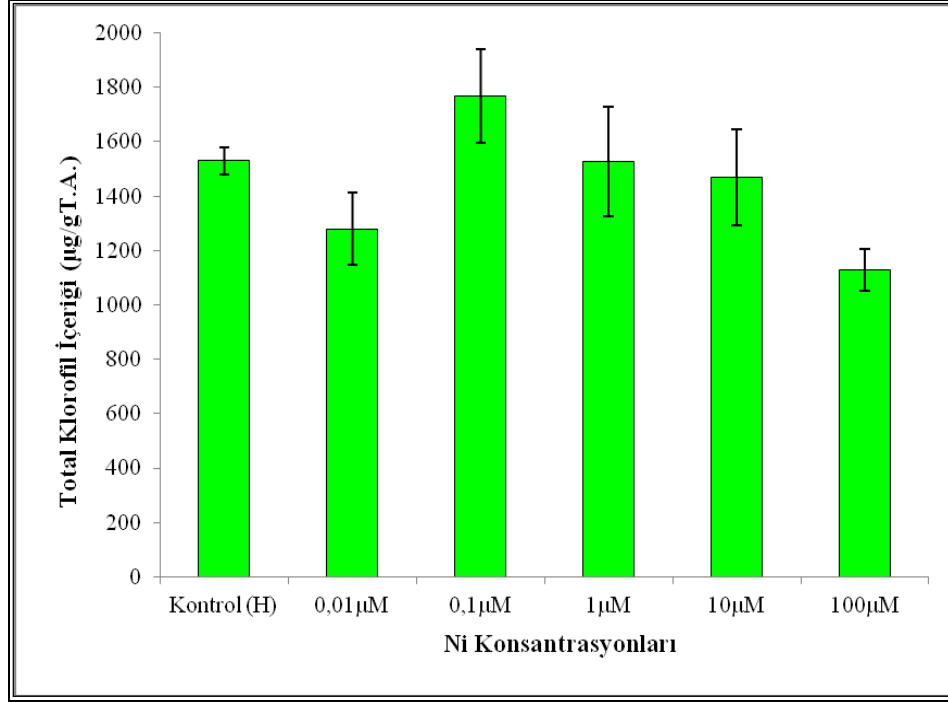
Kontrol ve NiSO_4 içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 9 günlük brokoli fidelerinin kotiledonlarındaki total klorofil miktarları Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland serileri uygulanan 9 günlük brokoli fidelerinin kotiledonlarının içerdikleri total klorofil miktarları

En yüksek total klorofil içeriğinin 1 μM NiSO_4 uygulaması yapılmış fidelerde ve kontrole göre %4 oranında artış olduğu belirlenmiştir. En düşük total klorofil içeriğinin ise %24 oranında bir azalışla 100 μM NiSO_4 içeren besi çözeltilerinde yetiştirilen fidelerin kotiledonlarında olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Kontrol ve NiSO_4 içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 30 günlük brokoli fidelerinin yapraklarındaki total klorofil miktarları Şekil 7’de gösterilmiştir.

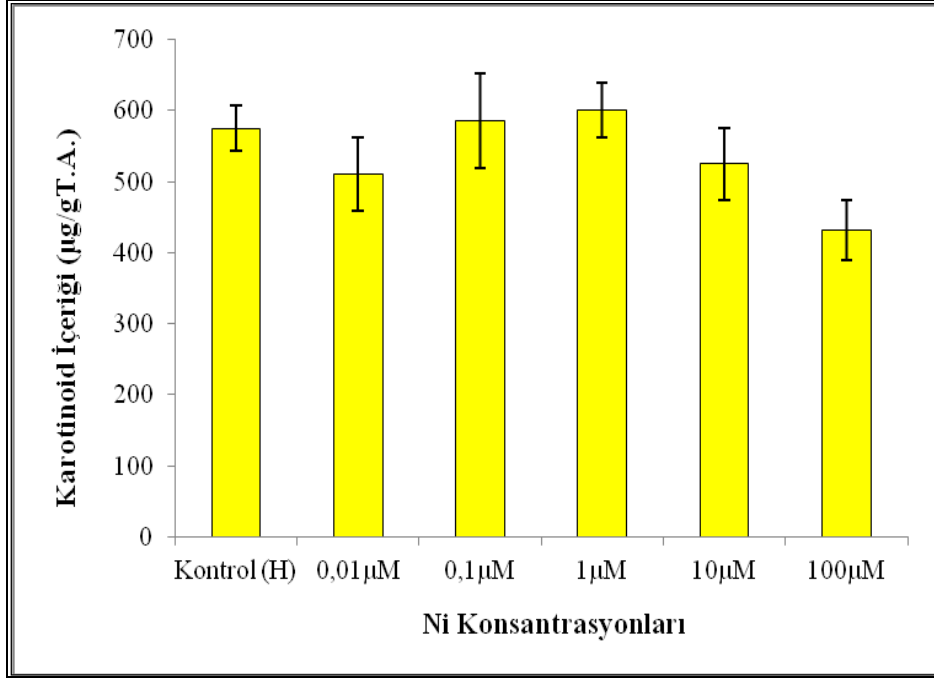


Şekil 7. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland serileri uygulanan 30 günlük brokoli fidelerinin yapraklarının içerdikleri total klorofil miktarları

Kontrol ve NiSO_4 içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 30 günlük brokoli fidelerinin yapraklarının total klorofil içeriklerine bakıldığında, 0.01 μM NiSO_4 serisindeki azalmanın ardından 0.1 μM NiSO_4 serisindeki artışı diğer serilerdeki kademeli olarak düşüş takip etmiştir. Maksimum klorofil miktarı değerleri 0.1 μM NiSO_4 uygulaması yapılmış fidelerin yapraklarında gözlenmiş ve kontrole göre total klorofil miktarının ise %15 oranında artış olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). En düşük klorofil içeriği ise 100 μM NiSO_4 konsantrasyonunda bulunmuştur ($p<0.05$). Bu konsantrasyondaki azalışın total klorofil içeriğinde %26 oranında olduğu saptanmıştır.

E. KAROTENOİD İÇERİĞİ

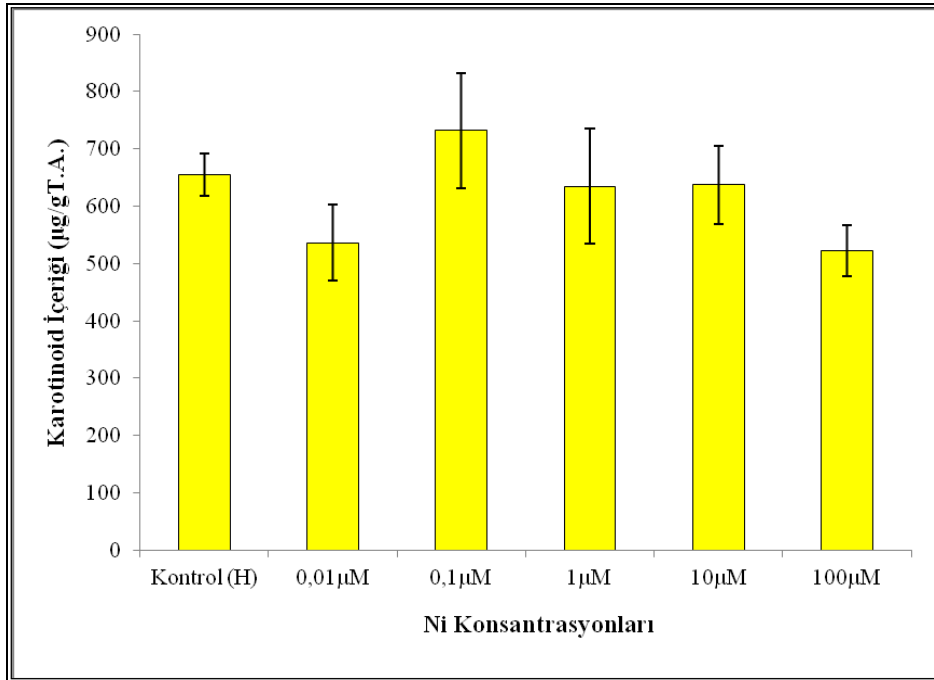
Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 9 günlük brokoli fidelerinin kotiledonlarındaki karotenoid miktarları Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 9 günlük brokoli fidelerinin kotiledonlarının içerdikleri karotenoid miktarları

Bulgulardan da anlaşıldığı üzere, en yüksek karotenoid içeriğinin 1 µM NiSO₄ uygulaması yapılmış fidelerde ve bu artışın kontrole göre %5 oranında olduğu belirlenmiştir (p<0.05). 100 µM NiSO₄ uygulanan deney grubundaki miktarın ise kontrolün içerdikleri karotenoid miktarından düşük olduğu ve %25 oranında bulunduğu tespit edilmiştir (p<0.05).

Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 30 günlük brokoli fidelerinin yapraklarındaki karotenoid miktarları Şekil 9’da gösterilmiştir.

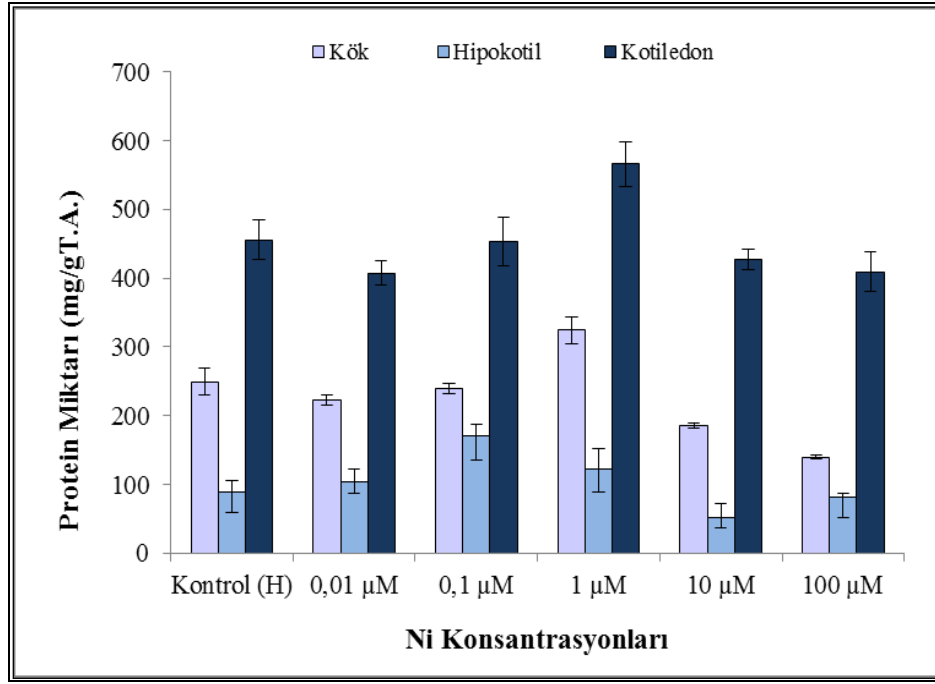


Şekil 9. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 30 günlük brokoli fidelerinin yapraklarının içerdikleri karotenoid miktarları. Karotenoid içeriği (µg/gT.A) olarak verilmiştir

Kontrol ve NiSO₄ içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 30 günlük brokoli fidelerinin yapraklarındaki karotenoid içeriklerine bakıldığında, 0.1 µM NiSO₄ konsantrasyonunda artan karotenoid içeriğinin, diğer NiSO₄ serilerinde kontrole yakın değerler verdiği saptanmıştır. Yapraklardaki maksimum karotenoid içeriği 0.1 µM NiSO₄ uygulamasında gözlenirken (p<0.05), minimum değer 0.01 µM NiSO₄ konsantrasyonunda belirlenmiştir (p<0.05). 0.1 µM NiSO₄ serisindeki artış kontrole göre %12'dir. 0.01 µM NiSO₄ konsantrasyonundaki azalış miktarının ise %18 oranında olduğu tespit edilmiştir.

F. TOTAL ÇÖZÜNEBİLİR PROTEİN İÇERİĞİ

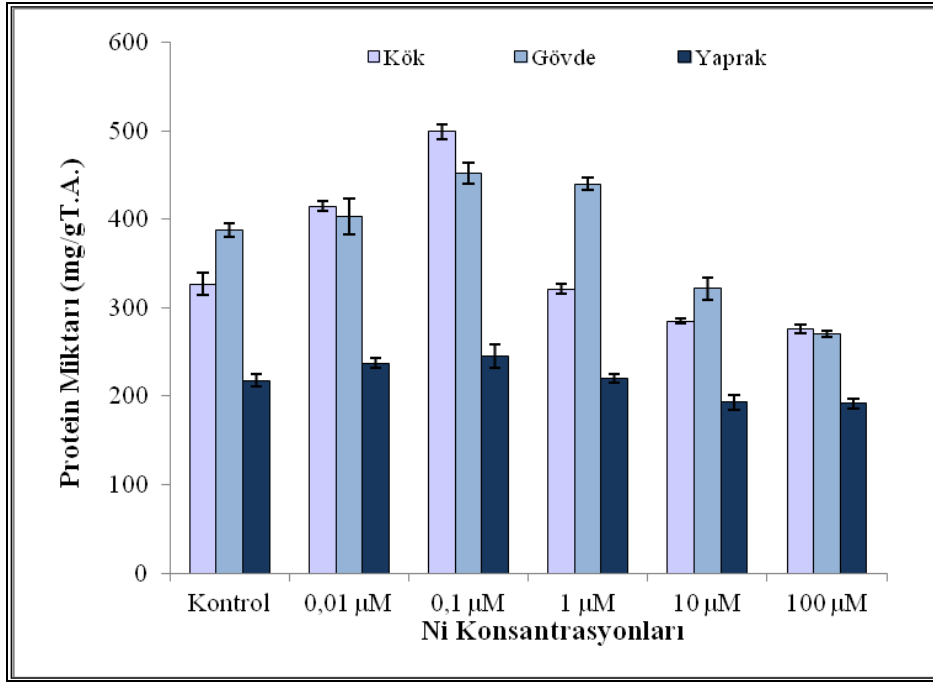
Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 9 günlük brokoli fidelerinin kök, hipokotil ve kotiledonlarındaki total protein miktarları Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 9 günlük brokoli fidelerinin kök, hipokotil ve kotiledonlarındaki total protein miktarları

Kontrol ve NiSO₄ içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 9 günlük brokoli fidelerinin kök, kotiledon ve hipokotillerindeki protein miktarlarına bakıldığında, 0.01 ve 0.1 µM NiSO₄ konsantrasyonlarındaki fidelerin köklerindeki total çözünebilir protein içeriğinde kontrole göre çok az bir azalma tespit edilmiştir. En yüksek protein içeriğinin 1 µM NiSO₄ uygulaması yapılan fidelerin köklerinde olduğu (p<0.05) ve bu artışın kontrole kıyasla %29 oranında olduğu belirlenmiştir. En düşük protein içeriği ise 100 µM NiSO₄ konsantrasyonundaki fidelerin köklerindedir ve bu azalmanın kontrole göre %43 oranında olduğu saptanmıştır (p<0.05). Kontrol ile deney grupları karşılaştırıldığında ise en düşük protein içeriğinin 10 µM NiSO₄ konsantrasyonundaki hipokotillerde olduğu belirlenirken (%42 azalma) (p<0.05), en yüksek içeriklerin 0.1 ve 1 µM NiSO₄ konsantrasyonlarında olduğu saptanmıştır (p<0.05). 0.1 µM NiSO₄ uygulamasında %93 oranında, 1 µM NiSO₄ uygulamasında ise %38 lik artışların olduğu kaydedilmiştir. Total protein içeriği en az 0.01 µM NiSO₄ serisi fidelerinin kotiledonlarında bulunmuştur (kontrole göre %10 azalış) (p<0.05). Değişen NiSO₄ konsantrasyonlarına bağlı olarak kontrole göre protein içeriklerinde artışlar olmuştur ve 1 µM NiSO₄ konsantrasyonunda protein içeriklerinin en yüksek değere ulaştığı saptanmıştır (p<0.05). Maksimum protein içeriği tespit edilen 1 µM NiSO₄ uygulamasında kontrole göre %24 oranında bir artışın olduğu tespit edilmiştir.

Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren besi çözeltilerinde yetiştirilen 30 günlük brokoli fidelerinin kök, gövde ve yapraklarındaki total protein miktarları Şekil 11’de gösterilmiştir.

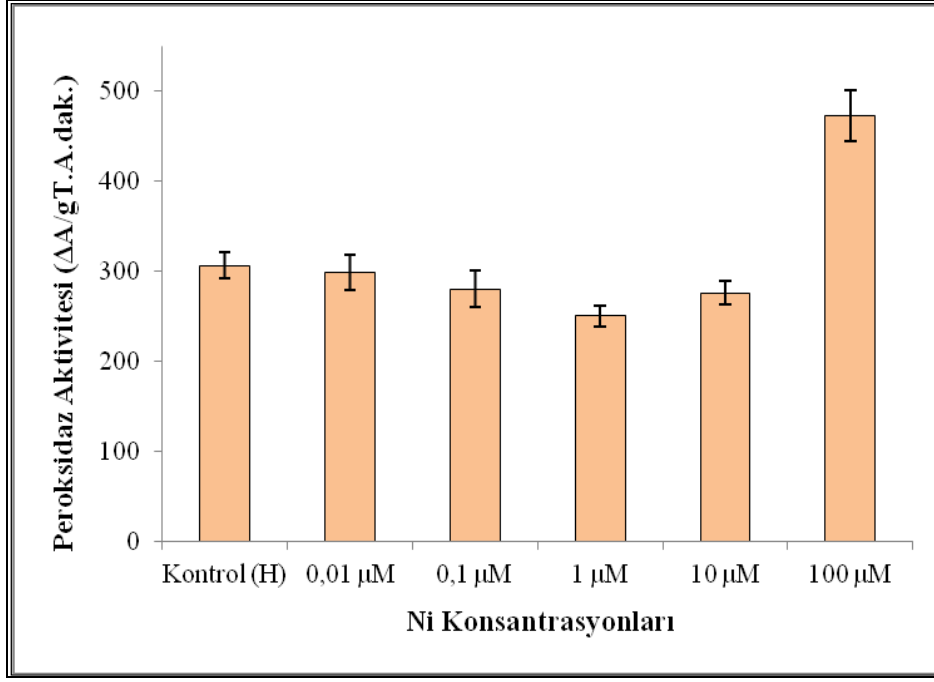


Şekil 11. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland serileri uygulanan 30 günlük brokoli fidelerinin kök, gövde ve yapraklarındaki total protein miktarları

Kontrol ve artan NiSO_4 serileri uygulanmış 30 günlük brokoli fidelerinin köklerindeki protein miktarlarında dikkate değer artışlar gözlenmiştir. Maksimum total protein içeriğinin 0.1 μM NiSO_4 içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen fidelede olduğu ve bu oranın %53 olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$). En düşük total protein içeriğinin 100 μM NiSO_4 uygulanan serilerde olduğu ve kontrole göre %15 oranında bir azalma bulunmuştur ($p < 0.05$). Kontrol ve Ni serileri uygulanmış brokoli fidelerinin gövdelerindeki protein miktarlarına bakılacak olursa, 0.1 μM NiSO_4 konsantrasyonunda kontrole göre %16 artan protein içeriği, 100 μM NiSO_4 uygulanan seride %30 azalarak kontrolün altında bir değer vermiştir ($p < 0.05$). Total protein içeriğinin 0.01 ve 1 μM NiSO_4 konsantrasyonlarında da artışlar görülmüş ve 0.1 μM daki değere yakın sonuçlar verdiği saptanmıştır. Bulgular incelendiğinde değişen NiSO_4 konsantrasyonlarında yetiştirilen fidelelerin yapraklarında, en yüksek protein içeriğinin 0.1 μM NiSO_4 içeren besi çözeltilerinde olduğu saptanmıştır ($p < 0.05$). 10 ve 100 μM NiSO_4 konsantrasyonlarında kontrol grubu ile hemen hemen yakın değerlerde olan protein miktarının 0.1 μM NiSO_4 uygulamasında protein içeriğinin %13 oranında artış ile maksimum değer gösterdiği kaydedilmiştir.

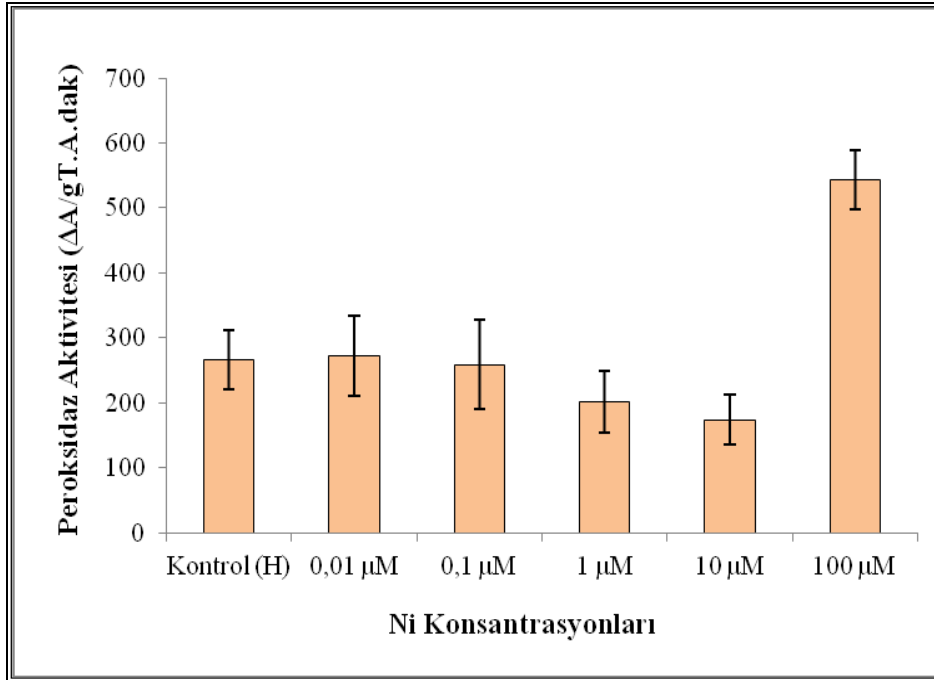
G. PEROKSİDAZ (POD) AKTİVİTESİ

Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 9 günlük brokoli fidelerinin kök, hipokotil ve kotiledonlarındaki peroksidaz (POD) enzimi aktiviteleri ile ilgili veriler Şekil 12-14’te verilmiştir.



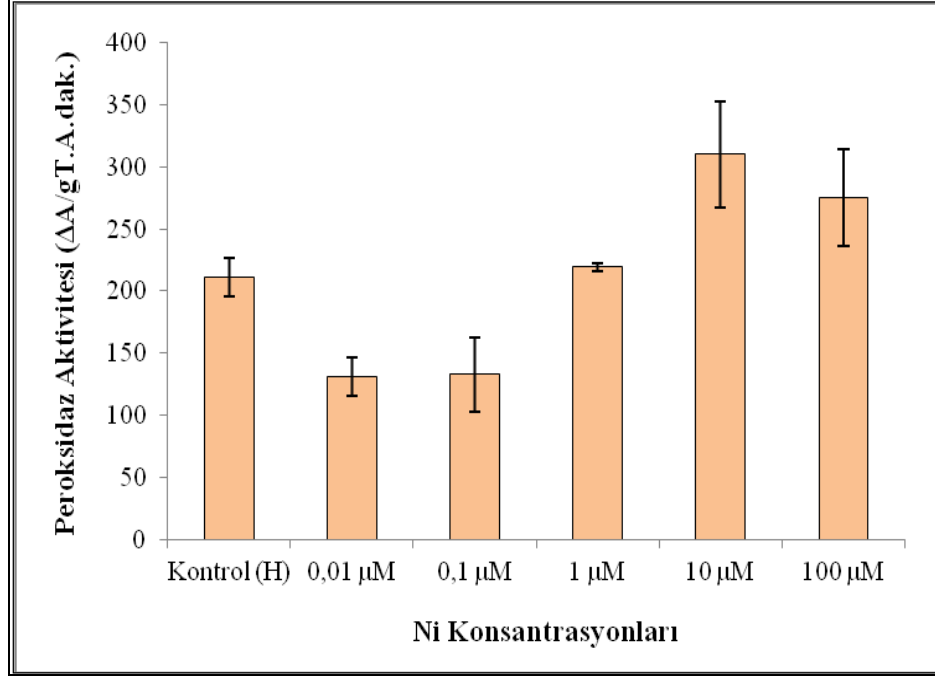
Şekil 12. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 9 günlük brokoli fidelerinin köklerindeki peroksidaz enzim aktivitesi

Elde edilen bulgulara göre, 100 μM NiSO₄ içeren bitkiler dışında, diğer tüm konsantrasyonların köklerindeki POD aktivitesinin kontrol bitkilerine kıyasla düşük olduğu görülmüştür. 100 μM NiSO₄ içeren deney grubu bitkilerin köklerindeki POD aktivitesinin kontrole göre %54 artmış olduğu saptanmıştır. En düşük aktivitenin 1 μM NiSO₄ konsantrasyonunda olduğu tespit edilmiş ve kontrol grubu ile kıyaslandığında %18 oranında bir azalma olduğu belirlenmiştir.



Şekil 13. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 9 günlük brokoli fidelerinin hipokotillerindeki peroksidaz enzim aktivitesi

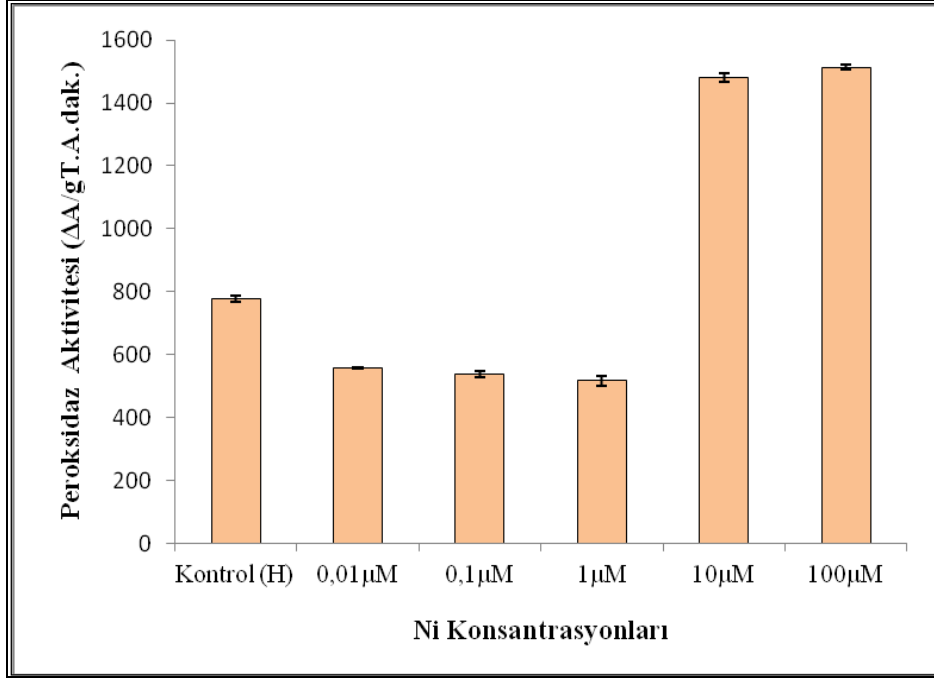
Bulgulara göre, 10 μM NiSO_4 grubu hipokotillerindeki POD aktivitesi diğer serilere göre düşük bulunmuştur. Bu azalmanın, kontrol bitkilerin hipokotillerindeki POD aktivitesi ile karşılaştırıldığında %34 oranında olduğu tespit edilmiştir. 100 μM NiSO_4 içeren besi çözeltilerinde yetiştirilen fidelerde maksimum değere ulaşan POD aktivitesinin %104'lük bir artış gösterdiği belirlenmiştir ($p<0.05$). 0.01-0.1 μM NiSO_4 konsantrasyonunda kontrole yakın değerlerde olduğu gözlenen aktivitenin, 1 μM NiSO_4 uygulamasında biraz azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 14. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland serileri uygulanan 9 günlük brokoli fidelerinin kotiledonlarındaki peroksidaz enzim aktivitesi

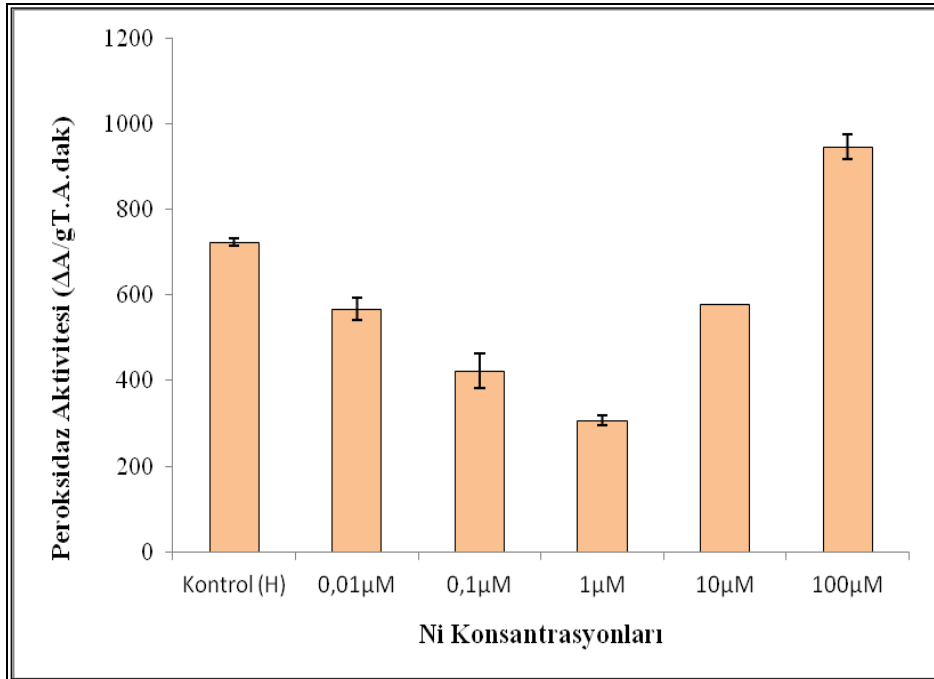
Kontrol grubu bitkilerin kotiledonlarındaki POD aktivitesi değeri deney serilerinin arasında bir değer almış, 0.01-0.1 μM NiSO_4 konsantrasyonlarında azalmış, 1 μM NiSO_4 konsantrasyonunda hemen hemen eşit değer vermiş ve 10-100 μM NiSO_4 konsantrasyonlarında ise tekrar artmıştır. Kotiledonlardaki en düşük enzim aktivitesi 0.01 μM NiSO_4 uygulamasında belirlenmiş ve kontrole göre %38 oranında bir azalma ($p<0.05$), en yüksek enzim aktivitesi ise 10 μM NiSO_4 uygulamasında saptanmış ve kontrole kıyasla %47'lik bir artış tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 30 günlük brokoli fidelerinin kök, gövde ve yapraklarındaki peroksidaz (POD) enzimi aktiviteleri ile ilgili veriler Şekil 15-17'de verilmiştir.



Şekil 15. Kontrol ve 0,01, 0,1, 1, 10, 100 μM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 30 günlük brokoli fidelerinin köklerindeki peroksidaz enzim aktivitesi

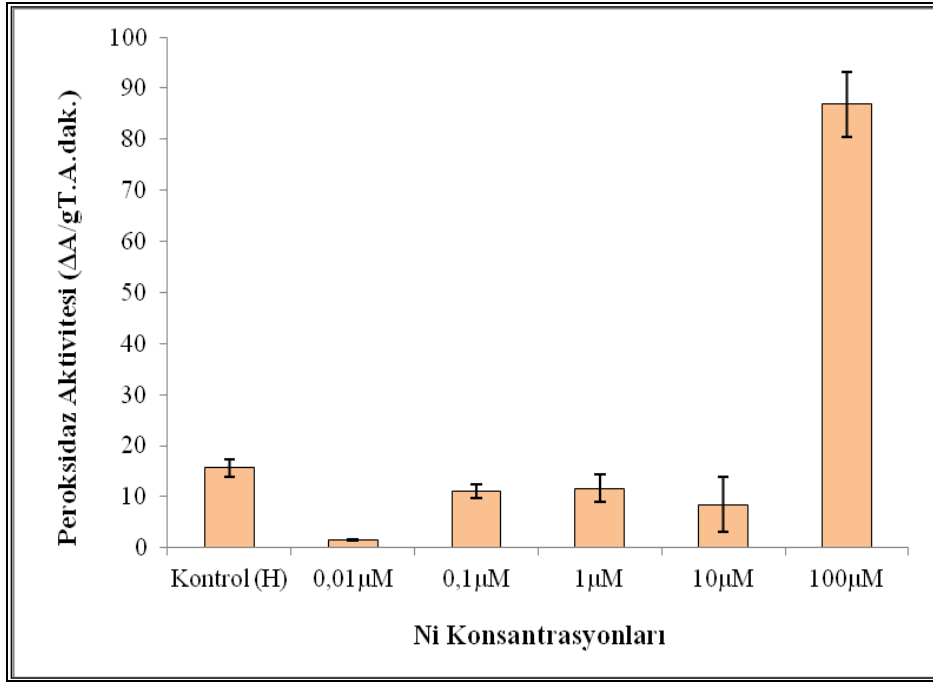
0,01-1 μM NiSO₄ konsantrasyonlarında kontrole göre azalan peroksidaz enzim aktivitesi, 10 ve 100 μM NiSO₄ uygulanan fidelerin köklerinde belirgin şekilde artışlar göstermiştir. 1 μM NiSO₄ konsantrasyonunda kontrole göre %33 oranında azalan aktivitenin, 100 μM NiSO₄ konsantrasyonunda maksimum değere ulaştığı ve kontrole kıyasla %95 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir ($p < 0,05$).



Şekil 16. Kontrol ve 0,01, 0,1, 1, 10, 100 μM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 30 günlük brokoli fidelerinin gövdelerindeki peroksidaz enzim aktivitesi

100 μM NiSO₄ uygulanan fidelerin gövdeleri dışında, uygulanan diğer tüm konsantrasyonlardaki fidelerin peroksidaz aktivitesi değer olarak kontrolün altında kalmıştır. 1 μM NiSO₄ uygulanan fidelerdeki enzim aktivitesi minimum değer vererek kontrole göre %57'lik bir azalma göstermiştir

($p < 0.05$). En yüksek enzim aktivitesinin ise %31 oranında bir artış ile 100 μM NiSO_4 serisinde yetişen fidelerin gövdelerinde olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$).

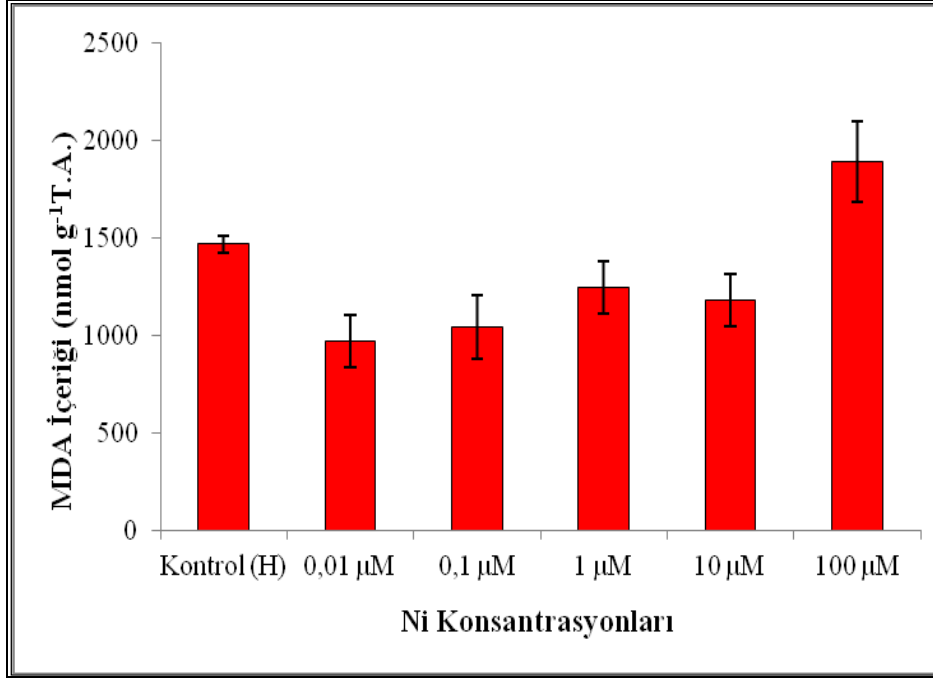


Şekil 17. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland serileri uygulanan 30 günlük brokoli fidelerinin yapraklarındaki peroksidaz enzim aktivitesi

Kontrol grubunda da düşük olan peroksidaz aktivitesi 0.01-10 μM NiSO_4 serilerinde daha da azalmış, ancak 100 μM NiSO_4 konsantrasyonunda kritik bir şekilde artış göstermiştir. Maksimum aktivite değeri gösteren 100 μM NiSO_4 serisinde kontrole göre %456 oranında artışın olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

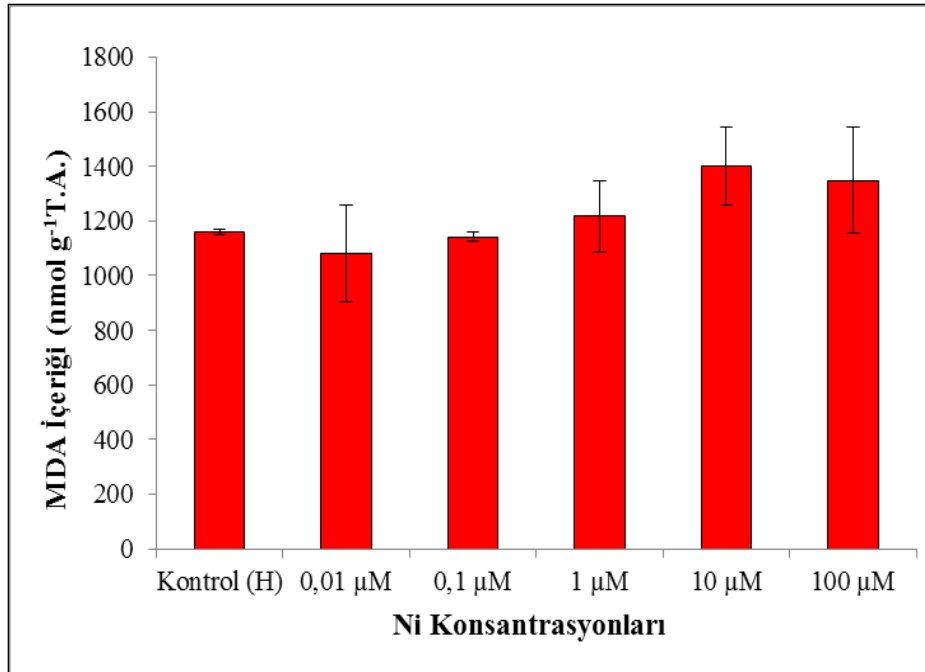
H. MALONDİALDEHİT (MDA) İÇERİĞİ

Nikel uygulamalarının brokoli fidelerinin çeşitli kısımlarındaki lipit peroksidasyonu üzerindeki etkileri, yıkım ürünlerinden biri olan malondialdehit (MDA) miktarının ölçülmesi ile tespit edilmiştir. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 9 günlük brokoli fidelerinin kök, hipokotil ve kotiledonlarındaki malondialdehit (MDA) içeriği ile ilgili veriler Şekil 18-20'de verilmiştir.



Şekil 18. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 9 günlük brokoli fidelerinin köklerindeki malondialdehit (MDA) içeriği

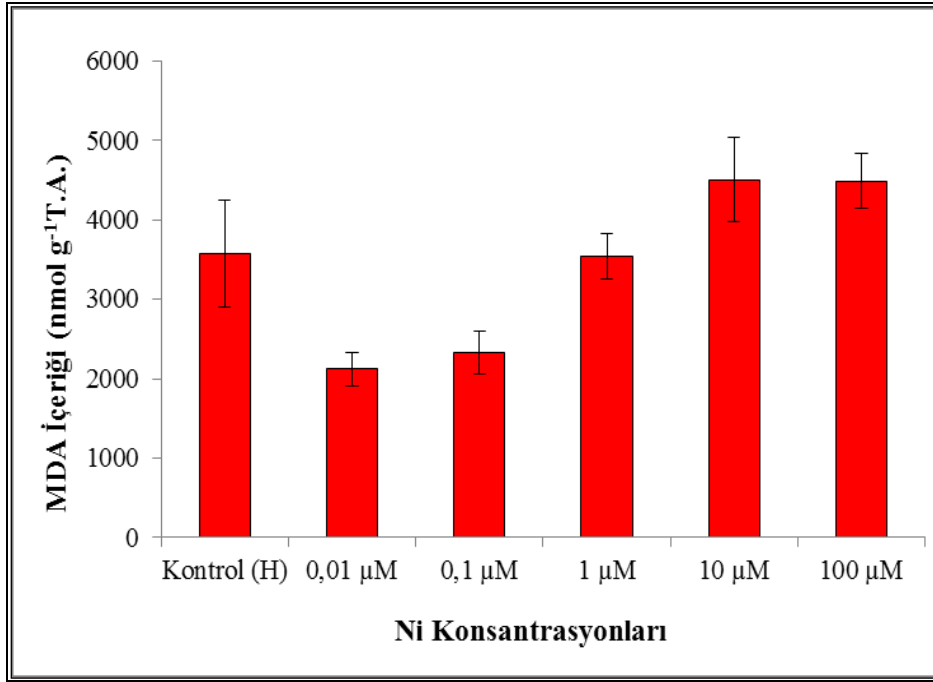
100 µM NiSO₄ içeren bitkiler dışında, diğer tüm konsantrasyonların köklerindeki MDA içeriğinin kontrol bitkilerine kıyasla düşük olduğu görülmüştür. 100 µM NiSO₄ içeren deney grubu bitkilerin köklerindeki MDA içeriğinin kontrole göre %29 artmış olduğu saptanmıştır. En düşük MDA içeriğinin 0.01 µM NiSO₄ konsantrasyonunda olduğu tespit edilmiş ve kontrol grubu ile kıyaslandığında %34 oranında bir azalmanın olduğu belirlenmiştir (p<0.05).



Şekil 19. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 9 günlük brokoli fidelerinin hipokotillerindeki malondialdehit (MDA) içeriği

9 günlük brokolide, 0.01 µM NiSO₄ grubu hipokotillerinde MDA içeriği diğer serilere göre düşük bulunmuştur. Bu azalmanın, kontrol bitkilerin hipokotillerindeki MDA içeriği ile karşılaştırıldığında

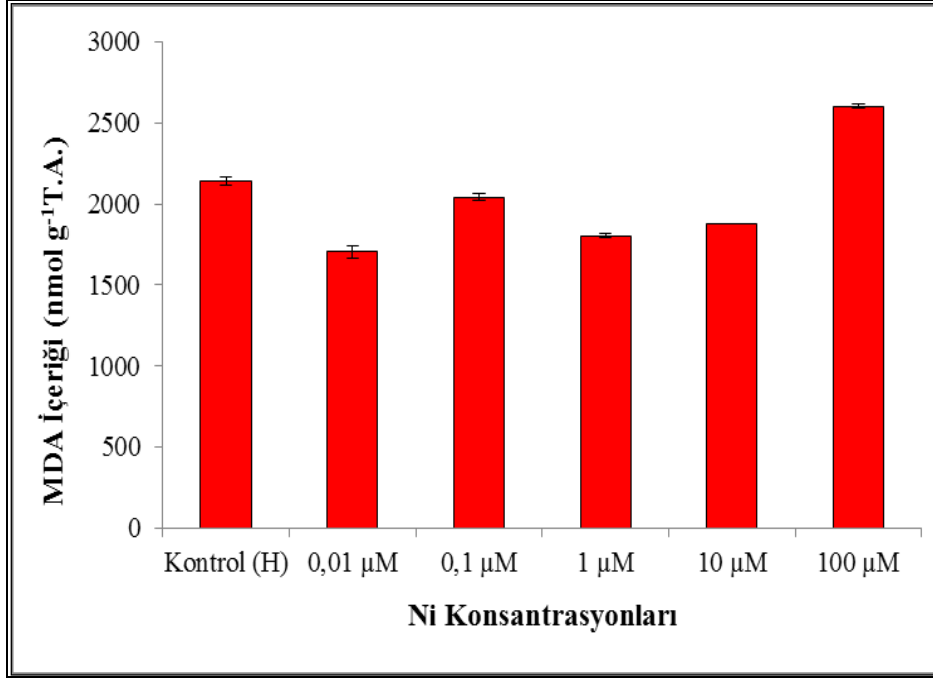
%7 oranında olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). $10 \mu\text{M}$ NiSO_4 içeren besi çözeltilerinde yetiştirilen fidelerde maksimum değere ulaşan MDA içeriğinin %21'lik bir artış sergilediği belirlenmiştir.



Şekil 20. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland serileri uygulanan 9 günlük brokoli fidelerinin kotiledonlarındaki malondialdehit (MDA) içeriği

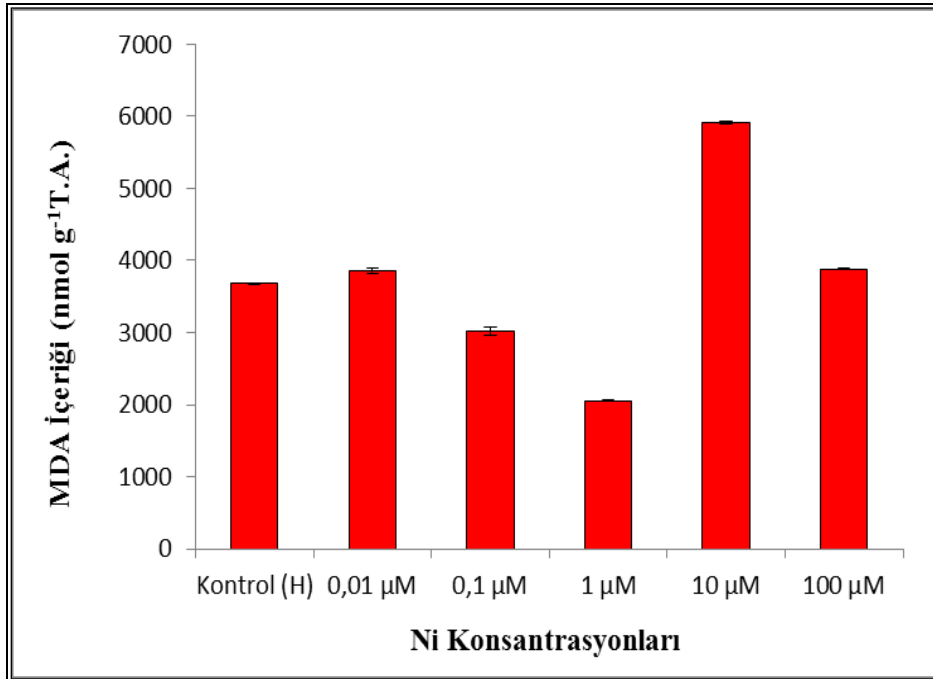
9 günlük kontrol grubu bitkilerinin kotiledonlarındaki MDA içeriği deney serilerinin arasında bir değer almış, 0.01-0.1 μM NiSO_4 konsantrasyonlarında azalmış ve 1-100 μM NiSO_4 konsantrasyonlarında ise tekrar artmıştır ($p<0.05$). Kotiledonlardaki en düşük MDA 0.01 μM NiSO_4 uygulamasında belirlenmiş ve kontrole göre %40 oranında bir azalma, en yüksek MDA içeriği ise 10 μM NiSO_4 uygulamasında saptanmış ve kontrole kıyasla %26'lık bir artış tespit edilmiştir.

Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 30 günlük brokoli fidelerinin kök, gövde ve yapraklarındaki malondialdehit (MDA) içeriği ile ilgili veriler Şekil 21-23'te verilmiştir.



Şekil 21. Kontrol ve 0,01, 0,1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 30 günlük brokoli fidelerinin köklerindeki malondialdehit (MDA) içeriği

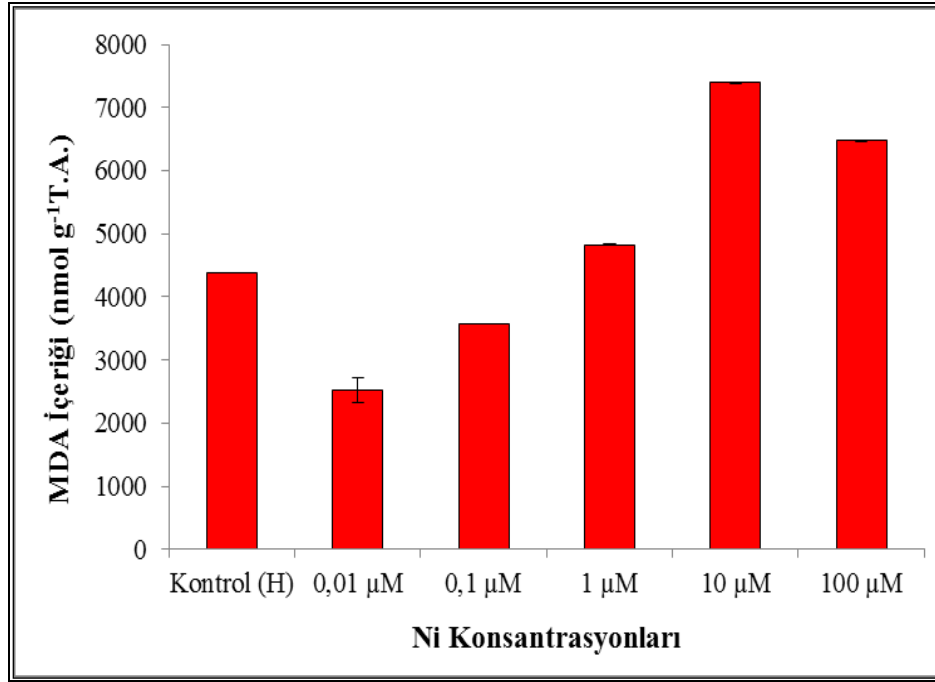
30 günlük brokoli fidelerinin köklerindeki en yüksek MDA içeriğinin 100 µM NiSO₄ konsantrasyonunda olduğu saptanmıştır (p<0.05). 0,01 µM NiSO₄ konsantrasyonunda kontrole göre %20 oranında azalan MDA içeriğinin (p<0.05), 100 µM NiSO₄ konsantrasyonunda maksimum değere ulaştığı ve kontrole kıyasla %21 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 22. Kontrol ve 0,01, 0,1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 30 günlük brokoli fidelerinin gövdelerindeki malondialdehit (MDA) içeriği

1 µM NiSO₄ konsantrasyonunda azalan MDA içeriği, 10 µM NiSO₄ uygulanan 30 günlük fidelerin gövdelerinde belirgin bir şekilde artış göstermiştir (p<0.05). 1 µM NiSO₄ konsantrasyonunda kontrole

göre %44 oranında azalan MDA'nın, 10 µM NiSO₄ konsantrasyonunda maksimum değere ulaştığı ve kontrole kıyasla %61 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 23. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 30 günlük brokoli fidelerinin yapraklarındaki malondialdehit (MDA) içeriği

0.01 ve 0.1 µM NiSO₄ konsantrasyonlarında düşük olan MDA içeriği 1, 10 ve 100 µM NiSO₄ konsantrasyonlarında artış göstermiştir (p<0.05). 0.01 µM NiSO₄ konsantrasyonunda kontrole göre %46 oranında azalan MDA'nın, en yüksek değerinin 10 µM NiSO₄ serisinde ve kontrole göre %68 oranında artış olduğu tespit edilmiştir.

I. NİKEL İÇERİĞİ

Nikel içeriği, dormant (imbibisyon olmadan), kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland besi çözeltilerinde 24 saat tutulan brokoli tohumlarında belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Dormant, kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland serilerinde 24 saat tutulan tohumlardaki Ni içeriği (mg/kg kuru ağırlık) (± değerler, standart sapmayı göstermektedir)

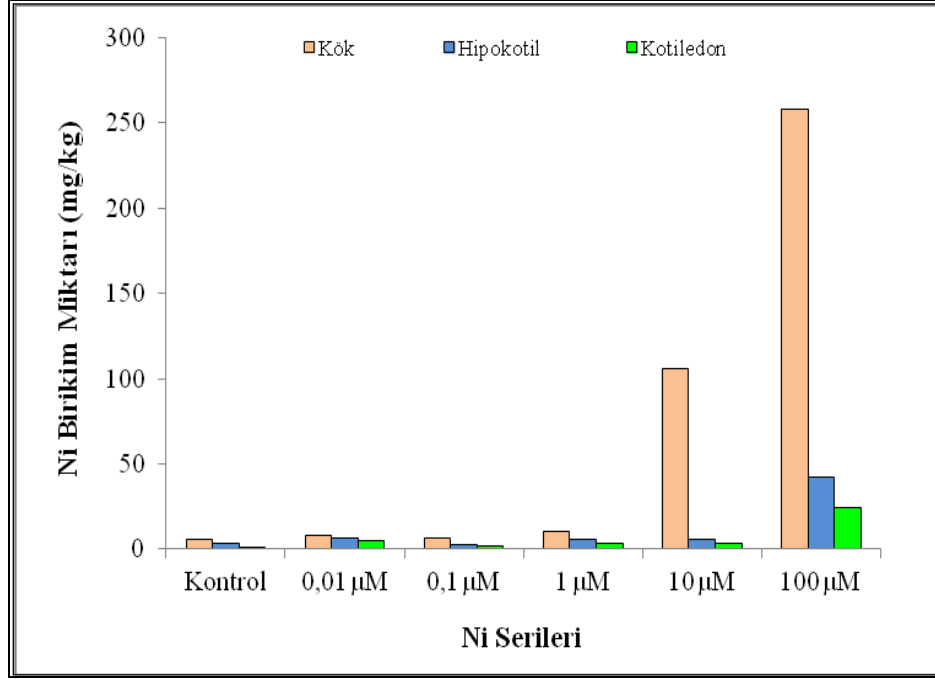
Seriler (µM)	Ni İçeriği (mg/kg kuru ağırlık)
Dormant Tohum	5.25.10 ⁻⁶ ± 3.77.10 ⁻⁶ *
Kontrol (H)	4.75.10 ⁻⁶ ± 2.87.10 ⁻⁶ *
0.01 µM	1.66.10 ⁻⁵ ± 6.02.10 ⁻⁶ *
0.1 µM	2.15.10 ⁻⁵ ± 1.30.10 ⁻⁵ *
1 µM	6.22.10 ⁻⁵ ± 5.72.10 ⁻⁵ *
10 µM	3.64.10 ⁻⁴ ± 3.81.10 ⁻⁵ *
100 µM	5.16.10 ⁻³ ± 1.68.10 ⁻³ *

*p<0.05 değerleri, kontrol grubuna göre anlamlı farklılık gösteren deney serilerini göstermektedir.

Kullanılan brokoli tohumlarında 5.25.10⁻⁶ mg/kg kuru ağırlık Ni bulunmuştur. Dormant ve kontrol grubu brokoli tohumlarında nikel içeriği neredeyse birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, uygulama yapılan brokoli tohumlarında artan nikel konsantrasyonuna paralel olarak biriken

Ni miktarı da artış göstermiştir. En düşük Ni miktarı kontrol grubu bitkilerin tohumlarında, en yüksek Ni birikim miktarının ise 100 μM NiSO_4 serisinde olduğu tespit edilmiştir.

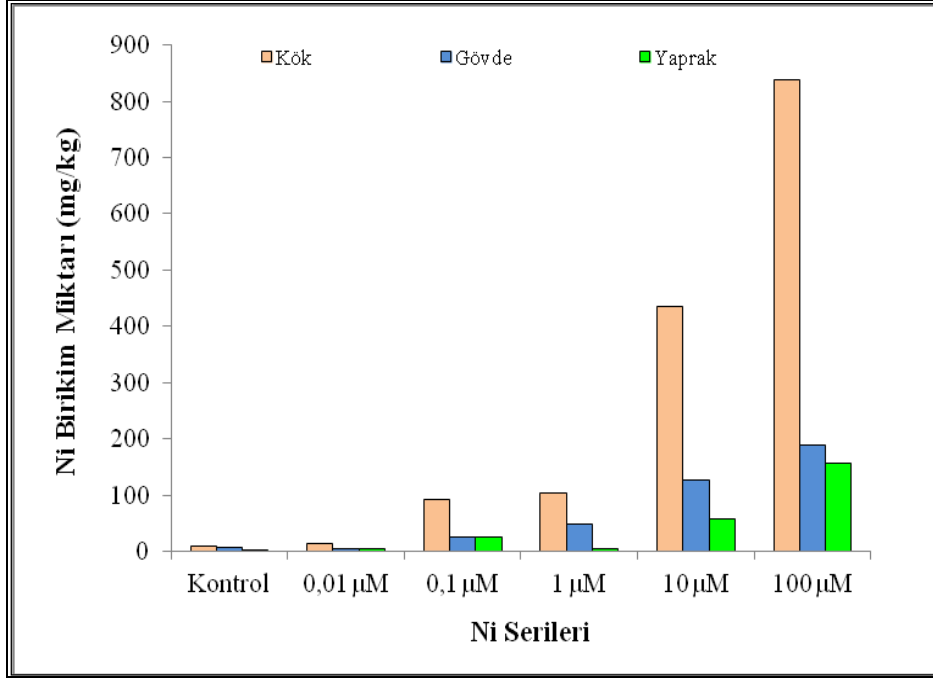
Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 9 günlük brokoli fidelerinin kök, hipokotil ve kotiledonlarındaki Ni birikim miktarları ile ilgili veriler Şekil 24'te verilmiştir.



Şekil 24. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland serileri uygulanan 9 günlük brokoli fidelerinin kök, hipokotil ve kotiledonlarındaki nikel birikim miktarları (mg/kg kuru ağırlık)

Nikelin en çok köklerde birikim gösterdiği ve içeriğinin kontrolde hipokotilden 1.8 kat, kotiledonlardan ise yaklaşık 6 kat fazla olduğu saptanmıştır. Her bir bitki kısmında konsantrasyona bağlı olarak artan nikel içeriğinin en fazla 258.3 mg/kg kuru ağırlık olmak üzere 100 μM NiSO_4 uygulanan 9 günlük brokoli fidelerinin köklerinde bulunduğu belirlenmiştir. Nikelin, 100 μM NiSO_4 konsantrasyonunda kontrole göre sırasıyla köklerde 44.6 kat, hipokotilde 13.3 kat, kotiledonlarda ise 25.18 kat artışa neden olduğu tespit edilmiştir.

Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 içeren Hoagland besi çözeltilerinde yetiştirilen 30 günlük brokoli fidelerinin kök, gövde ve yapraklarındaki Ni birikim miktarları ile ilgili veriler Şekil 25'te verilmiştir.



Şekil 25. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ içeren Hoagland serileri uygulanan 30 günlük brokoli fidelerinin kök, gövde ve yapraklarındaki nikel birikim miktarları (mg/kg kuru ağırlık)

30 günlük brokoli fidelerinde, 9 günlük bitkilerde olduğu gibi nikelin en çok köklerde birikim gösterdiği ve içeriğinin kontrolde gövdeden 1.4 kat, yapraklardan ise yaklaşık 3.2 kat fazla olduğu saptanmıştır. Nikel içeriğinin en fazla 839.1 mg/kg kuru ağırlık olmak üzere 100 µM NiSO₄ uygulanan 30 günlük brokoli fidelerinin köklerinde bulunduğu belirlenmiştir. Nikelin, 100 µM NiSO₄ konsantrasyonunda kontrole göre sırasıyla köklerde 81.5 kat, gövdede 27.18 kat, yapraklarda ise 48.11 kat artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, 100 µM NiSO₄ konsantrasyonunda gövde ve yapraktaki Ni birikim oranlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür.

IV. TARTIŞMA VE SONUC

Bu araştırmada, *Brassica oleracea* L. var. *italica* bitkisinin çimlenme ve fide evresindeki kök, gövde ve yapraklarındaki nikel birikimi ve bunun büyüme, gelişme ve pigment içeriği üzerindeki etkileri fizyolojik yönden incelenmiştir. Bitkiler tohumun çimlenme ve erken fide gelişmesi sürecinde farklılaşan çevresel koşullara karşı oldukça hassas olup hasara uğradığı takdirde bitkilerin yaşam döngüsü daha başlamadan son bulabilmektedir [40], [41]. Ağır metallerin bitkilerin hücre ile dokularında gösterdiği dağılım ortamdaki konsantrasyonlarına, etki etme sürelerine, fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değişmektedir [42], [43]. Marschner [1] tarafından, aşırı nikel konsantrasyonlarının, bitkilerin çimlenme evresinden başlayarak büyümeleri ve gelişmeleri dönemlerinde çeşitli toksik etkilerinin bulunduğu bildirilmiştir. Brokoli bitkisinde artan NiSO₄ konsantrasyonlarına bağlı olarak çimlenme yüzdesinin azaldığı saptanmıştır. 5. günde kontrol grubunda %98.46 olan çimlenme yüzdesinin, 100 µM NiSO₄ konsantrasyonunda bulunan tohumlarda kontrole göre %84 oranında azaldığı görülmüştür. Bu sonuçlar, brokolide tohum çimlenmesinin NiSO₄'ün düşük konsantrasyonlarından fazla etkilenmezken; 1 µM NiSO₄ konsantrasyonundan sonra çimlenmede inhibisyonların meydana geldiğini ortaya koymaktadır. Bu düşüşün konsantrasyona bağlı olarak giderek arttığı kaydedilmiştir. Tohum çimlenmesi üzerine nikelin toksik etkilerine dair pek çok çalışma bulunmaktadır. Espen ve diğ. [44] tarafından *Raphanus sativus* ile yaptıkları bir çalışmada tohumlara artan konsantrasyonlarda nikel uygulamasının, çimlenmenin yanı sıra bitkinin büyüme ve gelişmesinin de olumsuz yönde etkilendiği belirlenmiştir. Bir diğer çalışmada, *Brassica juncea* tohumlarının çimlenmesinin nikel uygulaması ile önemli ölçüde azaldığı görülmüştür [45]. Citterio ve diğ. [46] tarafından yapılan başka bir çalışmada, yüksek oranda nikel bulunan ortamda çimlenen *Cannabis sativa* tohumlarında, çimlenmenin azaldığı saptanmıştır. Nikelin artan dozlarının,

Helianthus annuus bitkisinde çimlenmeyi olumsuz yönde etkilediği yapılan bir araştırmada gösterilmiştir [47]. Bununla birlikte, *Oryza sativa* L. [48] ve *Medicago sativa* L. [49] bitkilerinde nikelin düşük dozlarının çimlenmeyi teşvik edici ama artan dozlarının geriletici etkileri de rapor edilmiştir. Düşük konsantrasyonlarda Ni uygulamasının *Helianthus annuus* fidelerinde çimlenme oranını önemli ölçüde teşvik ettiği gösterilmiştir [50]. *Echinochloa colona* ile yapılan bir çalışmada, Ni bulunan ortamlarda yetişen bitkilerin çimlenme ve büyüme oranının kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [51]. Yapılan bu araştırmada da *Brassica oleracea* L. var. *italica* bitkisinde nikelin 1 µM NiSO₄ den yüksek konsantrasyonlarda çimlenmede inhibisyonlar meydana getirdiği ve buna bağlı olarak çimlenmeyi etkileyebileceği söylenebilir.

Metallerin değişik şekillerde kök, gövde ve yaprak büyümesine mani olabildiği, bu durumun bitkinin türü ve yetiştirilme koşullarına göre farklılaşabildiği rapor edilmiştir [52]. Ortamdaki solüsyonla doğrudan temasta olan köklerin, gövdenin ve yaprağın büyüme oranına göre daha çok etkilenmesi olağan karşılanmaktadır. Bitkilerin ağır metallere yarattığı stresi hafifletmek için çeşitli tolerans ve direnç mekanizmalarından birinin metallerin kökte tutularak gövdeye dağılmasının engellenmesi olduğu bildirilmiştir [53], [54]. 9 günlük brokoli fidelerinde nikelin bütün konsantrasyonlarının kök büyümesini teşvik ettiği görülmüş ve bu büyümenin en fazla 1 µM NiSO₄ içeren besi ortamında yetişen fidelerde olduğu belirlenmiştir. Hipokotil uzunluklarında ise, en fazla artışın 1 µM konsantrasyonda meydana geldiği tespit edilmiştir. Değişen NiSO₄ konsantrasyonları ile hipokotil uzunlukları en az değeri 0.01 µM NiSO₄ uygulamasında verdiği belirlenmiştir. Ayrıca 30 günlük brokoli fidelerinde de kök uzunluğunun en yüksek değerinin 1 µM NiSO₄ içeren besi çözeltilerinde yetiştirilen fidelerde olduğu tespit edilmiştir. En fazla gövde uzunluğu 10 µM NiSO₄ konsantrasyonunda saptanmıştır. En düşük kök ve gövde uzunluğunun ise 0.01 µM NiSO₄ serisinde olduğu belirlenmiştir.

Brokoli fidelerinde artan nikel konsantrasyonlarının büyüme üzerine olan olumsuz etkileri daha önce yapılmış diğer çalışmalarda bulgularla benzerlik göstermektedir. *Cannabis sativa*'da tohum çimlenmesi, sürgün-kök uzunlukları, sürgün-kök taze ağırlıklarında inhibisyonların olduğu [46]; *Silene paradoxa*'da [55], *Zea mays*'ta [56] ve *Zea mays*, *Glycine max* ve *Triticum* bitkilerinin [57] kök büyümesinde önemli derecede inhibisyonların olduğu yönünde bulgular vardır. Yang ve diğ. [58]'nin bulguları, Ni'nin *Brassica oleracea* L. ve *Lolium perenne* L. bitkilerinde gövde ve kök büyümesini aynı derecede azaltırken, *Zea mays* ve *Trifolium repens* L.'in köklerinin artan Ni konsantrasyonlarına karşı gövdeden daha duyarlı olduklarını göstermektedir. Ayrıca bu bulguların aksine Rahmatullah ve diğ. [59] tarafından, nikelin *Lycopersicon esculentum*'un sürgün ve kök büyümesini teşvik ettiği gösterilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre de değişen NiSO₄ konsantrasyonlarının brokoli fidelerinin büyümesini etkilediği söylenebilir.

Arabis paniculata, *Brassica juncea* gibi ağır metallere karşı toleranslı olan bitkiler dışında bazı ağır metallerin bitki büyümesini azalttığı yönünde çalışmalar bulunmaktadır [60],[61]. 100 µM NiSO₄ içeren seride yetiştirilen 9 günlük brokoli fidelerinin kök, hipokotil ve kotiledonlarının taze ağırlık miktarlarının diğer serilerden düşük çıkması yapılan çalışmalarda sonuçlar ile paralellik göstermektedir. Gajewska ve diğ. [62], bitki ağırlığındaki azalmanın kısmen içsel su dengesindeki bozukluklar ve bitki dokularının su içeriğindeki azalma ile bağlantılı olabileceğini belirtmişlerdir. Taze ağırlık miktarlarındaki bu azalmanın yüksek ağır metal konsantrasyonlarındaki su içeriğindeki azalmanın yanı sıra protein yıkımının teşvik edilmesinden kaynaklandığı da düşünülmektedir [63, 64]. Aynı zamanda fidelerin kök ve hipokotillerinde 10 ve 100 µM NiSO₄ serilerinde kuru ağırlık miktarlarının azaldığı, kotiledonlarında ise 100 µM NiSO₄ serisinde azalma gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, Athar ve Ahmad'ın [65] yüksek konsantrasyonda Ni uygulanan buğday fidelerindeki büyüme ile ilgili yaptıkları çalışmadan elde ettikleri veriler ile benzerlik göstermektedir. 10 ve 100 µM NiSO₄ serilerinde yetiştirilen 30 günlük brokoli fidelerinin taze ağırlık miktarları kontrole göre düşük bulunmuş, yapraklar haricinde kuru ağırlık miktarlarının 1 µM NiSO₄ konsantrasyonu dışında diğer serilerde azaldığı kaydedilmiştir. Rahman ve diğ. [66]'nin arpa bitkisi ile yaptıkları bir çalışmada, Ni-eksik bitkiler ile karşılaştırıldığında, bitkilerin kuru ağırlığı 10 µM Ni konsantrasyonuna kadar artmıştır, ancak en yüksek değerler 1 µM Ni de elde edilmiştir ve bu veriler ışığında 1-10 µM Ni'nin arpa bitkilerinin optimum büyümesi için gerekli olduğu düşünülmüştür. Elde edilen bulgular, yapılan

bu çalışma ve Brown ve diğ. [67]'nin sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Bu bulgular, ağır metaller tarafından hücre bölünmesinin ya da hücre uzamasının inhibe edilmesi ya da her ikisinin birlikte kombinasyonu ile doğrudan kök ve sürgün büyümesinin inhibe edildiğini göstermektedir [68, 69]. Sonuç olarak, büyüme parametreleri dikkate alındığında, 10 ve 100 μM NiSO_4 konsantrasyonlarında bitki büyüme ve gelişmesinin inhibe edildiği görülmüştür.

Ağır metallerin bitkiler üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla en sık yapılan çalışmalardan birisi bitki içindeki klorofil içeriğinin belirlenmesidir [62], [66], [70], [71]. Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 μM NiSO_4 serileri uygulanan 9 ve 30 günlük brokoli fidelerinin kotiledon ve yapraklarındaki total klorofil ve total karotenoid miktarları incelenmiş ve nikel konsantrasyonu artışının pigment içeriği üzerinde önemli etkileri olduğu gözlenmiştir. 9 günlük brokoli fidelerinin total klorofil içeriği üzerine 100 μM NiSO_4 konsantrasyonunun toksik etkiler meydana getirdiği gözlenmiştir. Fide gelişiminin en iyi olduğu konsantrasyonun 1 μM NiSO_4 olduğu belirlenmiştir. En düşük total klorofil içeriğinin ise 100 μM NiSO_4 içeren besi çözeltilerinde yetiştirilen fidelerin kotiledonlarında olduğu tespit edilmiştir. 30 günlük brokoli fidelerinin yapraklarının total klorofil içeriklerine bakıldığında ise, 0.01 μM NiSO_4 serisindeki azalmanın ardından 0.1 μM NiSO_4 serisindeki en yüksek artışı diğer serilerde kademeli olarak düşüş takip etmiştir. En düşük total klorofil içeriği ise 100 μM NiSO_4 konsantrasyonunda bulunmuştur. Bazı araştırmacılar tarafından nikel bağli olarak, farklı bitki türlerinde klorofil miktarında azalış olduğu bildirilmiştir. Cu-Ni bulunduran toprakta yetişen *Empetrum nigrum*'un klorofil içeriğinin kontrol bitkilerine kıyasla azaldığı kaydedilmiştir [72]. Yapılan bir çalışmada, *Raphanus sativus* bitkisine artan nikel sülfat konsantrasyonları uygulandığı zaman, klorofil a, klorofil b ve karotenoid içeriklerinde önemli azalmaların olduğu gösterilmiştir [73]. Bu durum, yüksek bitkilerde klorofil biyosentezinin metaller tarafından inhibe edildiğini göstermektedir [74],[75]. Fotosentetik pigmentler üzerine ağır metallerin etkisi, kloroplast membranlarının peroksidasyonu ile oksidatif stres ve sonrasında hasara neden olan lokal olarak yaprak kloroplastlarında aşırı biriken ağır metaller nedeniyle olabilmektedir [61]. Ayrıca, ağır metaller, doğrudan enzimlerin -SH gruplarına bağlanarak kloroplastın yapısı ve fonksiyonunu tahrip edebilirler ve klorofil biyosentezini etkileyebilirler [76]. Ağır metal stresinde klorofil içeriğinde belirlenen azalış, klorofilin biyosentez reaksiyonunda görev alan enzimlerin ağır metaller tarafından engellendiğinin bir neticesi olabilir. Serbest radikallerin oluşumunda ağır metallerin etkisinin bulunduğu ve bu şekilde tilakoid membran lipitlerinin oksidatif yıkımına sebebiyet verdiği görülmüştür [77], [78]. Bu ve benzeri durumlara klorofil yıkımındaki artış ya da sentezinin engellenmesi ile klorofil miktarının azalmış olabileceği düşünülmektedir [63]. Diğer yandan nikelin klorofil içeriğini artırdığına yönelik çalışmalarda mevcuttur [110]. *Albizia Iebek* bitkisinde nikelin, kök ve sürgün büyümesi, yaprak alanı ve biyokütlesi ile yapraklardaki klorofil, protein, karbonhidrat ve şeker üzerine teşvik edici etkilerinin olduğu Tripathi ve diğ. [79] tarafından gösterilmiştir. Mısır ve yulaf bitkilerine ekim öncesinde Ni uygulamasının total klorofil ve karotenoid miktarlarında artışa neden olduğu gözlenmiştir [70], [80]. Ekim öncesinde düşük konsantrasyonlarda Ni uygulanan patates tuberlerinde klorofil, karoten ve ksantofil sentezinin arttığı tespit edilmiştir [70], [81].

Karotenoidler antioksidan özelliği olan, hücreyi stres ile oluşan sitotoksik radikallerin oksidatif zararlarından koruyan düşük molekül ağırlıklı pigmentlerdir [82]. Antioksidan savunma sisteminde önemli yeri olan karotenoid pigmenti miktarının belirlenmesi bitkinin strese karşı cevabında önemli olup, 9 günlük brokoli fidelerinin kotiledonlarının karotenoid içeriklerinin 0.1 ve 1 μM NiSO_4 konsantrasyonlarında arttığı, 0.01, 10 ve 100 μM NiSO_4 konsantrasyonlarında ise azalma gösterdiği tespit edilmiştir. 30 günlük fidelerin yapraklarının karotenoid içeriklerine bakıldığında ise, en fazla artışın 0.1 μM NiSO_4 uygulanan fidelerde olduğu görülmüştür. En düşük karotenoid içeriği ise yine 9 günlük bitkilerde olduğu gibi 100 μM NiSO_4 uygulanan brokoli fidelerinde tespit edilmiştir. Bu artışlar, Kırbag-Zengin ve Munzuroglu'nun [52] Ni uygulanmış fasulye fidelerinin yapraklarındaki karotenoid içeriğindeki artış ve bezelye bitkilerinde Ni uygulaması ile karotenoid oluşumunun teşvik edildiğinin gösterildiği [83] çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Bu sonuçlar ile ilgili olarak, farklı konsantrasyonlarda Ni uygulanmış 9 ve 30 günlük fidelerin kotiledon ve yapraklarında ölçülen karotenoid içeriklerinin bitkinin organlarına ve Ni konsantrasyonuna bağli olarak değişebileceği söylenebilir.

Ni uygulanan 9 ve 30 günlük brokoli fidelerinin farklı kısımlarındaki protein miktarları da analiz edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre 9 günlük brokoli fidelerinin köklerindeki total protein içeriğinin 0.01 ve 0.1 μM NiSO_4 serilerinde azaldığı, 1 μM NiSO_4 serisinde arttığı, 10 ve 100 μM NiSO_4 konsantrasyonlarında ise tekrar azaldığı belirlenmiştir. 30 günlük brokoli fidelerinin köklerindeki total protein içeriğinin ise 0.01 ve 0.1 μM NiSO_4 serilerinde arttığı, 1 μM NiSO_4 serisinde kontrole yakın olduğu, 10 ve 100 μM NiSO_4 konsantrasyonlarında ise tekrar azaldığı tespit edilmiştir. 9 günlük fidelerin hipokotil bulgularına göre, 0.01, 0.1 ve 1 μM NiSO_4 serilerinde artış görülürken, 10 ve 100 μM NiSO_4 serilerinde protein içeriğinde azalmaların olduğu tespit edilmiştir. 30 günlük fidelerin gövde bulgularının, 9 günlük bitkilerin hipokotil bulguları ile benzer olduğu görülmüştür. 9 günlük brokoli fidelerinin kotiledonlarının protein içeriği köklerdeki bulgularla benzer olup 1 μM NiSO_4 konsantrasyonu dışında diğer tüm serilerde azalmalar kaydedilmiştir. Değişen NiSO_4 uygulamalarında 30 günlük fidelerin yapraklarındaki protein içeriklerine göre, 0.01, 0.1 ve 1 μM NiSO_4 serilerinde yetişen fidelerin yapraklarında artış görülürken, 10 ve 100 μM NiSO_4 besin çözeltilerindeki fidelerin yapraklarında protein içeriğinde azalmaların olduğu tespit edilmiştir. Total çözünebilir protein içeriğinin bitkilerde ölçülmesi, ağır metal toksisitesi gibi çeşitli stres koşulları altında hücrelerin fizyolojik durumlarının belirlenmesinde önemli bir kriterdir [64], [84]. Ni eksikliği sırasında gözlenen fizyolojik anormallikler Ni'nin birçok fizyolojik olayda rol oynayabileceğini düşündürmektedir. Bununla ilgili olarak Ni'nin metabolik etkiler ile bağlantılı olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır [5], [85]. Ni'nin en belirgin etkilerinden biri protein metabolizması üzerinedir. Nikel, mısır ve yulaf bitkilerinde total protein ve total azot içeriğini artırmıştır [23], [70]. *Alyssum* bitkisine NiSO_4 çözeltisi püskürtüldüğünde yapraklarının serbest amino asit içeriğinin arttığı görülmüştür [86]. Senesens geçiren kesik pirinç yapraklarında, Mishra ve Samal [83], NiCl_2 nin protein yıkımının durdurulmasında etkili olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmaların sonuçları incelendiğinde, ortamda ağır metal artışına bağlı olarak bitkilerde düşük metal konsantrasyonlarında protein miktarında artış olurken, artan konsantrasyonla protein sentezinin engellendiği, buna bağlı olarak protein içeriğinde düşüş meydana geldiği gözlenmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, bu araştırmanın sonuçları ile paralellik göstermektedir.

Peroksidaz (POD) enzimi antioksidan bir enzimdir ve stres koşullarında aktivitesi artmaktadır [87]. Peroksidaz (POD, EC 1.11.1.7.), hücre metabolizmasının toksik radikallerini ortadan kaldırmakta [88] ve fenolik bileşikler gibi bazı indirgeyici maddeleri kullanarak H_2O_2 yi azaltmaktadır [89]. Bitki peroksidazlarının büyüme ve gelişme [90], hücre çeperlerindeki lignin biyosentezi [91] ve çevresel streslere verilen cevaplarda rol oynadığı bilinmektedir [92]. Ağır metalleri içeren farklı stres faktörlerine karşı bitkilerin cevabında, POD aktivitesinin teşvik edildiği gözlenmiştir [11], [93]. Bu enzimin bitkilerde öldürücü metal toksisitesi için olası bir belirteç olduğu ileri sürülmektedir [68]. Brokoli fidelerinde yapılan analizlerde, 9 günlük fidelerin kök ve hipokotillerinde kontrole göre en yüksek POD aktivitesinin 100 μM NiSO_4 konsantrasyonunda olduğu, en düşük aktivitenin ise kökte 1 μM NiSO_4 de, hipokotilde ise 10 μM NiSO_4 de olduğu belirlenmiştir. 9 günlük bitkilerin kotiledonlarında ise POD aktivitesinin 10 μM NiSO_4 konsantrasyonunda arttığı görülmüştür. 30 günlük brokoli fidelerinin kök ve gövdelerindeki POD aktivitesi 9 günlük bitkilerin kök ve hipokotillerindeki bulgularla benzerlik göstermekte ve en yüksek aktivitenin 100 μM NiSO_4 konsantrasyonunda, her ikisi için de en düşük aktivitenin 1 μM NiSO_4 konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir. 30 günlük brokoli bitkilerinin yapraklarına bakıldığında, yine en yüksek aktivitenin 100 μM NiSO_4 de olduğu, en düşük aktivitenin ise 0.01 μM NiSO_4 uygulanan fidelerde olduğu görülmüştür. Gajewska ve diğ. [62]'nin bir çalışmasında 10 ve 200 μM Ni uygulamasına maruz kalan *Triticum* bitkilerinin gövdelerindeki POD aktivitesi 10 μM da azalırken, 200 μM konsantrasyonda birkaç kat artış göstermiştir. Benzer şekilde, Boostani, Najaf-Ghiri ve Mirsoleimani [112]'nin araştırmasında da peroksidaz aktivitesi Ni uygulama seviyeleri ile artış göstermiştir. Ni içeren ağır metallerin bitkilere uygulanmasından sonra enzim aktivitesinde görülen artış daha önceki çalışmalarda da bildirilmiştir [11], [93]. Metal stresi altında POD aktivitesinin artması, H_2O_2 nin bertaraf edilmesi gibi [94] hücre içine giren toksik metallere karşı fiziksel bariyer oluşturulmasındaki rolü ile açıklanmaktadır [93]. Bu çalışmadaki POD aktivitesinin teşviki, Diaz ve diğ. [93] tarafından elde edilen sonuçlarla uyumludur. POD un katalizlediği lignifikasyon tarafından hücre duvarı plastisitesinin azaltılmasında ve bunun sonucunda büyüme inhibisyonunda POD un yer aldığı düşünülmektedir. Ayrıca, deney esnasında POD faaliyetindeki artışın, Gabbrielli ve diğ. [95]

tarafından bildirilen bitki dokularındaki Ni'nin teşvik ettiği senesens ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Genel olarak peroksidaz (POD) aktivitesindeki artış, stres altındaki bitki yapraklarında hücre membran bütünlüğünün korunmaya çalışıldığını ve hücre çeperinin mekaniksel özelliklerinin düzenlendiğini göstermektedir [96]. Brokoli fidesinin farklı kısımlarında artan Ni konsantrasyonlarına karşı gelişen savunma cevabında POD aktivitelerinin 10 ve 100 µM konsantrasyonlarında artış gösterdiği söylenebilir.

Kontrol ve 0.01, 0.1, 1, 10, 100 µM NiSO₄ serilerinde yetiştirilen 9 ve 30 günlük brokoli fidelerinin farklı organlarının membranlarında meydana gelen lipid peroksidasyonu belirlemek için peroksidasyon sonucu oluşan ürünlerden biri olan malondialdehit (MDA) miktarları ölçülmüştür [97], [98]. 0.01 µM NiSO₄ içeren besi çözeltilinde yetiştirilmiş 9 günlük fidelerin köklerinde MDA içeriğinin minimum düzeyde olduğu, 100 µM NiSO₄ uygulamasında ise miktarının arttığı gözlenmiştir. 0.1 µM NiSO₄ uygulanmış fidelerin hipokotillerinde MDA içeriğinin arttığı gözlenmiş, 0.01 µM NiSO₄ serisinde ise kontrole göre azalma olduğu izlenmiştir. 9 günlük bitkinin kotiledonlarında ise 10 µM NiSO₄ uygulamasında MDA içeriği artarken, 0.01 ve 0.1 µM NiSO₄ serilerinde azalmaların olduğu saptanmıştır. 30 günlük fidelerin köklerinde 100 µM NiSO₄ içeren besi çözeltilerinde artan MDA içeriği, 0.01 µM NiSO₄ çözeltilinde azalmıştır. Gövdelerde ise, 1 µM NiSO₄ içeren besi çözeltilinde yetiştirilmiş fidelerin MDA içeriğinin minimum düzeyde olduğu, 10 µM NiSO₄ uygulamasında ise miktarının arttığı gözlenmiştir. Yapraklarda en yüksek MDA içeriğinin 10 µM NiSO₄, en düşük MDA içeriğinin ise 0.1 µM NiSO₄ uygulamasında olduğu tespit edilmiştir. Nikel uygulanan bitki gruplarında MDA içeriğindeki artış, lipid peroksidasyonunun artışının bir belirtisidir. Genel olarak 10 ve 100 µM NiSO₄ uygulanan bitkilerde MDA içeriğinin kontrole kıyasla daha yüksek çıktığı görülmektedir. Bu durum 10 ve 100 µM NiSO₄ konsantrasyonlarının lipid peroksidasyonunu artırdığını göstermektedir. Çeşitli stres koşullarına karşı artan peroksidaz aktivitesi, bitkilerin genel olarak gösterdiği bir cevaptır [11], [93]. Buna bağlı olarak, 10 ve 100 µM NiSO₄ uygulanan gruplarda kontrole kıyasla antioksidan bir enzim olan peroksidazın uyarıldığı ve aktivitesinin arttığı da görülmektedir. Genel olarak 0.01, 0.1 ve 1 µM NiSO₄ uygulanan bitkilerde kontrole kıyasla MDA içeriğinde bir azalma vardır ve bu durum ise ilgili serilerin lipid peroksidasyonunu azalttığının bir işaretidir. Azalan lipid peroksidasyonuna bağlı olarak peroksidaz aktivitesi de azalmıştır. Bu sonuçlara göre, MDA içeriği ve peroksidaz (POD) aktivitesi arasında bir ilişki olduğu ilgili literatürlerle paralellik göstermektedir [11], [63], [99]. Pigment sistemi de stres koşullarından etkilenmektedir. Karotenoid seviyesindeki azalma membran lipidlerinin peroksidasyonuna yol açmakta ve buna bağlı olarak lipid peroksidasyonunun artmasına neden olmaktadır. Lipid peroksidasyonun artması membranı peroksidasyondan koruyan antioksidan enzimlerin indüklenmesine neden olmaktadır [100]. Yapılan bir çalışmada, Zn ve Ni toksisitesinin *Cajanus cajan* L. bitkisinin kök ve gövdesinde MDA birikimini artırdığı gösterilmiştir [101]. Diğer bazı çalışmalarda, *Brassica napus* ve *Brassica oleracea* bitkilerinde, uygulanan kadmiyum sonucu yapraklardaki MDA miktarının arttığı [102], çinko stresine bağlı olarak klorofil ve karotenoid içeriğinin azaldığı bunun sonucunda da lipid peroksidasyonun arttığı [100] bildirilmiştir. Bu çalışmaların sonuçları ile elde edilen bulgular birbiriyle paralellik göstermektedir [111]. Sonuçlar incelendiğinde, MDA içeriğindeki artışların, uygulanan yüksek dozdaki nikelin (10 ve 100 µM NiSO₄) brokoli bitkisinde lipid peroksidasyonuna neden olarak membran hasarına ve membran bütünlüğünün bozulmasına yol açabileceğini ve bu derişimlerin bitki tarafından tolere edilmesi güç olan toksik seviyeler olabileceğini düşündürmektedir.

Genel olarak artan nikel konsantrasyonlarına bağlı olarak organlardaki nikel birikiminde de artışların olduğu kaydedilmiştir. Nikelin daha çok köklerde biriktiği, böylece aşırı miktardaki nikelin gövde ve yapraklara geçişinin engellendiği belirlenmiştir. 9 ve 30 günlük brokoli bitkisinde, nikelin en çok köklerde depo edildiği ve 10 µM NiSO₄ den itibaren köklerdeki nikel birikiminin oldukça yüksek bir artış gösterdiği görülmüştür. Uygulanan konsantrasyonlarda bitkideki birikim değerlerinin kontrole göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Verilere göre, her bir bitki kısmında konsantrasyona bağlı olarak artan nikel içeriğinin en fazla 100 µM NiSO₄ uygulanan fidelerin köklerinde bulunduğu belirlenmiştir. Birçok araştırmacı, hareketlilikleri farklı olsa da metallerin genellikle köklerde, toprak üstü organlara göre daha fazla biriktirildiğini bildirmişler ve bunun nedenini; kök hücrelerine geçen metallerin merkezi silindire ulaşmasının, bariyer gibi davranan endodermis hücreleri tarafından büyük oranda engellenmesi ve bitkinin diğer kısımlarına taşınmasının kısıtlanması [103],[104] şeklinde

açıklamışlardır. Lavado ve diğ. [57] tarafından *Zea mays*, *Glycine max* ve *Triticum* bitkilerindeki metal konsantrasyonları ve dağılımlarını inceledikleri bir çalışmanın sonuçlarına göre, bitkilerin değişik organlarında farklı metalleri biriktirebilme eğiliminin olduğu bildirilerek nikelin en çok birikim gösterdiği bitki organının kökler olduğu belirlenmiştir.

Nikel en az birkaç hayvan türü, mikroorganizmalar ve bitkiler için gerekli temel besin elementidir ve bu nedenle çok az ya da çok fazla nikel alındığında sırasıyla eksiklik ya da toksisite belirtileri meydana gelmektedir. Nikelin hücrel etkilerinin belirlenmesine rağmen, insanlardaki eksikliği durumu henüz tanımlanmamıştır [105], [106]. Yapılan bazı çalışmalar, nikel alımının son derece değişken olduğunu ancak bu metalin günlük alımının birçok ülkede 100-300 µg/gün gıda aralıklarında belirlendiğini göstermektedir [107], [108]. Dünya Sağlık Örgütü (W.H.O.)’de nikelin günlük alım miktarını 100-300 µg arasında önermektedir [109]. Bu nedenle son yıllarda oldukça güncel ve ticari değere sahip olan brokoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) gibi sıkça tüketilen bitkilerin ne miktarda ağır metal biriktirdiğinin bilinmesi faydalı olacaktır. Nikelin brokoli bitkisinin gövde ve yaprak gibi toprak üstü organlarından çok özellikle köklerinde birikim gösteriyor olması da bitkinin güvenli bir şekilde tüketilmesi yönünde umut vericidir. Sonuç olarak, bitkiler için temel bitki besin elementi olarak kabul edilen, bununla birlikte çok küçük miktarlarda bile toksik etki gösteren nikelin artan konsantrasyonlarının brokoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) bitkisinin tohum çimlenmesi ve büyüme-gelişme süreçleri üzerine olan etkileri ile ilgili bulgular incelendiğinde, düşük konsantrasyonlarda (0.01, 0.1 ve 1 µM NiSO₄) bitki gelişiminin olumlu şekilde etkilendiği, yüksek nikel konsantrasyonlarının ise (10 ve 100 µM NiSO₄) toksik etkilere neden olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2265).

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Marschner, “*Mineral Nutrition of Higher Plants*,” 2nd ed., Academic Press, London, 1995, pp. 889,
- [2] K. Mengel, E. A. Kirkby, H. Kosegarten, T. Appel, “*Principles of Plant Nutrition*,” Dordrecht: Kluwer Academic, 2001.
- [3] P. J. White and P. H. Brown, “Plant Nutrition for Sustainable Development and Global Health,” *Ann. of Bot.*, vol. 105, no. 7, pp. 1073-1080, 2010.
- [4] D. L. Eskew, R. M. Welch and W. A. Norvell, “Nickel, an Essential Micronutrient for Legumes and Possibly All Higher Plants,” *Science*, vol. 222, pp. 621-623, 1983.
- [5] P. H. Brown, R. M. Welch and E. E. Cary, “Nickel a Micronutrient Essential for All Higher Plants,” *Plant Physiology*, vol. 85, pp. 801-803, 1987.
- [6] A. Banerjee and A. Roychoudhury, “Plant Responses to Environmental Nickel Toxicity,” *In: Aftab T., Hakeem K.R. (eds) Plant Micronutrients*, Springer, Cham., 2020.
- [7] D. L. Eskew, R. M. Welch and W. A. Norvell, “Nickel in Higher Plants: Further Evidence for an Essential Role,” *Plant Physiol.*, vol. 76, pp. 671-693, 1984.
- [8] J. Molas, “Changes in Morphological and Anatomical Structure of Cabbage (*Brassica oleracea* L.) Outer Leaves and in Ultrastructure of Their Chloroplasts Caused by an in vitro Excess of Nickel,” *Photosynthetica*, vol. 34, no. 4, pp. 513-522, 1997.
- [9] P. Zornoza, S. Robles and N. Martin, “Alleviation of Nickel Toxicity by Ammonium Supply to Sunflower Plants,” *Plant and Soil*, vol. 208, pp. 221-226, 1999.

- [10] P. H. Brown, R. M. Welch and J. Madison, "Effect of Nickel Deficiency on Soluble Anion, Amino Acid and Nitrogen Levels in Barley," *Plant and Soil*, vol. 125, pp. 19-27, 1990.
- [11] T. Pandolfini, R. Gabbrielli and C. Comparini, "Nickel Toxicity and Peroxidase Activity in Seedlings of *Triticum aestivum* L.," *Plant Cell and Environment*, vol. 15, pp. 719-725, 1992.
- [12] E. Gajewska and M. Sklodowska, "Antioxidative Responses and Proline Level in Leaves and Roots of Pea Plants Subjected to Nickel Stress," *Acta Physiologia Plantarum*, vol. 27, no. 3, pp. 329-339, 2005.
- [13] A. M. Mayer and A. Mayber, "*The Germination of Seeds*," 3rd edition, Pergamon Pres Ltd., U.K., 1982.
- [14] H. Thomas, D. P. Webb and P. F. Wareing, "Seed Dormancy in Acer: Maturation in Relation to Dormancy in *Acer pseudoplatanus* L.," *Journal of Experimental Botany*, vol. 24, pp. 958-967, 1973.
- [15] W. E. Finch-Savage and G. Leubner-Metzger, "Seed Dormancy and the Control of Germination," *New Phytologist*, vol. 171, pp. 501-523, 2006.
- [16] M. T. Mooring, A. W. Cooper and E. D. Senaca, "Seed Germination Response and Evidence for Height Ecophenes in *Spartina alterniflora* from North Carolina," *American Journal of Botany*, vol. 58, pp. 48-55, 1971.
- [17] J. D. Bewley and M. Black, "*Seeds: Physiology of Development and Germination*," 2nd edition, Plenum Pres, New York, 1994.
- [18] B. Veer, "Effect of Phasic Treatment of Ni on Seedling Growth and Activities of Certain Hydrolytic Enzymes of Seeds," *J. Ind. Bot. Soc.*, vol. 5, pp. 351-354, 1988.
- [19] E. J. Underwood, "*Trace Elements in Human and Animal Nutrition*," 3rd Edn., Academic Press, New York, pp. 461-479, 1971.
- [20] D. Bertrand and A. De Wolf, "*Importance in Nickel, Comme Okigoelement Pour les Rhizobium des Nodules Legumineuses*," C.R. Hend. Acad. Sci., Paris, vol. 79, pp. 1855-1858, 1973.
- [21] S. N. Singh, "Effects of Nickel on Germination, Growth, Total Nitrogen and Phosphate Levels of *Cicer arietinum* L. Seedlings," *Trop. Ecol.*, vol. 25, pp. 90-94, 1984.
- [22] W. P. Bushnell, "Delay of Senescence in Wheat Leaves by Cytokinins, Nickel and other substances," *Can. J. Bot.*, vol. 44, pp. 1485-1493, 1966.
- [23] R. M. Welch, "The Biological Significance of Nickel," *J. Plant Nutr.*, no. 3, pp. 345-356, 1981.
- [24] P. Pelosi, R. Fiorentini and C. Galoppini, "On the Nature of Nickel Compounds in *Alyssum bertolonii* desv-II," *Agric. Biol. Chem.*, vol. 40, pp. 1641-1642, 1976.
- [25] J. Gerendás, J. Polacco, S.K. Freyermuth and B. Sattelmacher, "Significance of Nickel for Plant Growth and Metabolism," *Z. Pflanzenernaehr Bodenkd*, vol. 162, pp. 241-256, 1999.
- [26] A. J. Bloom, "Mineral Nutrition," In: *Plant Physiology*, Taiz, L. and E. Zeiger (Eds.), Sinauer Associates, Sunderland, MA, pp. 67-86, 2002.
- [27] J. C. Polacco, "Is Nickel a Universal Component of Plant Urease?," *Plant Sci. Lett.*, vol. 10, pp. 249-255, 1977.

- [28] J. E. Dixon, C. Gazzola, R. B. Blakely and B. Zerner, "Jack-bean Urease (EC 3.5.1.5.3). A Metalloenzyme, A Simple Biological Role for Nickel," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 97, pp. 4131-4133, 1975.
- [29] C. Tsui, "Effect of Seed Treatment with Micro-elements on the Germination and Early Growth of Wheat," *Scientia Sinica*, no. 4, pp. 129-135, 1955.
- [30] I. Pais, A. Somos, L. Duda, F. Tarjanyi and F. Nagymihaly, "Trace Elements Experiments with Tomato and Paprika," *I. Kiserletugyi Kozlem*, vol. 62, pp. 25-40, 1970.
- [31] F. A. Bazzaz, R. B. Carlson and G. L. Rolfe, "The Effect of Heavy Metals on Plants, I Inhibition of Gas Exchange in Sunflower by Pb, Cd, Ni and Ti," *Environ. Pollut.*, no. 7, pp. 241-246, 1974.
- [32] W. R. Gordon, S. S. Schwemmer and W. S. Hillman, "Nickel and the Metabolism of Urea by *Lemma paucicostata* Hegelm. 6746," *Planta*, vol. 140, pp. 265-268, 1978.
- [33] D. R. Hoagland and D. I. Arnon, "The Water-culture Method for Growing Plants without Soil," *Univ. Calif. Coll., Agric. Exp. Sta. Circ.*, vol. 347, pp. 1-32, 1938.
- [34] Y. Okatan, G. M. Kahanak and L. D. Nooden, "Characterization and Kinetics of Soybean Maturation and Monocarpic Senescence," *Physiol. Plant.*, vol. 52, pp. 330-338, 1981.
- [35] T. R. Parsons and J. D. H. Strickland, "Discussion of Spectrophotometric Determination of Marine Pigments, with Revised Equations for Ascertaining Chlorophylls and Carotenoids," *J Mar. Res.*, vol. 21, pp. 115-163, 1963.
- [36] M. M. Bradford, "A Rapid and Sensitive Method for the Quantization of Microgram Quantities of Protein Utilising the Principle of Protein-dye Binding," *Anal. Biochem.*, vol. 72, pp. 248-254, 1976.
- [37] H. Birecka, K. A. Briber and J. L. Catalfamo, "Comparative Studies on Tobacco Pit and Sweet Potato Root Isoperoxidases in Relation to Injury, Indolaceticacid and Ethylene Effects," *Plant Physiol.*, vol. 52, pp. 43-49, 1973.
- [38] R. L. Heath and L. Packer, "Photoperoxidation in Isolated Chloroplast. I. Kinetics and Stoichiometry of Fatty Acid Peroxidation," *Arch. Biochem. Biophys.*, vol. 125, pp. 189-198, 1968.
- [39] EPA, "Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils. Method 3051, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods," 3rd ed: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response. U.S. Government Printing Office: Washington DC, 1986; SW., pp. 846, 1994.
- [40] Ö. Munzuroğlu and H. Geçkil, "Effects of Metals on Seed Germination, Root Elongation and Coleoptile and Hypocotyl Growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*," *Environ. Cont. and Toxi.*, vol. 43, pp. 203-213, 2002.
- [41] S. Akıncı and İ.E. Akıncı, "Nikelin Ispanakta (*Spinacia oleracea*) Çimlenme ve Bazı Fide Büyüme Parametreleri Üzerine Etkisi," *Ekoloji*, c. 20, s. 79, ss. 69-76, 2011.
- [42] W. Li, M. A. Khan, S. Yamaguchi and Y. Kamiya, "Effects of Heavy Metals on Seed Germination and Early Seedling Growth of *Arabidopsis thaliana*," *Plant Growth Regulation*, vol. 46, pp. 45-50, 2005.

- [43] I. V. Seregin, and A. D. Kozhevnikova, "Distribution of Cadmium, Lead, Nickel, and Strontium in Imbibing Maize Caryopses," *Russian Journal of Plant Physiol.*, vol. 52, no. 4, pp. 565-569, 2005.
- [44] L. Espen, L. Pirovano, S.M. Cocucci, "Effect of Ni During the Early Phases of Radish (*Raphanus sativus*) Seed Germination," *Environmental and Experimental Botany*, vol. 38, pp. 187-197, 1997.
- [45] P. Sharma, R. Bhardwaj, N. Arora, H. K. Arora and A. Kumar, "Effects of 28-homobrassinolide on Nickel Uptake, Protein Content and Antioxidative Defence System in *Brassica juncea*," *Biol Plant.*, vol. 52, pp. 767-770, 2008.
- [46] S. Citterio, A. Santagostino, P. Fumagalli, N. Prato, P. Ranalli and S. Sgorbati, "Heavy Metal Tolerance and Accumulation of Cd, Cr, and Ni by *Cannabis sativa* L.," *Plant and Soil*, vol. 256, pp. 243-252, 2003.
- [47] C. D. Jadia and M. H. Fulekar, "Phytoremediation: The Application of Vermicompost to Remove Zinc, Cadmium, Copper, Nickel and Lead by Sunflower Plant," *Environ. Engineering and Management Journal*, vol. 7, no. 5, 547-558, 2008.
- [48] P. K. Das, M. Kar and D. Mishra, "Nickel Nutrition of Plants: Effect of Nickel on Some Oxidase Activities during Rice (*Oryza sativa* L.) Seed Germination," *Z. Pflanzenphysiol.*, vol. 90, pp. 225-233, 1978.
- [49] J. R. Peralta, J. L. Gardea Torresdey, K. J. Tiemann, E. Gomez, S. Arteaga, E. Rascon and J. G. Parsons, "Uptake and Effects of Five Heavy Metals on Seed Germination and Plant Growth in Alfalfa (*Medicago sativa*) L.," *Bull. of Environmental Cont. and Toxic.*, vol. 66, no. 6, pp. 727-734, 2001.
- [50] M. S. A. Ahmad, M. Ashraf, R. Ahmed and M. Y. Ashraf, "Effect of Nickel on Seed Germinability of Some Elite Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Cultivars," *Pak. J. Bot.*, vol. 41, pp. 1871-1882, 2009.
- [51] G. R. Rout, S. Samantary and P. Das, "Effects of Chromium and Nickel on Germination and Growth in Tolerant and Non-Tolerant Populations of *Echinochloa colona*," *Chemosphere*, vol. 40, pp. 855-859, 2000.
- [52] F. Kırbağ-Zengin and Ö. Munzuroğlu, "Effects of Lead and Copper on the Growth of Root, Shoot and Leaf of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Seedlings," *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 17, no. 3, pp. 1-10, 2004.
- [53] P. C. Lolkema, M. H. Donker, A. J. Schouten and W. H. O. Ernst, "The Possible Role of Metallothioneins in Copper Tolerance of *Silene cucubalus*," *Planta*, vol. 162, pp. 174-179, 1984.
- [54] J. C. Fernandes and F. S. Henriques, "Biochemical, Physiological and Structural Effect of Excess Copper in Plants," *The Bot. Rev.*, vol. 57, pp. 246-273, 1991.
- [55] C. Gonnelli, F. Galardi and R. Gabbrielli, "Nikel and Copper Tolerance and Toxicity in Three Tuscan Populations of *Silene paradoxa*," *Physiologia Plantarum*, vol. 113, pp. 507-514, 2001.
- [56] I. V. Seregin, A. D. Kozhevnikova, E. M. Kazyumina and V. B. Ivanov, "Nikel Toxicity and Distribution in Maize Roots," *Russian Journal of Plant Physiology*, vol. 50, no. 5, pp. 711-717, 2003.

- [57] S. R. Lavado, A. C. Porcelli and R. Alvarez, "Nutrient and Heavy Metal Concentration and Distribution in Corn, Soybean and Wheat as Affected by Different Tillage Systems in the Argentina Pamps," *Soil and Tillage Research*, vol. 62, pp. 55-60, 2001.
- [58] X. Yang, V. C. Baligar, D. C. Martens and R. B. Clark, "Plant Tolerance to Nickel Toxicity: II. Nickel Effects on Influx and Transport of Mineral Nutrients in Four Plant Species," *J. Plant Nutr.*, vol. 19, pp. 265-279, 1996.
- [59] B. U. Z. Rahmatullah, M. Salim and K. Hussin, "Influences of Ni Supply on Tomato Growth and N Uptake," *International Journal of Agriculture and Biology*, vol. 3, no. 2, pp. 320-323, 2001.
- [60] H. Kupper, E. Lombi, F. J. Zhao, G. Wieshammer and S. P. Mcgrath, "Cellular Compartmentation of Nickel in the Hyperaccumulators *Alyssum lesbiacum*, *Alyssum bertolonii* and *Thlaspi goesingense*," *J. Exp. Bot.*, vol. 52, pp. 2291-2300, 2001.
- [61] S. Clemens, M. G. Palmgren and U. Kramer, "A Long Way a Head: Understanding and Engineering Plant Metal Accumulation," *Trends Plant Sci.*, vol. 7, pp. 309, 2002.
- [62] E. Gajewska, M. Skłodowska, M. Słaba and J. Mazur, "Effect of Nickel on Antioxidative Enzyme Activities, Proline and Chlorophyll Contents in Wheat Shoots," *Biol. Plant.*, vol. 50, pp. 653-659, 2006.
- [63] C. M. Luna, C. A. Gonzalez and V. S. Trippi, "Oxidative Damage Caused by Excess of Copper in Oat Leaves," *Plant Cell Physiol.*, vol. 35, pp. 11-15, 1994.
- [64] A. Cuypers, K. M. Koistinen, H. Kokko, S. Kärenlampi, S. Auriola and J. Vangronsveld, "Analysis of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Proteins Affected by Copper Stress," *Journal of Plant Physiology*, vol. 162, pp. 383-392, 2005.
- [65] R. Athar and M. Ahmad, "Heavy Metal Toxicity: Effect on Plant Growth and Metal Uptake by Wheat, and on Free Living Azotobacter," *Water Air Soil Pollut.*, vol. 138, pp. 165-180, 2002.
- [66] H. Rahman, S. Sabreen, S. Alam and S. Kawai, "Effects of Nickel on Growth and Composition of Metal Micronutrients in Barley Plants Grown in Nutrient Solution," *J. Plant Nutr.*, vol. 28, pp. 393-404, 2005.
- [67] P. H. Brown, R. M. Welch, E. E. Cary and R. T. Checkai, "Beneficial Effects of Nickel on Plant Growth," *Journal of Plant Nutrition*, vol. 10, pp. 2125-2135, 1987.
- [68] B. Mocquot, J. Vangronsveld, H. Clijestres and M. Mench, "Copper Toxicity in Young Maize (*Zea mays* L.) Plants: Effects on Growth, Mineral and Chlorophyll Contents and Enzyme Activities," *Plant Soil*, vol. 182, pp. 287-300, 1996.
- [69] P. Vijayarengan and D. Dhanavel, "Effects of Nickel on Chlorophyll Content of Black Gram Cultivars," *Adv. Plant Sci.*, vol. 18, pp. 253, 2005.
- [70] D. Mishra and M. Kar, "Nickel in Plant Growth and Metabolism," *Bot. Rev.*, vol. 40, pp. 395-452, 1974.
- [71] E. A. Ewais, "Effects of Cadmium, Nickel and Lead on Growth, Chlorophyll Content and Proteins of Weeds," *Biol. Plant.*, vol. 39, pp. 403-410, 1997.
- [72] S. Monni, C. Uhlig, E. Hansen and E. Magel, "Ecophysiological Responses of *Empetrum nigrum* to Heavy Metal Pollution," *Environ. Pollut.*, vol. 112, pp. 121-129, 2001.

- [73] H. Helmy-Latif, "The Influence of Nickel Sulphate on Some Physiological Aspects of Two Cultivares of *Raphanus sativus* L. Arch.," *Biol. Sci. Belgrade*, vol. 62, no. 3, pp. 683-691, 2010.
- [74] D. D. K. Prasad and A. R. K. Prasad, "Effect of Lead and Mercury on Chlorophyll Synthesis in Mung Bean Seedlings," *Phytochemistry*, vol. 26, pp. 881, 1987.
- [75] M. Rizwan, M. G. Mostofa, M. Z. Ahmad, Y. Zhou, M. Adeel, S. Mehmood, M. A. Ahmad, R. Javed, M. Imtiaz and O. Aziz, "Hydrogen Sulfide Enhances Rice Tolerance to Nickel through the Prevention of Chloroplast Damage and the Improvement of Nitrogen Metabolism under Excessive Nickel," *Plant Physiol. Biochem.*, vol. 138, pp. 100-111, 2019.
- [76] A. J. M. Baker, "Accumulators and Excluders, Strategies in the Response of Plants to Heavy Metals," *Journal of Plant Nutr.*, no. 3, pp. 643-654, 1981.
- [77] W. Maksymiec, R. Russa, T. Urbanik-Sypniewska and T. Baszynski, "Effect of Excess Cu on the Photosynthetic Apparatus of Runner Bean Leaves Treated at Two Different Growth Stages," *Physiologia Plantarum*, vol. 91, pp. 715-721, 1994.
- [78] M. Ciscato, R. Valcke, K. Van Loven, H. Clijsters and F. Navari-Izzo, "Effects of in Vivo Copper Treatment on the Photosynthetic Apparatus of Two *Triticum durum* Cultivars with Different Stress Sensitivity," *Physiol. Plant.*, vol. 100, pp. 901-908, 1997.
- [79] A. K. Tripathi, T. Sadhna and S. Tripathi, "Changes in Some Physiological and Biochemical Characters in *Albizia lebbek* as Bio-indicators of Heavy Metal Toxicity," *J. Environ Biol.*, vol. 20, pp. 93-98, 1999.
- [80] V. K. Kashin, "Physiological Role of Nickel in Living Organisms," *Mikroelem. Sib.*, no. 6, pp. 78-87, 1968.
- [81] V. G. Lapa, G. M. Prilutskii, M. Z. Skuratovskaya and N. K. Tribel, "Effect of Trace Elements Copper, Zinc, Nickel and Cobalt on Biosynthesis in Potatoes and Harvest Qualities of Tubers," *Nauch. Tr. Zhitomir. Sel'skokhoz. Inst.*, vol. 16, pp. 120-123, 1969.
- [82] G. E. Bartley and P. A. Scolnik, "Plant Carotenoids: Pigments for Photoprotection, Visual Attraction and Human Health," *The Plant Cell*, no. 7, pp. 1027-1038, 1995.
- [83] D. Mishra and B. Samal, "Interaction of Benzimidazole and Nickel in Delaying the Senescence of Detached Rice Leaves," *Z. Naturforsch.*, vol. 26, pp. 1377-1380, 1971.
- [84] J. M. Palma, L. M. Sandalino, F. J. Corpas, M. C. Romero-Puertas, I. McCarthy and L. A. Del Rio, "Plant Proteases, Protein Degradation and Oxidative Stress: Role of Peroxisomes," *Plant Physiol. Biochem.*, vol. 40, pp. 521-530, 2002.
- [85] S. Sagner, R. Kneer, G. Wanner, J. P. Cosson, B. Deus-Neumann and M. H. Zenk, "Hyperaccumulation, Complexation and Distribution of Nickel in *Sebertia acuminata*," *Phytochemistry*, vol. 47, pp. 339-347, 1998.
- [86] R. R. Brooks, S. Shaw and A. A. Marfil, "The Chemical Form and Physiological Function of Nickel in Some Iberian *Alyssum* species," *Physiol. Plant.*, vol. 51, pp. 167-170, 1981.
- [87] S. Hayat, B. Ali, H. S. Aiman and A. Ahmad, "Brassinosteroids enhanced antioxidants under cadmium stress in *Brassica juncea*," *Environ. Exp. Bot.*, vol. 60, pp. 33-41, 2007.
- [88] D. A. Priestley, "Seed Aging," Cornell University Press, London, 1986.

- [89] T. Gaspar, C. Penel, D. Hagege and H. Greppin, "Peroxidases in Plant Growth, Differentiation, and Development Processes," In: Łobarzewski, J., Greppin, H., Penel, C., Gaspar, T. (ed.), *Biochemical, Molecular and Physiological Aspects of Plant Peroxidases*, University M. Curie-Skłodowska, Lublin, 1991, pp. 249-280.
- [90] A. Riquelme and L. Cardemil, "Peroxidases in the Cell Walls of Seed, Seedlings of *Araucaria araucana*," *Phytochemistry*, vol. 32, pp. 15-20, 1993.
- [91] R. J. Bruce and C. A. West, "Elicitation of Lignin Biosynthesis, Isoperoxidase Activity by Pectic Fragments in Suspension Culture of Castor Bean," *Plant Physiol.*, vol. 91, pp. 889-897, 1989.
- [92] D. F. Cippolini, Jr., "The Induction of Soluble Peroxidase Activity in Bean Leaves by Wind-Induced Mechanical Perturbation," *American Journal of Botany*, vol. 85, pp. 1586-1591, 1998.
- [93] J. Diaz, A. Bernal, F. Pomar and F. Merino, "Induction of Shikimate Dehydrogenase and Peroxidase in Pepper (*Capsicum annuum* L.) Seedlings in Response to Copper Stress and its Relation to Lignification," *Plant Sci.*, vol. 161, pp. 179-188, 2001.
- [94] R. K. Tewari, P. Kumar, P. N. Sharma and S. S. Bisht, "Modulation of oxidative stress responsive enzymes by excess cobalt," *Plant Sci.*, vol. 162, pp. 381-388, 2002.
- [95] R. Gabbrielli, T. Pandolfini, L. Espen and M. R. Palandri, "Growth, Peroxidase Activity and Cytological Modifications in *Pisum sativum* Seedlings Exposed to Ni²⁺ Toxicity," *J. Plant Physiol.*, vol. 155, pp. 639-645, 1999.
- [96] Y. Ekmekçi and S. Terzioğlu, "Effects of Oxidative Stress Induced by Paraquat on Wild Cultivated Wheats," *Pesticide Biochemistry Physiology*, vol. 83, pp. 69-81, 2005.
- [97] C. A. Placer, L. L. Cushman and B. C. Johnson, "Estimation of Product of Lipid Peroxidation (Malondy Dialdehyde) in Biochemical Systems," *Anal. Biochem.*, vol. 16, pp. 259-264, 1990.
- [98] U. Mercan, "Toksikolojide Serbest Radikallerin Önemi," *YYU Vet. Fak. Derg.*, c. 15, s. 2, ss. 91-96, 2004.
- [99] J. E. J. Weckx and H. M. M. Clijsters, "Zn Phytotoxicity Induces Oxidative Stress in Primary Leaves of *Phaseolus vulgaris*," *Plant Physiol. Biochem.*, vol. 35, no. 5, pp. 405-410, 1997.
- [100] N. Candan and L. Tarhan, "Changes in Chlorophyll-carotenoid Contents, Antioxidant Enzyme Activities and Lipid Peroxidation Levels in Zn-stressed *Mentha pulegium*," *Turk J. Chem.*, vol. 27, pp. 21-30, 2003.
- [101] K. V. Madhava Rao and T. V. Sresty, "Antioxidative Parameters in the Seedlings of Pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millspaugh) in Response to Zn and Ni Stresses," *Plant Sci.*, vol. 157, pp. 113-128, 2000.
- [102] I. Nouairi, W. B. Ammar, N. B. Youssef, D. D. B. Miled, M. H. Ghorbal and M. Zarrouk, "Antioxidant Defense System in Leaves of Indian Mustard (*Brassica juncea*), Rape (*Brassica napus*) under Cadmium Stress," *Acta Physiol Plant*, vol. 31, pp. 237-247, 2009.
- [103] M. Tester and R. A. Leigh, "Partitioning of Nutrient Transport Processes in Roots," *J. Exp. Bot.*, vol. 52, pp. 445-457, 2001.
- [104] S. Verma and R. S. Dubey, "Lead Toxicity Induces Lipid Peroxidation and Alters the Activities of Antioxidant Enzymes in Growing Rice Plants," *Plant Sci.*, vol. 164, pp. 645-655, 2003.


- [105] E. O. Uthus and R. A. Poellot, "Dietary Folate Affects the Response of Rats to Nickel Deprivation," *Biol. Trace Elem. Res.*, vol. 52, pp. 23, 1996.
- [106] D. G. Barceloux, "Nickel," *Clin. Toxicol.*, vol. 37, pp. 239, 1999.
- [107] G. D. Clayton and F. E. Clayton, "*Patty's Industrial Hygiene Toxicology*," 4th ed.; A Wiley-Interscience Publication: New York, pp. 2157-2173, 1994.
- [108] P. H. Collery, A. J. Corbell, J. L. Domingo, J. C. Etienne and J. Uobet, "Metal Ions in Biology and Medicine", *John Libbey Eurotext: Paris*, vol 4, pp. 172-174, 1996.
- [109] W. H. O., World Health Organization, "*Quality directive of potable water*," WHO 2nd ed., pp. 197, 1994.
- [110] A. M. Einhardt, S. Ferreira¹, G. M. F. Souza, A. C. R. Mochko and F. A. Rodrigues, "Cellular Oxidative Damage and Impairment on the Photosynthetic Apparatus Caused by Asian Soybean Rust on Soybeans are Alleviated by Nickel," *Acta Physiologiae Plantarum*, vol. 42, pp. 115, 2020.
- [111] M. Amjad, N. Ameen, B. Murtaza, M. Imran, M. Shahid, G. Abbas, M.A. Naeem and S. E. Jacobsen, "Comparative Physiological and Biochemical Evaluation of Salt and Nickel Tolerance Mechanisms in Two Contrasting Tomato Genotypes," *Physiol. Plant.*, vol. 168, pp. 27-37, 2020.
- [112] H. R. Boostani, M. Najaf-Ghiri and A. Mirsoleimani, "The Effect of Biochars Application on Reducing the Toxic Effects of Nickel and Growth Indices of Spinach (*Spinacia oleracea* L.) in a Calcareous Soil," *Environ Sci Pollut Res.*, vol. 26, no. 2, pp. 1751-1760, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

ZnO-TiO₂ Hetero Nanoyapılarının Sentezi ve Güneş Pilleri için Fotoelektrokimyasal Performansı

 Mustafa BİÇER*

Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

**e-posta adresi: mustafabicer@duzce.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.840584

ÖZET

Bu çalışmada, boya ile duyarlılaştırılmış güneş pili (BDGP) için nanopartiküller (NP), nanoçubuklar (NÇ) ve hiyerarşik dallı nanoçubuklardan (HDNÇ) oluşan ZnO-TiO₂ hetero yapı fotoanotları, indiyum kalay oksit (ITO) substratı üzerinde ZnCl₂, TiCl₄, etanol ve HCl içeren bir çözelti ortamında farklı sıcaklıklarda (100, 150 ve 170 °C) bir adım hidrotermal yöntem tekniği kullanılarak sentezlendi. ZnO-TiO₂ hetero yapı fotoanot ince filmleri karakterize etmek için X-ışını kırınımı (XRD), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Enerji Dağılımlı Spektroskopisi (EDS) ve UV-Vis Spektroskopisi kullanıldı. Fotoelektrokimyasal performans sonuçlarından, ZnO-TiO₂ ince filmlerden oluşan BDGP'lerinin nanopartiküller (% 1,21), nanoçubuklar (% 2,91), ve hiyerarşik dallı nanoçubuklar (% 6,61) üzerinde güç dönüşüm verimine sahip olduğu görülmektedir. Yüksek güç dönüşüm verimi nedeniyle hiyerarşik dallı nanoçubuklar, BDGP'ler için güneş pili performansında önemli bir gelişme olarak dikkate alınabilir.

Anahtar Kelimeler: ZnO-TiO₂ hetero yapı fotoanotları, Nanoçubuklar, H.D. nanoçubuklar, BDGP

Synthesis of ZnO-TiO₂ Hetero Nanostructures and Photoelectrochemical Performance for Solar Cells

ABSTRACT

In this study, ZnO-TiO₂ heterojunction photoanodes consisting of nanoparticles, nanorods, and hierarchical branched nanorods for dye sensitized solar cell (DSSCs) were synthesized using one step hydrothermal method technique on indium tin oxide (ITO) substrate at different temperatures (100, 150 and 180 °C) in a solution containing ZnCl₂, TiCl₄, ethanol and HCl. For ZnO-TiO₂ heterojunction photoanodes, X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS) and UV-Vis absorption spectroscopy were utilized to characterize the thin films. The photoelectrochemical performance results show that the DSSCs composed of ZnO-TiO₂ thin films have the power conversion efficiency on nanoparticles (1.21%), nanorods (2.91%), and hierarchical branched nanorods (6.61%), respectively. Because of the high power conversion efficiency, hierarchical branched nanorods can be taken account of as a considerable development in the solar cell performance for QDSSCs.

Keywords: ZnO-TiO₂ heterojunction photoanodes, Nanorods, Hierarchical branched nanorods, DSSC

I. GİRİŞ

Teknoloji ve insan nüfusu gittikçe artmış olmasından dolayı enerji gereksinimini karşılamak için bu düzenin etkilerine neden olabilecek yöntemler dışındaki metotlar tercih edilmelidir. Güneş enerjisi ile elektrik üretimi, bu beklentiyi karşılayacak güce sahip bir yöntem olarak enerjiyi karşılamada en güçlü adaylardan birisidir. Bu nedenle güneş enerjisinin önemi her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin arttığı günümüzde, silikon güneş pillerine kıyasla ucuz üretim maliyeti ve nispeten yüksek dönüşüm verimi sayesinde, boyaya duyarlı güneş pilleri (BDGP), silikon güneş pillerine alternatif olarak sık sık karşımıza çıkmaktadır [1]. Geniş bant enerji aralığına sahip II – VI grubu yarıiletkenler [2] ile diğer bazı metal oksit yapılar, BDGP'ler, sensörler ve nanojeneratörler gibi potansiyel uygulama alanları nedeniyle ilgi çekmektedir [3]-[5].

BDGP'lerde en yaygın olarak ZnO ve TiO₂ gibi metal oksit yapılar kullanılmaktadır. Mükemmel bir ZnO-TiO₂ fotoelektrodunun, güneş enerjisi dönüşümü ve BDGP kullanımlarını sağlamak için ZnO-TiO₂ fotoanodun üzerine yeterince duyarlılaştırıcı boya yüklemek gereklidir. Bu nedenle fotoanot yüzeyinin, boya tutunmasını sağlayacak şekilde geniş bir yüzey alanına sahip olması gerekir. BDGP'lere bakıldığında enerji veriminin daha iyi bir sonuca ulaşabilmesi için fotoelektrokimyasal performansı, yapısı ve boyut özellikleri bilinmelidir. Söz konusu BDGP performansını artırmak için bazı çalışmalar bulunmaktadır [6], [7]. TiO₂, en eski ve en çok incelenen fotokatalitik malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. TiO₂ nanopartikülleri, yüksek fotokatalitik aktiviteleri, asit-baz direnç özellikleri, fotokimyasal korozyona dirençleri, düşük maliyetleri, toksisiteyi ve diğer avantajları nedeniyle önemli araştırma konusu olmuştur [8]. Diğer yandan ZnO yarıiletken malzemeler geleneksel TiO₂ yarıiletken malzemelerden daha yüksek elektron taşıma kapasitesine sahiptir. Ayrıca ZnO yarıiletken malzemeler elektronik kompoziti daha iyi engelleyebilir ve ekipmanın fotoelektrik özelliklerini iyileştirebilir [9]. Bununla birlikte, geniş bant enerji aralığına sahip ZnO nanomateriyaller tek başına kullanıldığında kimyasal aşınmaya meyil göstermektedir [10]. Dolayısıyla ışık absorpsiyonları ultraviyole dalga boyları ($\lambda < 387$ nm) ile sınırlıdır. Bu nedenle güneş ışığının mevcudiyetini sınırlar. Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için, araştırmacılar ZnO-TiO₂ çekirdek-kabuk heteroyapı kompozitlerinin sentezine odaklanmışlardır. ZnO-TiO₂ çekirdek-kabuk heterojonksiyonu yalnızca ZnO nanomalzemelerin ışık absorpsiyon dalga boyu aralığını genişletmekle kalmaz, aynı zamanda dış ortamın neden olduğu malzeme korozyonunu belirli bir seviyeye kadar önleyebilmektedir [11]. Bu nedenle ZnO-TiO₂ hetero nano yapılarının üretimi ve uygulamasını kapsayan çalışmalar üzerindeki ilgi artmıştır.

BDGP'lerde kullanılmak üzere ZnO veya TiO₂'nin hazırlanması için elektrodepozisyon, termal buharlaşma, kimyasal banyo biriktirme ve hidrotermal yöntemler kullanılmıştır [12]-[15]. Nanoyapılı filmlerin hazırlanmasında hidrotermal yöntem, düşük maliyeti, makul tekrarlanabilirliği ve çevresel faydası nedeniyle diğer tekniklere göre avantajlara sahiptir. İnce filmlerin sentezinde, çeşitli morfolojilere sahip farklı ZnO, TiO₂ ve ZnO-TiO₂ 1 boyutlu (D), 2D ve 3D yapılar yani mikro-nanoyapılar, nanopartiküller, nanoçubuklar, nanoteller, nanotüpler, nanoagregatlar, nanoşetler gibi vb. nanoyapılar elde edilmiştir [12], [16]-[21].

Daha önce yapılan çalışmalarda, hem ZnO hem de TiO₂ nanoyapılarının sentezini gerçekleştirmek için iki aşamalı bir yöntem kullanılmış veya ayrı ayrı sentezleri yapılmıştır [22]-[24]. Bu amaçla, nanopartiküller (NP), nanoçubuklar (NÇ) ve hiyerarşik dallı nanoçubuklar (HDNÇ), boya duyarlı güneş pilleri (BDGP) için bir adım hidrotermal yöntemi kullanılarak hem ZnO hem de TiO₂ bir arada yapılarak sentezi gerçekleştirildi. Elde edilen ZnO-TiO₂ hetero yapı fotoanot ince filmlerinin morfolojik, kristal ve optik özelliklerini incelemek için, taramalı elektron mikroskopisi (SEM), enerji dağılımlı spektroskopisi (EDS), X ışını kırınımı (XRD) ve UV-Vis absorpsiyon spektroskopisi kullanıldı. Daha sonra ürünlerin morfolojik ve yapısal özellikleri incelendi ve tartışıldı. ZnO-TiO₂ hetero yapı fotoelektrotlarının performans özellikleri sistematik olarak fotoakım-voltaj (J – V) temelinde incelendi. ZnO-TiO₂ HDNÇ yapıları fotoanodun BDGP'in fotoelektrokimyasal performans özelliklerinin ZnO-TiO₂ NP ve NÇ yapılarına kıyasla, daha iyi sonuçlar ortaya çıkardığı görüldü.

II. MATERYAL ve METOT

A. MATERYALLER

Kimyasallar Çinko klorür ($ZnCl_2$), Titanyum tetraklorür ($TiCl_4$), Hidroklorik asit (HCl), ve etanol (C_2H_5OH) Merck firmasından temin edildi. Sodyum sülfür nanohidrat ($Na_2S \cdot 9H_2O$) ve indiyum-kalay-oksit (ITO) kaplı cam Sigma-Aldrich'ten tedarik edildi. Çözücü olarak yaklaşık $18,2 \text{ M}\Omega \text{ cm}$ dirençli deiyonize su kullanıldı. Ayrıca hidrotermal sentez reaktörü (50 mL) Alibaba Pvt. Ltd şirketinden temin edildi.

A. 1. ITO Üzerine ZnO-TiO₂ Nanoyapı Filmlerinin Hazırlanması

Şeffaf iletken indiyum kalay oksit (ITO) kaplı cam, etanol ve deiyonize su ile temizlendi. Daha sonra temizlenen ITO substratı oda sıcaklığında kurutuldu. ZnO-TiO₂ nanoyapıları, tek adımlı bir hidrotermal teknik yöntemiyle üretildi. Tipik olarak, ZnO-TiO₂ numuneleri 50 mM $ZnCl_2$, 50 mM $TiCl_4$, 1,0 M etanol ve derişik HCl içeren 30 ml çözelti 100, 150 ve 170 ° C'de 15 saat süreyle hidrotermal işlem için paslanmaz çelik bir kap içinde sentezi yapıldı. Havada oda sıcaklığında kurutulduktan sonra, ürün yeni oluşturulan ZnO-TiO₂ hetero nanoyapılarının kristalliliğini daha iyi elde etmek için 450 ° C'de 1 saat süre ile kalsine edildi.

A. 2. BDGP'lerin Montajı

Elde edilen ZnO-TiO₂ hetero yapı numuneleri, asetonitril / tert-butil alkol ($v/v = 1:1$) çözeltisine, oda sıcaklığında birkaç dakika süreyle 0,3 mM N719 (Ruthenizer 535-bisTBA, Solaronix) boyası içine batırılarak duyarlı hale getirildi. Fazla boyayı çıkarmak için etanol ile temizlendi, durulandı ve havada kurutuldu. Karşit elektrot, bir H_2PtCl_6 çözeltisinin (Platisol T, Solaronix) ITO kaplı cam substrat üzerine yayılmasını sağlayarak daha sonra 450 ° C'de 1 saat boyunca ısıtılmasıyla hazırlandı. Hazırlanan karşit elektrot, bir aralayıcı çerçeve olarak bir polimer folyo ile kapatılmış olan boya ile duyarlılaştırılmış ZnO-TiO₂ hetero yapı fotoelektrodunun üstüne doğrudan konuldu ve daha sonra iki elektrodu bağlamak için 100 °C'de 5 dakika süre ile termal olarak işlem yapıldı. I^- / I_3^- elektrolit çözeltisi sandviç hücreler arasındaki boşluğa enjekte edilerek hücrenin çalışması sağlandı.

B. METOT

Hazırlanan numunelerin yüzey morfolojisini araştırmak için bir Zeiss EVO-LS10 model cihaz kullanılarak SEM ve EDS analizleri yapıldı. Numuneler için XRD spektrum dataları, $CuK\alpha$ radyasyonu ile Philips X'Pert Pro X-ışını kırınım yöntemi cihazı ile kaydedildi. Numunelerin optik özellikleri bir Shimadzu UV-1800 ultraviyole absorpsiyon spektroskopisi (UV-Vis.) kullanılarak incelendi. Bir uygulama olarak, boya duyarlılaştırılmış kuantum noktaları güneş hücreleri nanoyapılı üretilen hetero yapı metal oksit parçacıklarından imal edildi. Hücrelerin J – V eğrileri, Luzchem Photoreactor marka cihaz ile kalibre edilmiş olup AM 1,5 spektrumu kullanılarak 300 watt'lık bir ksenon lambasının ışığı altında Keithley 2400 kaynak ölçer modeli kullanılarak ölçüldü. BDGP'lerin güç dönüşüm verimi (η) ve dolun faktörü (FF) aşağıdaki denklemlerle hesaplandı [25];

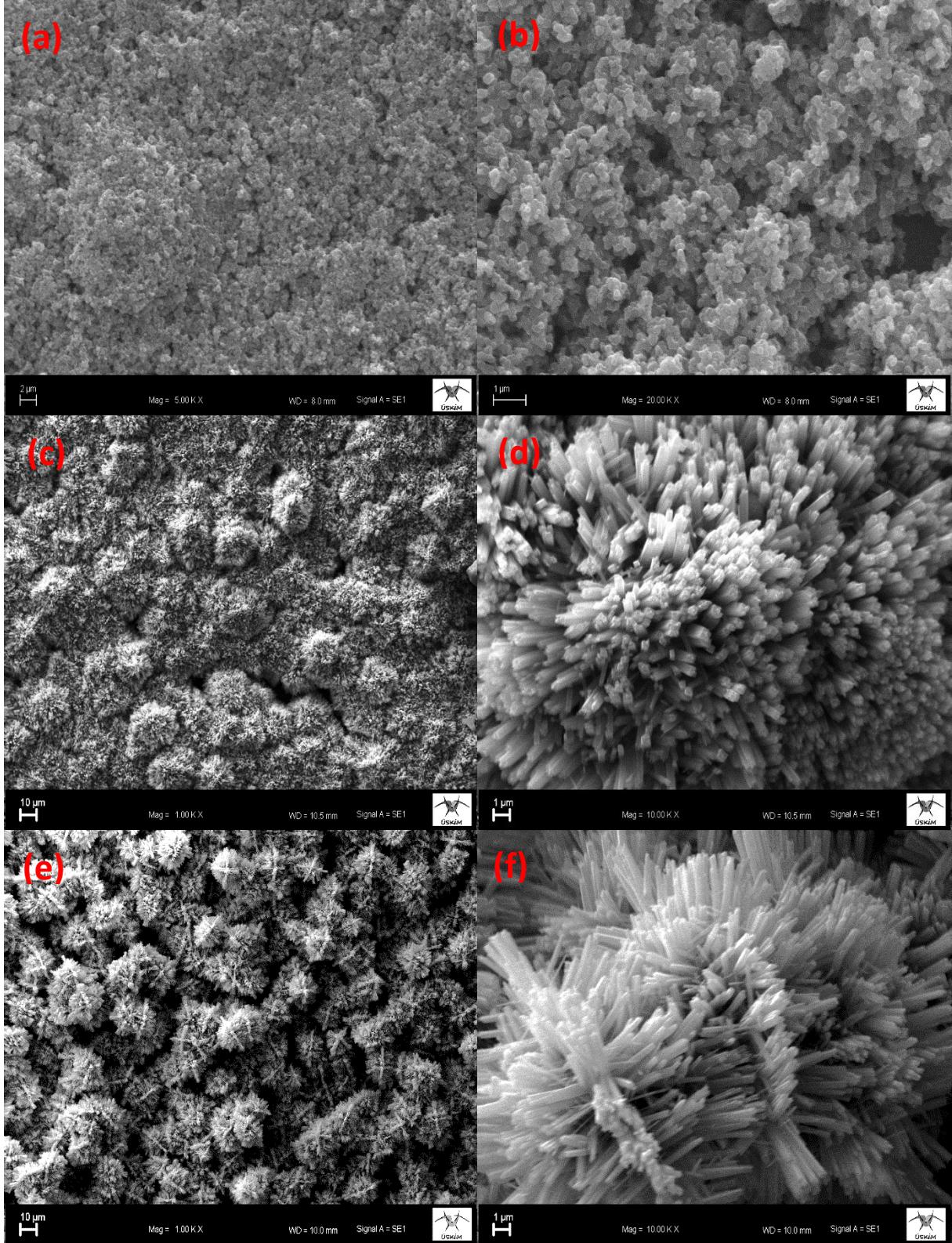
$$FF = \frac{V_{max} \times J_{max}}{V_{oc} \times J_{sc}} \quad (1)$$

$$\eta\% = \frac{V_{max} \times J_{max}}{P_{in}} \times 100 = \frac{V_{oc} \times J_{sc} \times FF}{P_{in}} \times 100 \quad (2)$$

V_{\max} (V) ve J_{\max} (mA cm^{-2}), $J - V$ ölçümündeki maksimum güç çıkışı noktasında voltaj ve akım yoğunluğunu vermektedir. V_{oc} açık devre voltajı (V), J_{sc} kısa devre akım yoğunluğu (mA cm^{-2}) ve P_{in} gelen ışık yoğunluğunu (mW cm^{-2}) ifade etmektedir.

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

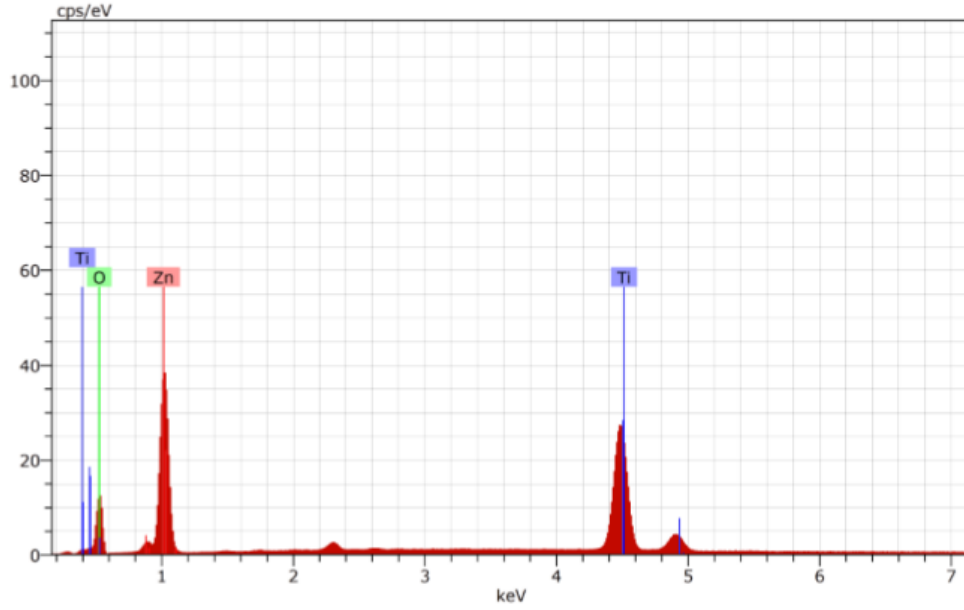
ITO substratları üzerine biriken ZnO-TiO₂ hetero nanopartiküller (NP), nanoçubuklar (NÇ) ve hiyerarşik dallı nanoçubuklarına (HDNÇ) karşılık gelen ince filmlerin morfolojik yapıları farklı sıcaklıklarda elde edildi. Bunun için sırasıyla 100 °C'de NP'ler, 150 °C'de NÇ'lar ve 170 °C'de HDNÇ'ların sentezi gerçekleştirildi. Elde edilen ZnO-TiO₂ hetero yapı ince filmlerinin SEM görüntüleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekil 1 (a) ve (b), ZnO-TiO₂ hetero NP'lerinin ITO'da homojen bir şekilde büyüdüğünü ve farklı büyütme oranlarında alınan SEM şekillerini göstermektedir. ZnO-TiO₂ hetero NP'lerinin yüzeyi pürüzsüzdür. ZnO-TiO₂ hetero nanoparçacıklarının çapı yaklaşık 100-200 nm arasında değişmektedir. Farklı büyütme oranlarında alınan SEM görüntülerinden ZnO-TiO₂ hetero NÇ'larının ITO üzerinde dikey olarak büyüdüğü görülmektedir. Şekle baktığımızda düzenli bir formatta dizildiği anlaşılmaktadır. Oluşan nanoçubuklar yaklaşık 6 µm uzunluğunda ve 150-250 nm çapında olup substrat yüzeyinde dik olarak ve homojen bir şekilde dağılım göstermiştir (Şekil 1 c, d). Dahası Şekil 1 (e) ve (f)'de, nispeten sıcaklığı biraz daha arttırdığımızda (170 °C), ITO substratı üzerindeki tipik boyut ve morfolojik özellik bakımından ZnO-TiO₂ hetero HDNÇ dizelerinin iyi hizalanmış bir görünümünü göstermektedir. SEM görüntülerine bakıldığında, ana çubuğa bağlı nanoçubuklardan meydana geldiği görülmektedir. Şekilde belirgin bir sarkan merkezi sütun bulunmaktadır. Bu merkezi sütuna düzenli ve dikey olarak uzanan yüksek sıralı katmanlı nanoçubuklardan oluşmaktadır. Söz konusu bu morfolojik yapı açık ve düzgün bir şekilde dizilmektedir. Bu nedenle oluşan görüntü çayır diken çiçeğinin yapısını anımsatmaktadır. ZnO-TiO₂ hetero HDNÇ dizelerinin her bir sütunu, yaklaşık 200-300 nm çapında ve 6 µm uzunluğundaki NÇ'lerden oluşmaktadır. Bu yapı tek bir bölgeden değil, üç veya daha fazla bölgeden bağlanarak dallanmış yapıyı oluşturur. Böylece oluşan görüntü olarak 14-15 µm genişliğinde çayır diken çiçeğinin yapısı, belirgin bir şekilde elde edildiği görülmektedir. SEM görüntülerinin çok pürüzsüzdür ve bu yapı hızlı elektron taşımak için gerekli yüzey alanına sahiptir. Bu nedenle enerji aktarımında uygun bir yol olduğundan, sergilenmede daha iyi bir örnek teşkil etmektedir. Pürüzsüz yüzey ve iç yüzey alanına sahip özellikler dikkatli bir şekilde incelenmektedir. Güneş pillerinde fotoelektrot olarak kullanıldığında hassasiyetini arttırmaktadır. Bu nedenle foto-akım yoğunluğunun artmasına neden olur. Gösterilen farklı büyütme görüntüleri, homojen olarak elde edilen ZnO-TiO₂ hetero NP'ler, NÇ'lar, ve HDNÇ'ların olağanüstü üretimini gösterir. Dahası farklı sıcaklıklarda ve tek bir basamakta elde edilen morfolojik karakter özellikleri, yüksek verimli ve iyi bir homojenlik sunmaktadır. Ayrıntılı olarak morfolojik ve yapısal araştırmalara bakıldığında, sıcaklığın etkisi ince filmlerin büyümesinde önemli bir rol teşkil etmektedir.



Şekil 1. (a, b) 100 ° C, (c, d) 150 ° C ve (e, f) 170 ° C 'de elde edilen ZnO-TiO₂ hetero NP'ler, NÇ'lar ve HDNÇ'ların SEM görüntüleri

EDS analizi, ZnO-TiO₂ hetero ince filmlerinin element oranını belirlemek için yapıldı. ZnO-TiO₂ hetero HDNÇ'ların EDS spektrumu Şekil 2 'de verilmektedir. Çinko, titanyum ve oksijenin temel sinyalleri ZnO ve TiO₂ yapısına atfedilmiş olup, her spektrum piki, ZnO-TiO₂ hetero nanoyapısında meydana gelen Zn elementi, Ti elementi ve O elementinin varlığını göstermektedir. EDS analiz

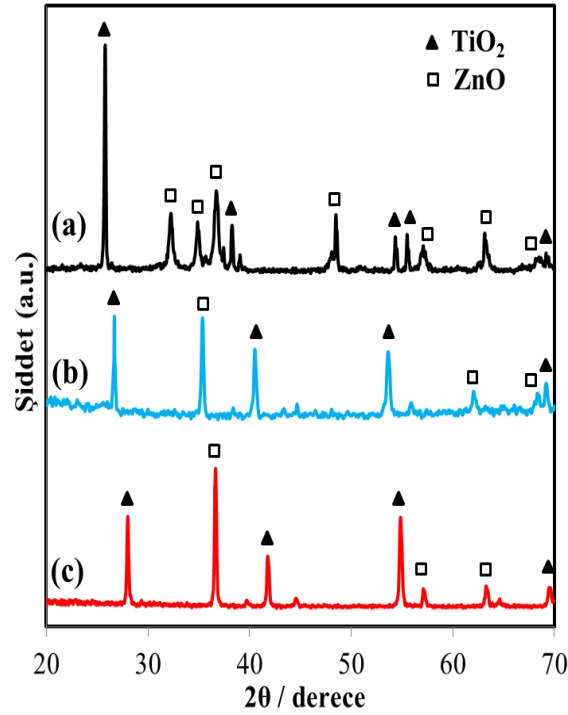
sonuçları ZnO ve TiO₂ yapısının, ZnO-TiO₂ hetero nanoyapısı formuna dönüştüğünü göstermektedir. Bununla birlikte XRD spektrum dataları da, ZnO-TiO₂ hetero nanoyapısının kristal özellikleri ile kıyaslandığında, bu hetero nanoyapılarının oluşumunu teyit etmektedir.



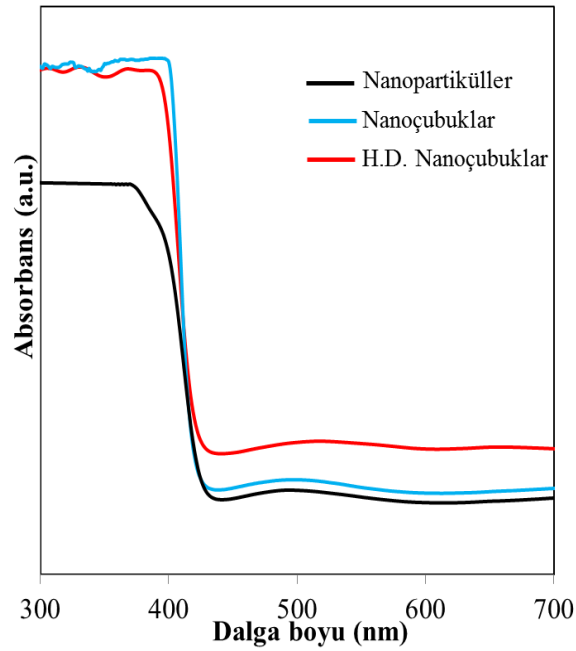
Şekil 2. 170 ° C'de depozit edilen ZnO-TiO₂ hetero yapı HDNÇ'lerin EDS spektrumu

ITO substratları üzerine biriken ZnO-TiO₂ hetero NP'ler, NÇ'lar ve HDNÇ'larına karşılık gelen ince filmlerin kristal yapıları XRD spektrumu ile Şekil 3'de verilmektedir. Şekilde içi siyah dolgulu üçgen sembolü TiO₂'in kırınım piklerini ifade etmektedir. Dahası içi beyaz kare sembolü ise, ZnO'in kırınım piklerini vermektedir. Spektrumda sunulan tüm kırınım pikleri JCPDS Kart No. 01-1136 ve 01-075-1526 referans sayılı numaraları, ZnO kristal yapılarının kırınım pikleri ile uyumluluk göstermektedir. Diğer yandan JCPDS Kart No 01-088-1173 ve 02-0406 referans sayılı numaraları, TiO₂ kristal yapılarının kırınım pikleri ile de örtüştüğü görülmektedir. Hem ZnO hem de TiO₂ kristal fazlarının varlığı kompozit yapının oluşumunu ifade etmektedir. Söz konusu bu kompozit oluşumu, ZnO ve TiO₂ karışımından meydana gelmiş olan ZnO-TiO₂ hetero nanoyapılarının varlığını teşkil etmektedir. Sonuç olarak ZnO-TiO₂ hetero nanoyapılarının varlığı, benzer çalışmalar ile de uyumluluk göstermiştir [11], [26].

UV-Vis absorpsiyon spektroskopisi, ITO substratları üzerinde oluşan ZnO-TiO₂ hetero bileşimi NP'ler, NÇ'lar ve HDNÇ'ların birikmesinin optik özellikleri üzerindeki etkisini göstermek için incelendi. Böylece, ZnO-TiO₂ hetero NP'ler, NÇ'lar ve HDNÇ'larının UV-Vis spektrumları Şekil 4'te gösterilmektedir. ITO üzerinde biriktirilen ZnO-TiO₂ hetero yapı ince filmlerinin optik özellikleri 300–700 nm dalga boyu aralığında ölçülen UV-Vis absorpsiyon spektrumu ile tespit edildi. ZnO ve TiO₂ nanoyapılarının 425 nm'den küçük UV dalga boylarında absorpsiyonu, esas olarak ZnO ve TiO₂'in geniş bant enerjisi göstermeleri nedeniyle olabilir. ZnO-TiO₂ hetero nanoyapı ince filmlerinin absorpsiyon spektrumu, görünür ışık bölgesinde daha geniş kısımda yer almaktadır. Dahası emme yoğunluğu açıkça şekilde görülmektedir. Bu bulgular, hem ZnO hem de TiO₂'nin birbirleriyle etkileşerek bağlanan ZnO-TiO₂ hetero nanoyapı ince filmlerinin olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. (a) NP, (b) NÇ ve (c) HDNÇ ZnO-TiO₂ hetero ince filmlerinin XRD spektrumları



Şekil 4. Farklı yapılardan oluşan ZnO-TiO₂ hetero fotoanotları içeren numunelerin optik absorpsiyon spektrumları

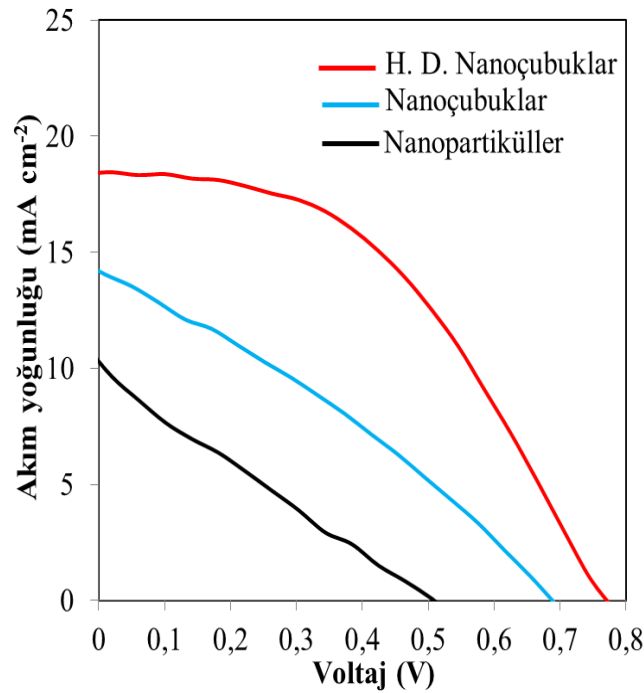
ZnO-TiO₂ hetero nanoyapılara sahip BDGP'lerin bazı fotoelektrokimyasal referans parametreleri Tablo 1'de verilmektedir. Literatürde verilen numune örnekleri ile bu çalışmayı kıyasladığımızda bazı üstünlük ve farklılıklar bulunmaktadır. Bunun sebebi tabloda verilen numunelerin genellikle iki basamaktan elde edilmiş olmasıdır. Bu çalışmada ise aynı çözelti ortamında tek basamaktan yapılmıştır. Bu da hem çözelti sarfiyatını azaltır hem de zamandan tasarruf etmemizi sağlar. Dahası elde edilen ZnO-TiO₂ hetero HDNÇ fotoanotları, tablodaki referans numuneleri ile kıyaslandığında,

daha yüksek güç dönüşüm verim performansına sahiptir. Bu nedenle BDGP'ler için güneş pili performansında önemli basamak teşkil edebilir.

Tablo 1. ZnO-TiO₂ hetero nanoyapılara sahip BDGP'lerin fotoelektrokimyasal referans parametreleri

Numune	J _{sc} (mAcm ⁻²)	V _{oc} (V)	FF	% η	Referans
ZnO/TiO ₂	5,960	0,895	0,704	3,755	[27]
TiO ₂ -ZnO	11,5	0,783	0,59	5,31	[26]
ZnO-TiO ₂	2,69	0,707	0,49	0,93	[28]
ZnO/TiO ₂	8,43	0,601	0,617	3,13	[21]
Mevcut çalışma	-	-	-	-	

ZnO-TiO₂ hetero NP, NÇ ve HDNÇ'ların etkisini açıklamak için BDGP'lerin üretiminde bir fotoanot olarak kullanıldı. Şekil 5, sırasıyla ZnO-TiO₂ NP'ler, NÇ'lar ve HDNÇ'ların akım-voltaj (J-V) eğrilerine karşılık gelen akım yoğunluğunu gösterir. Kısa devre akım yoğunluğu (J_{sc}), açık devre voltajı (V_{oc}), dolun faktörü (FF) ve verim (η) gibi parametreler ile ölçülmektedir. Ölçülen ve hesaplanan bu parametreler Tablo 2'de verilmektedir. Şekilde, ZnO-TiO₂ hetero NÇ'ların fotoelektrotunun ZnO-TiO₂ hetero NP fotoelektrotu özelliklerine kıyasla, V_{oc}, J_{sc}, FF ve η ölçülen ve hesaplanan parametreler belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Benzer şekilde, ZnO-TiO₂ hetero yapı HDNÇ fotoelektrotunun özellikleri ZnO-TiO₂ hetero yapı NÇ fotoelektrotu özellikleri ile karşılaştırıldığında, V_{oc}, J_{sc}, FF ve η ölçülen ve hesaplanan parametrelerin belirgin bir şekilde yükseldiği görülmektedir. ZnO-TiO₂ hetero ince filmlerini birleştiren güneş pillerinin belirli bir değeri vardır. Bu değer, ZnO-TiO₂ hetero nanoyapılarının yüzey alanının artmasıyla elde edilmektedir. Söz konusu elde edilen değerler, yüzey alanların artması ile paralellik göstermektedir. Böylece, ZnO-TiO₂ hetero HDNÇ'ların fotoelektrotuna dayanan BDGP'ler, kısa devre akım yoğunluğu (J_{sc}) 18,42 mAcm⁻², açık devre voltajı (V_{oc}) 0,78 V ve dolun faktörüne (FF) 0,46 olarak sistemde kaydedildi. Bunun sonucunda da, çıkan değerler hesaplandığında, yüksek değer olan bir güç dönüşüm verimi (η) % 6,61 olarak tespit edildi.



Şekil 5. NP'lere, NÇ'lere ve HDNÇ'lere dayanan BDGP'lerin J – V eğrileri

Tablo 2. Farklı ZnO-TiO₂ hetero nanoyapılara sahip BDGP'lerin fotoelektrokimyasal parametreleri

	J_{sc} (mAcm⁻²)	V_{oc} (V)	FF	% η
Nanopartiküller	10,31	0,51	0,23	1,21
Nanoçubuklar	13,62	0.69	0,31	2,91
H.D. Nanoçubuklar	18,42	0,78	0,46	6,61

IV. SONUC

BDGP'lerde kullanılmak üzere fotoanot olarak ZnO-TiO₂ 3D HDNÇ ince filminin üretilmesi gerçekleştirildi ve bu sentezi yaparken tek aşamalı bir hidrotermal yöntem geliştirildi. ZnO-TiO₂ heterojen nanoyapılarının morfolojisi, kristal yapısı ve optik özellikleri, sırasıyla SEM, EDS, XRD ve UV-vis absorpsiyon spektroskopisi ile incelendi ve değerlendirildi. Ayrıntılı morfolojik ve yapısal çalışmalar, değişen sıcaklığın ZnO-TiO₂ 3D hetero HDNÇ'ların büyümesini yönlendirmede anahtar bir rol oynadığını göstermiştir. BDGP'lerde fotoanot özellikleri incelendiğinde, J-V sonuçlarından elde edilen ZnO-TiO₂ hetero HDNÇ'lar % 6,61'lik değer performansı ile yüksek foto-akım dönüşüm verimini sergiledi. Bu yüksek verim performansı, diğer BDGP çalışmaları için elde edilen verilere göre büyük bir gelişmedir. Bu sonuçlar, ZnO-TiO₂ hetero nanoyapılarının sentezinde avantaj teşkil etmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] B. Oregan, M. Gratzel, "A low-cost, high-efficiency solar-cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films," *Nature*, vol. 353, pp. 737-740, 1991.
- [2] S. Zhu, L. Shan, X. Chen, L. He, J. Chen, M. Jiang, X. Xie, Z. Zhou, "Hierarchical ZnO architectures consisting of nanorods and nanosheets prepared via a solution route for photovoltaic enhancement in dye-sensitized solar cells," *RSC Advances*, vol. 9, no. 3, pp. 2910-2916, 2013.
- [3] J. Bao, M. Zimmler, F. Capasso, X. Wang, Z. Ren, "Broadband ZnO single-nanowire light-emitting diode," *Nano Letters*, vol. 8, no. 6, pp. 1719-1722, 2006.
- [4] F. Li, F. Jia, W. Wang, "Studies of the electrochemical reduction processes of Bi³⁺, HTeO₂⁺ and their mixtures," *Applied Surface Science*, vol. 16, no. 255, pp. 7394-7402, 2009.
- [5] K. Zhao, Z. Pan, X. Zhong, "Charge Recombination Control for High Efficiency Quantum Dot Sensitized Solar Cells," *Journal of Physical Chemistry Letters*, vol. 3, no. 7, pp. 406-417, 2016.
- [6] C. Chen, Y. Hsu, S. Cherng, "Effects of annealing conditions on the properties of TiO₂/ITO-based photoanode and the photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 3, no. 509, pp. 872-877, 2011.
- [7] S. Wang, K. Rao, C. Yang Thomas, H. Wang, "Investigation of nitrogen doped diamond like carbon films as counter electrodes in dye sensitized solar cells," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 5, no. 509, pp. 1969-1974, 2011.

- [8] D.S. Bhachu, S. Sathasivam, C.J. Carmalt, I.P. Parkin, "PbO-modified TiO₂ thin films: a route to visible light photocatalysts," *Langmuir the ACS Journal of Surfaces & Colloids*, vol. 30, no. 2, pp. 624-630, 2014.
- [9] X.L. Yu, J.G. Song, Y.S. Fu, Y. Xie, X. Song, J. Sun, X.W. Du, "ZnS/ZnO heteronanostructure as photoanode to enhance the conversion efficiency of dye-sensitized solar cells," *Journal of Physical Chemistry C*, vol. 114, pp. 80-84, 2010.
- [10] V. Thavasi, V. Renugopalakrishnan, R. Jose, S. Ramakrishna, "Controlled electron injection and transport at materials interfaces in dye sensitized solar cells," *Materials Science and Engineering R Reports*, vol. 63, pp. 81-99, 2009.
- [11] F. Gao, Q. Chen, X. Zhang, H. Wang, Tianjiao Huang, Liya Zhou, "ZnO/TiO₂ core-shell heterojunction for CdS and PbS quantum dot-cosensitized solar cells," *Current Applied Physics*, vol. 18, pp. 546-550, 2018.
- [12] İ. Şişman, M. Can, B. Ergezen, and M. Biçer, "One-step anion-assisted electrodeposition of ZnO nanofibrous networks as photoanodes for dyesensitized solar cells," *RSC Advances*, vol. 5, pp. 73692-73698, 2015.
- [13] S. Li, X. Z. Zhang, X. J. Jiao and H. Lin, "One-step large-scale synthesis of porous ZnO nanofibers and their application in dye-sensitized solar cells," *Materials Letters*, vol. 19-20, no. 65, pp. 2975-2978, 2011.
- [14] Z. A. Garmaroudi, M. Abdi-Jalebi, M. R. Mohammadi, and R. H. Friend, "A facile low temperature route to deposit a TiO₂ scattering layer for efficient dye-sensitized solar cells," *RSC Advances*, vol. 75, no. 6, pp. 70895-70901, 2016.
- [15] S. Ko, D. Lee, H. Kang, K. Nam, J. Yeo, S. Hong, C. Grigoropoulos, H. Sung, "Nanoforest of Hydrothermally Grown Hierarchical ZnO Nanowires for a High Efficiency Dye-Sensitized Solar Cell," *Nano Letters*, vol. 2, no. 11, pp. 666-671, 2011.
- [16] R. Shao, L. Sun, L. Tang, Z. Chen, "Preparation and characterization of magnetic core-shell ZnFe₂O₄@ZnO nanoparticles and their application for the photodegradation of methylene blue," *Chemical Engineering Journal*, vol. 217, pp. 185-191, 2013.
- [17] H. Eshet, M. Gruñwald, E. Rabani, "The Electronic Structure of CdSe/CdS Core/Shell Seeded Nanorods: Type-I or Quasi-Type-II?," *Nano Letters*, vol. 12, no. 13, pp. 5880-5885, 2013.
- [18] K. Park, Q. Zhang, B.B. Garcia, G. Cao, "Effect of Annealing Temperature on TiO₂-ZnO Core-Shell Aggregate Photoelectrodes of Dye-Sensitized Solar Cells," *Journal of Physical Chemistry C*, vol. 11, no. 115, pp. 4927-4934, 2011.
- [19] M.H. Yeh, L.-Y. Lin, C.-Y. Chou, C.-P. Lee, H.-M. Chuang, R. Vittal, K.-C. Ho, "Preparing core-shell structure of ZnO@TiO₂ nanowires through a simple dipping-rinse-hydrolyzation process as the photoanode for dye-sensitized solar cells," *Nano Energy*, vol. 5, no. 2, pp. 609-621, 2013.
- [20] X. Yan, C. Zou, X. Gao, W. Gao, "ZnO/TiO₂ core-brush nanostructure: processing, microstructure and enhanced photocatalytic activity," *Journal of Materials Chemistry*, vol. 1, no. 22, pp. 5629-5640, 2012.

- [21] Y. Cui, W. Wang, N. Li, R. Ding, K. Hong, "Hetero-seed mediated method to synthesize ZnO/TiO₂ multipod nanostructures with ultra-high yield for dye-sensitized solar cells," *Journal of Alloys and Compounds*, no. 805, pp. 868-872, 2019.
- [22] L. E. Greene, M. Law, B. D. Yuhas, P. Yang, "ZnO-TiO₂ core-shell nanorod/P3HT solar cells," *Journal of Physical Chemistry C*, vol. 50, no. 111, pp. 18451-18456, 2007.
- [23] A. Irannejad, K. Janghorban, O. K. Tan, H. Huang, C. K. Lim, P. Y. Tan, X. Fang, C. S. Chua, S. Maleksaeedi, S. M. H. Hejazi, M. M. Shahjamali, M. Ghaffari, "Effect of the TiO₂ shell thickness on the dye-sensitized solar cells with ZnO-TiO₂ core-shell nanorod electrodes," *Electrochimica Acta*, no. 58, pp. 19-24, 2011.
- [24] M. Wang, C. Huang, Y. Cao, Q. Yu, W. Guo, Q. Huang, Y. Liu, Z. Huang, J. Huang, H. Wang, Z. Deng, "The effects of shell characteristics on the current-voltage behaviors of dye-sensitized solar cells based on ZnO/TiO₂ core/shell arrays," *Applied Physics Letters*, vol. 26, no. 94, pp. 263506-3, 2009.
- [25] G. Yue, F. Tan, F. Li, C. Chen, W. Zhang, J. Wu and Q. Li, "Enhanced Performance of Flexible Dye-Sensitized Solar Cell based on Nickel Sulfide/Polyaniline/Titanium Counter Electrode," *Electrochimica Acta*, no. 149, pp. 117-125, 2014.
- [26] L. Song, Q. Jiang, P. Du, Y. Yang, J. Xiong, C. Cui, "Novel structure of TiO₂-ZnO core shell rice grain for photoanode of dye-sensitized solar cells," *Journal of Power Sources*, no. 261, pp. 1-6, 2014.
- [27] R. Liu, W.D. Yang, L.S. Qiang, H.Y. Liu, "Conveniently fabricated heterojunction ZnO/TiO₂ electrodes using TiO₂ nanotube arrays for dye-sensitized solar cells," *Journal of Power Sources*, no. 220, pp. 153-159, 2012.
- [28] T. Guo, Y. Chen, L. Liu, Y. Cheng, X. Zhang, Q. Li, M. Wei, B. Ma, "Enhanced photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells using TiO₂-decorated ZnO nanorod arrays grown on zinc foil," *Journal of Power Sources*, no. 201, pp. 408-412, 2012.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Investigation of the Effects of Diazinon and Carbaryl Pesticides on Lipase Under *In vitro* Conditions

 Hatice PALÜZAR ^{a,*}

^a, Department of Chemistry and Chemical Processing Technologies, Arda Vocational School, University of Trakya, Trakya, TÜRKİYE

*Corresponding author's e-mail address: haticepaluzar@trakya.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.772498

ABSTRACT

It is known that the enzyme activities of non-target organisms are influenced *in vivo* or *in vitro* by pesticides that play a major role to obtain higher yields in the field of agriculture. It is foreseen that the pesticides used for various purposes may negatively affect lipase, an enzyme of the digestive system, of the non target organisms. Therefore, in this study, *in vitro* effect of diazinon (organophosphate class) and carbaryl (carbamate class) pesticides, which are known to be widely used in agriculture, was investigated and an effective dosage range of these pesticides on lipase enzyme was determined. It was observed that the lipase enzyme treated with diazinon and carbaryl in the concentration range of 100-2500 ppm was inhibited. Lipase enzyme activity at maximum diazinon concentration was calculated as 2.05%. Carbaryl completely inhibited lipase at maximum concentration. The Kinetics conformed to the Michaelis-Menten model and a Lineweaver-Burk graph of the lipase was drawn. Carbaryl showed the strongest inhibitory effect against lipase (K_i : 460.96 ± 28.25 mM; IC_{50} : 2.5 ± 1.3 μ M) in comparison to diazinon. In the case of diazinon, K_i and IC_{50} value were found as 481.32 ± 45.18 mM and 3.6 ± 0.9 μ M for the lipase, respectively. The results showed that *C. rugosa* lipase are inhibited by diazinon and carbaryl *in vitro*. It was shown that the catalytic activity of *C. rugosa* lipase is inhibited competitively by carbaryl but noncompetitively by diazinon

Keywords: Lipase, Diazinon, Carbaryl, Pesticide, Inhibition kinetics

Diazinon ve Karbaril Pestisitlerinin Lipaz enzimi Üzerine Etkisinin *In vitro* Koşullarda İncelenmesi

ÖZET

Tarım alanında daha yüksek verimde ürün elde etmek için kullanılan pestisitlerin *in vivo* veya *in vitro* koşullarda hedef olmayan organizmaların enzim aktivitelerini etkilediği bilinmektedirler. Hedef olmayan organizmaya etki eden pestisitlerin sindirim sistemi enzimi olan lipaz enzimini olumsuz şekilde etkileyebileceği öngörülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada tarım alanında yaygın kullanıldıkları bilinen diazinon (organofosfat sınıfı) ve karbaril (karbamat sınıfı) pestisitlerinin lipaz enzimi aktivitesi üzerine *in vitro* etkisi araştırıldı ve bu pestisitlerin lipaz enzimi üzerine etkili dozaj aralığı tespit edildi. 100-2500 ppm konsantrasyon aralığında diazinon ve karbaril ile muamele edilen lipaz enziminin inhibe olduğu gözlemlendi. Maksimum Diazinon konsantrasyonunda lipaz enzim aktivitesi %2,05 olarak hesaplandı. Karbaril ise lipazı maksimum konsantrasyonda tamamen inhibe etti. Diazinon ve karbaril ile muamele edilen lipaz enzimi için Michaelis-Menten ve Lineweaver-Burk grafiği çizildi. Karbarilin, diazinon ile karşılaştırıldığında lipaz enzimi (K_i : 460.96 ± 28.25 mM; IC_{50} : 2.5 ± 1.3 μ M) için daha güçlü inhibitör etki gösterdiği belirlendi. Diazinon ile muamele edilen lipaz enziminin K_i ve IC_{50} değeri sırasıyla $481,32 \pm 45,18$ mM ve $3,6 \pm 0,9$ μ M olarak bulundu. Sonuçlar, *C. rugosa* lipazının *in vitro* olarak diazinon ve carbaryl tarafından inhibe edildiğini gösterdi. *C. rugosa* lipazının katalitik aktivitesinin karbaril tarafından yarışmalı bir şekilde, ancak diazinon tarafından yarışmasız bir şekilde inhibe edildiği gösterildi.

Anahtar Kelimeler: Lipaz, Diazinon, Karbaril, Pestisit, İnhibisyon Kinetiği

I. INTRODUCTION

Pesticides (especially organophosphorus and carbamates) are the most toxic compounds and are widely used as pest controllers in agriculture [1], [2]. Pesticides can be classified in many different ways according to physical structures, formulations, chemical composition of pesticides, toxicity, usage technique, pesticide function and pest organism they kill. In the classification of pesticides, the classification according to chemical structure and pest organism they kill is more commonly used. Based on chemical structure, pesticides are classified into four main groups namely; organochlorines, organophosphorus, carbamates and pyrethroids [3]. According to pest organism they kill, pesticides are classified as fungicides, insecticides, rodenticides, herbicides, garden chemicals and household disinfectants [4]. Carbaryl and diazinon used in this study are only a few of these pesticides. Carbaryl (1-naphthyl methylcarbamate) is an insecticide in the carbamate family [5] and diazinon is an organophosphate insecticide [6]. Carbaryl is used around the world to control insects on forests, nuts, fruit, citrus, cotton and etc. Also, diazinon is used to control insects on fruit, vegetable field and plants. Organophosphate insecticides have the same toxicity mechanism as the carbamate insecticides [7]. It is known that pesticides can be acted as enzyme disruptors [8]. In particular, they are known to be acetylcholinesterase (AChE) inhibitors [9],[10]. Pesticides can reversibly or irreversibly bind covalently with the serine residue in the active site of AChE [7]. Also, lipase enzyme has serin residue in its active site, so that pesticides can bind and inhibit to lipase. Due to the properties of pesticides to inhibit enzymatic activity, they play an important role in the inhibition studies. To elucidate the effect of pesticides on enzyme activity, *in vivo* and *in vitro* studies should be performed. In this study, for the first time, the inhibition type of carbaryl and diazinon pesticides on *C. rugosa* lipase, one of the digestive system enzymes, was studied as *in vitro*. We undertook this study to understand of *C. rugosa* lipase enzyme behaviors after exposure to different concentrations of carbaryl and diazinon. We hope that result of these research lead to new opportunities for finding of new enzyme inhibitors and increase our knowledge about side effects of some pesticides on the enzymes activities.

II. MATERIALS and METHODS

A. CHEMICALS

Lipase from *C. rugosa* (CAS Number 9001-62-1) was supplied by Merck KGaA. Pesticides, Carbaryl (CAS Number 63-25-2) and Diazinon (CAS Number 333-41-5), were supplied by Merck KGaA. Also, the other chemicals were purchased by Merck KGaA and prepared analytically.



Figure 1. The chemical structures of pesticides: Carbaryl and diazinon

B. METHODS

B. 1. Lipase Activity Assay

Lipase was dissolved in cold CaCl₂ solutions (5 mM) at the concentration of 2.0 mg/mL, immediately before use. To prepare substrate solution, triolein dispersed in 3% (v/v) gum Arabic containing 2.5 mM desoxycholate (DOC) solution was mixed by swirling and adjust to pH 8.0 at 37 °C with 10 mM

NaOH. Enzyme solution (10 μ L) was added to 15 mL of the substrate solution. The final concentrations of triolein in the reaction mixture ranged from 0.5 to 4.0 mM. The reaction was run 1-5 min. Small volumes (0.025 mL) of 10 mM NaOH was added to reaction medium. The volume of NaOH used to maintain the pH at 7.7 and the time required were recorded [11].

One unit lipase enzyme defined as the amount of enzyme hydrolyze 1 μ mole of triolein per minute at pH 7.7 at 37°C.

B. 2. Effects of Pesticides on Lipase Activity

Diazinon and carbaryl stock solutions (in ethyl alcohol) were prepared. Diazinon and carbaryl were dissolved separately at six concentrations in ethyl alcohol. Final diazinon and carbaryl concentrations were 100-2500 ppm in reaction medium. Lipase activity was measured without the pesticides and accepted as 100%. For the inhibition studies, 1 mL of each pesticide was mixed with lipase enzyme solutions. The mixture was incubated for 10 min and then the lipase activities were measured. For determination the effect of ethyl alcohol, 1 ml of ethyl alcohol was added to lipase enzyme solution and lipase activity was measured and the value was subtracted from the lipase activity value obtained after pesticide inhibition. The Kinetics conformed to the Michaelis-Menten model and Lineweaver-Burk graphs of lipase were drawn by using the obtained results (Figure 2 and Figure 3). To identify the inhibition type, K_i , K_i' (dissociation constant of free enzymes and enzyme-substrate complex, respectively) and IC_{50} (concentration of compound/sample required to inhibit 50 % enzyme activity) values were calculated [12]. K_i and K_i' were calculated from the following equations [13].

$$\frac{K'_m}{V'_{max}} = K_m \cdot \frac{1 + [I]}{V_{max}} \quad (1)$$

$$V'_{max} = \frac{V_{max}}{\left(1 + \frac{[I]}{K_i}\right)} \quad (2)$$

In the presence of the pesticides, K_m' and V_{max}' are the values. $[I]$ is the inhibitor concentrations. These calculations were done for each inhibitor concentration (2).

B. 3. Total Protein Assay

The protein concentration was determined using the method of Bradford [14]. For the preparation of Commassie Brilliant Blue G-250 solution 100 mg Commassie Brilliant Blue G-250 was dissolved in 50 mL 95% ethanol. 100 mL of 85% phosphoric acid was added on it. It was filtered with filter paper and completed to 1L with pure water. For preparation of stock and standard protein solutions 100 μ g BSA was completed to 1000 μ L with 0.15 M NaCl solution. Standard solutions were prepared 10-90 μ g/ 1.5 mL from this stock solution (diluted by 0.1M NaCl solution). 1.5 mL of the prepared standard solutions was taken and 1.5 mL of Commassie Brilliant Blue G-250 solution was added to them, and the absorbance values at 595 nm against blank were read in 3 mL cells. 1.5 mL 0.15 M NaCl and 1.5 mL Commassie Brilliant Blue G-250 were used as a blank. Each experiment was repeated 3 times and averaged. A working graph was drawn with the absorbance values obtained.

III. RESULTS and DISCUSSIONS

A. EFFECTS of PESTICIDES on the LIPASE ACTIVITY

Lipase activity was measured in the presence of carbaryl and diazinon (100-2500 ppm). Results showed that the inhibition of enzyme increased with increasing concentrations of the pesticides from 100 to 2500 ppm. The highest level of enzyme activity was observed in the 0 ppm (none pesticide, control) as shown in Table 1. In the minimum concentration of carbaryl (100 ppm), lipase showed 24.18 ± 0.18 % activity. For 500 ppm carbaryl, 12.17 ± 0.51 % lipase activity was obtained. On the other hand, 1000-2500 ppm of carbaryl inhibited the lipase completely. Trend of enzyme inhibiting for diazinon was regular as the highest and lowest inhibiting were observed at 500 ppm ($32.45 \pm 0.65\%$) and 2500ppm ($2.05 \pm 0.15\%$). Activities of lipase treated with pesticides (%) were shown in Table 1. When the literature studies are examined, it was seen that the effects of carbaryl and diazinon on lipase enzyme were studied before by G. M. Christensen and B. Riedel [15] but at the first time inhibition kinetic and inhibition type of these pesticides on *C. rugosa* lipase was studied in our study. However, Mohammad Saadati and Mostafa Mirzaei observed 96.24-39.89 % lipase activity in the Gut of Sunn Pest, *Eurygaster integriceps* for diazinon (100-2500 ppm), respectively [16]. In agreement with these results, it can be said that diazinon effectively inhibits lipase enzyme.

Table 1. Effects of six concentration of diazinon and carbaryl insecticides on *C. rugosa* lipase activity after 10 min incubation. Values are average of inhibitory effects and calculated based to the control treatment (%).

Concentration (ppm)	Diazinon	Carbaryl
	Enzyme activity (%)	
^a None	100±2.12	
100	28.32±0.21	24.18±0.18
500	32.45±0.65	12.17±0.51
1000	23.25±0.82	0
1500	16.67±0.11	0
2000	11.22±0.28	0
2500	2.05±0.15	0

The data are presented as mean value±standard deviation of triplicate analyses. ^aReference (none pesticide) condition set as 100% activity

B. KINETIC PARAMETERS

To compare the inhibitory capacity of carbaryl and diazinon, IC₅₀ values were determined (Table 2). Diazinon had the highest IC₅₀ (3.6 ± 0.9 μM) value. IC₅₀ value of carbaryl was determined as 2.5 ± 1.3 μM. Only, Dinh Thien Phuong [17] observed that carbaryl had highest IC₅₀ (30 μM <) for lipase *in vivo*.

The effects of carbaryl and diazinon on the enzyme kinetics of *C. rugosa* lipase using triolein as substrate were evaluated, and results are shown in Fig. 2 and Fig. 3, respectively. To characterize the inhibition type of each pesticide, according to lineweaver-burk graphs of lipase treated with carbaryl and diazinon (Fig.2 and Fig.3), V_{max} and K_m were calculated at different concentrations of the pesticides and are shown in Table 2. So that, both linear and non-linear analyses of inhibition curves of each pesticide were performed. As shown in Fig.2, carbaryl has high K_m and low V_{max} values compared to the control; linearized plots indicated a mixed-type inhibition. On the other hand, in Fig.3, diazinon possessed significantly higher apparent K_m and V_{max} values than control; linearized plots indicated a mixed-type inhibition.

K_i' , K_i and V_{max} values were calculated and shown in Table 2. K_i values of the carbaryl and diazinon were observed higher than K_i' . These higher K_i values indicate that the inhibitor has more affinity for the enzyme-substrate complex than for the free enzyme in a mixed inhibition mechanism [18].

Table 2. Catalytic parameters (V_{max} , K_m , K_i' and K_i) and IC_{50} of *C. rugosa* lipase in the presence of different carbaryl and diazinon

Compounds	C (mM)	V_{max} ($\mu\text{mole/dk}$)	K_m (mM)	K_i (mM)	IC_{50} (μM)
^a None	0.5 - 4.0	27.02±2.21	1.88±0.12	n.d	n.d
Carbaryl	2.48	17.24±1.58	15.77±2.42	460.96±28.25	2.5±1.3
Diazinon	3.28	2000±59.42	178.5±13.56	481.32±45.18	3.6±0.9

The data are presented as mean value±standard deviation of triplicate analyses. n.d.=not determined. ^aReference (none pesticide) condition set as 100% activity.

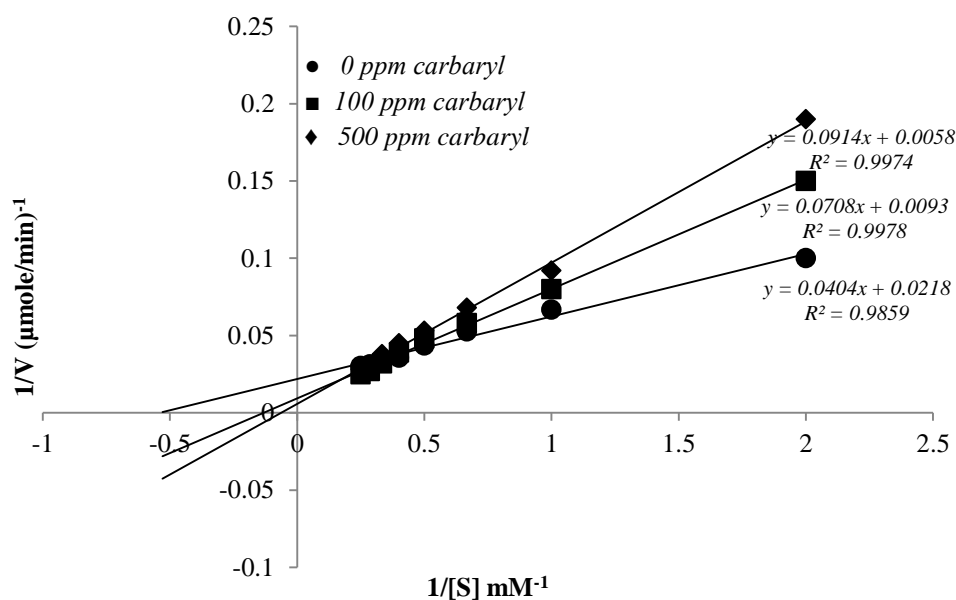


Figure 2. Lineweaver-Burk graph of lipase treated with carbaryl.

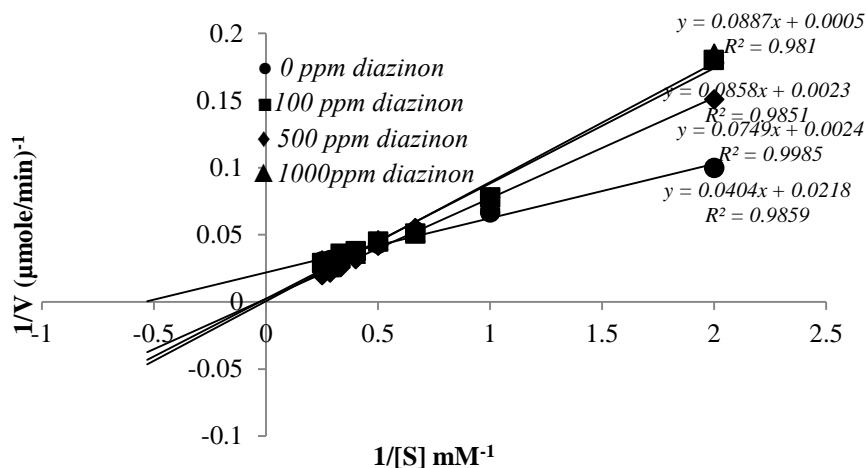


Figure 3. Lineweaver-Burk graph of lipase treated with diazinon

IV. CONCLUSION

To investigate the effects of diazinon and carbaryl pesticides on the *C. rugosa* lipase, lipase activity (none pesticide) and pesticide treated lipase activity was measured by using titrimetric method. Based on the experimental results, the inhibition of enzyme increased with increasing concentrations of the pesticides from 100 to 2500 ppm. The highest inhibition was observed with carbaryl from 1000 ppm to 2500 ppm (100% inhibition) and according to obtained K_i and IC_{50} values for carbaryl treated lipase, carbaryl showed the strongest inhibitory effect against *C. rugosa* lipase (K_i : 460.96 ± 28.25 mM; IC_{50} : 2.5 ± 1.3 μ M) in comparison to diazinon (K_i : 481.32 ± 45.18 mM; IC_{50} : 3.6 ± 0.9 μ M). The results showed that *C. rugosa* lipase are inhibited by diazinon and carbaryl *in vitro*. It was shown that the catalytic activity of *C. rugosa* lipase is inhibited competitively by carbaryl but noncompetitively by diazinon. Since this study is the first study on inhibition kinetics and inhibition type of *C. rugosa* lipase by carbaryl and diazinon pesticides, we hope that this study is a reference for other related studies to be done in the future.

V. REFERENCES

- [1] K. Gangadhara Reddy, G. Madhavia, B. E. Kumara Swamyb, S. Reddy, A. Vijaya Bhaskar Reddy and V. Madhavi, "Electrochemical Investigations of Lipase Enzyme Activity Inhibition by Methylparathion Pesticide: Voltammetric Studies," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 180, pp. 26–30, 2013.
- [2] H. Paluzar and A. Sagiroglu, "In vitro Effects of Pesticide Exposure on Bovine Liver Catalase Activity," *Bulgarian Chemical Communications*, vol. 48, no. 4, pp. 720-724, 2016.
- [3] K.H. Buchel, "*Chemistry of Pesticides*," John Wiley & Sons, Inc. New York, USA; 1983.
- [4] B. F. Eldridge, "Pesticide Application and Safety Training for Applicators of Public Health Pesticides," California Department of Public Health, Vector-Borne Disease Section, Sacramento, CA, 2008.
- [5] A. M. Blacker, C. Lunchick, D. L. Bigot, V. Payraudeau and M. E. Krolski, "*Toxicological Profile of Carbaryl*," Chapter 74 - Hayes' Handbook of Pesticide Toxicology (Third Edition), 2010.

- [6] N. Zehani, R. Kherrat and N. Jaffrezic-Renault, "Immobilization of *Candida Rugosa* Lipase on Aluminosilicate Incorporated in a Polymeric Membrane for the Elaboration of an Impedimetric Biosensor," *Sensors & Transducers*, vol. 27, pp. 371-373, 2014.
- [7] D.B. Barr and B. Buckley, "In vivo Biomarkers and Biomonitoring in Reproductive and Development Toxicity," *Reproductive and development toxicology*, pp. 253-265, 2011.
- [8] K. T. Kitchin, "An Enzymatic Approach to Biotransformation," *Melth find exptl. Clin. Pharmacol.*, vol. 6, pp. 303-310, 1984.
- [9] C. Barata, A. Solayen and C. Porte, "Role of B esterases in Assessing Toxicity of Organophosphorous (clorpyrifos, malathion) and Carbamate (carbofuran) Pesticides to *Daphnia magna*," *Aquat. Toxicol.*, vol. 66, pp. 15-139, 2014.
- [10] H. Toumi, M. Boumaiza, M. Millet, C. M. Radetski, B. I. Camara, V. Felten and J. F. Ferard, "Investigation of Differences in Sensitivity Between 3 Strains of *Daphnia magna* (crustacean cladocera) Exposed to Malathion (organophosphorous pesticide)," *J.Environmental Sci. Health, Part B*, vol. 50, pp. 34-44, 2015.
- [11] M. Stoytcheva, G. Montero, R. Zlatev, J. Á. León, V. Gochev, "Analytical Methods for Lipases Activity Determination: A Review", *Current Analytical Chem.*, vol. 8, pp. 400-407, 2012.
- [12] B. T. Burlingham, T. S. Widlanski, "An Intuitive Look at the Relationship of K_i and IC_{50} : A More General Use for the Dixon Plot," *J. Chem. Educ.*, vol. 80, no. 2, pp. 214-218, 2003.
- [13] K. F. Tipton, "Patterns of Enzyme Inhibition," In: Engel PC, editor. *Enzymology Labfax*. Oxford, UK, 1996.
- [14] M. Bradford, "A Rapid and Sensitive Method for Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-dye Binding", *Anal Biochem.*, pp. 248-354, 1976.
- [15] G. M. Christensen and B. Riedel, "Effect of Water Pollutants and Other Chemicals Upon the Activity of Lipase in vitro", *Arch. Environm. Contam. Toxicol.* vol. 10, pp. 357-363, 1981.
- [16] M. Saadati and M. Mirzaei, "Insecticide-Enzyme Interaction: Cypermethrin, Chlorpyrifos, Diazinon and Deltamethrin with α -Amylase and Lipase in the Gut of Sunn Pest, *Eurygaster Integriceps*," *Biol Syst.*, vol. 5, no. 2-6, 2016.
- [17] T. P. Dinh, "Functional Role of Monoglyceride Lipase in Endocannabinoid Inactivation," Phd Thesis, University of California, Irvine, 2004.
- [18] Y. Narita, and K. Inouye, "Inhibitory Effects of Chlorogenic Acids from Green Coffee Beans and Cinnamate Derivatives on the Activity of Porcine Pancreas α -amylase isozyme I," *Food Chem.*, vol. 127, pp. 1532-1539, 2011.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Twitter’da Duygu Analizi Yöntemi Kullanılarak Bitcoin Değer Tahminlemesi

 Burak KÖKSAL^{a,*},  Gözde ERDEM^a,  Cansu TÜRKELİ^a,  Zehra KAMIŞLI ÖZTÜRK^a

^a Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.792909

ÖZET

Bütün sektörler dahilinde finans sektöründe de müşterilere ait fikir ve düşüncelerinin belirlenmesi, firma ve kurumların ileriki dönemler için sunacağı hizmetleri etkilemektedir. Kripto para birimlerinin (Bitcoin, Ethereum, Ripple vb.) ekonomik ve sosyal etkileri hızla artmaya devam ettikçe, ilgili haber makalelerinin ve sosyal medya yayınlarının, özellikle de tweetlerin yaygınlığı da artmaktadır. Bu çalışmada, Twitter kullanıcılarının finans sektörü konularından biri olan Bitcoin ile ilgili yorumları derlenerek bir duygu analizi çalışması yapılmıştır. Kullanıcı yorumları, Twitter’ın sunmuş olduğu API hizmeti vasıtasıyla Python Programlama Dili kullanılarak alınmış; yorumlar olumlu, nötr ve olumsuz etiketler ile ayrıştırılmış, etiket bulutunda toplanmıştır. Naïve Bayes ve Lojistik Regresyon algoritmaları kullanılarak oluşturulan modellerde başarı oranları karşılaştırılmıştır. Naïve Bayes uygulamasının tweetlerin duygularını tahmin etmedeki başarı oranı %72,19 olurken, Lojistik Regresyon uygulamasında bu oran %75,53 olmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, duygu analizinden sonra “Bitcoin” anahtar kelimesi içeren günlük pozitif tweet oranı ile Bitcoin günlük açılış değeri beraber kullanılarak Bitcoin kapanış değeri tahminlemesi yapılmıştır. Finans verileri Yahoo Finance web sitesi üzerinden alınmış; Doğrusal Regresyon ve Rastgele Orman Regresyon yöntemleri ile modeller oluşturulmuştur. Doğrusal Regresyon için r^2 değeri %88,97 çıkarken, Rastgele Orman Regresyonu için ise %94,16 olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Duygu analizi, Twitter, Bitcoin, Makine öğrenmesi, Veri madenciliği, Finans

Bitcoin Price Prediction Using Sentiment Analysis on Twitter

ABSTRACT

The identification of actual and potential customers' opinions before and after purchase shapes the services offered by companies in the financial sector as well as in every sector. Cryptocurrencies as their economic and social impact continues to increase rapidly, the prevalence of related news articles and social media posts, especially tweets, also increases. In this study, sentiment analysis was applied by collecting comments and thoughts about Bitcoin on the social media platform Twitter. User comments were received using the Python Programming Language via the API offered by Twitter. Compiled user comments were separated with positive, negative and neutral tags, and the results were analyzed using Naïve Bayes and Logistic Regression. Success rate of sentiment prediction with Naïve Bayes was found 72,19% and for Logistic Regression 75,33%. After sentiment analysis, this study attempts to predict Bitcoin daily closing value using percentage of positive tweets that include “Bitcoin” keyword and Bitcoin daily opening value. Yahoo Finance has been the source of the financial data used in this study. Models were created using Linear Regression and Random Forest Regression. The r^2 value for Linear Regression was found 88,97%, for Random Forest Regression the r^2 value was found 94,16%.

Keywords: Sentiment analysis, Twitter, Bitcoin, Machine learning, Data mining, Finance

I. GİRİŞ

Günümüzün ticarileştirilmiş küresel manzarasında, daha erişilebilir ve şeffaf bir ortam için talep para birimi hızla büyümektedir. Özellikle 21. yüzyılın başından itibaren, finansal teknolojilerde çok büyük gelişme ve değişimler olmaktadır. İnternet erişiminin varlığı da yeni bir parasal sistemi tetiklemiş ve dijital para cinsi olarak bilinen “Kripto Para” (Cryptocurrency) kavramını hayatımıza sokmuştur. İnternetin bankasız ve devletsiz para birimi olan Bitcoin, İnternet üzerinde dijital varlıkların güvenli bir şekilde transfer edilmesini sağlamaktadır. Bu da Bitcoin, eski finansal araçlara olan ihtiyacı ortadan kaldırarak İnterneti daha demokratik ve efektif hale getirmektedir. Bitcoin ve ilgili teknolojiler tarım, lojistik ve sanayi sektörlerine kadar birçok farklı sektörde büyük çözümler sunmaktadır.

Sosyal medya madenciliği, veri madenciliği ilkelerinin sosyal medya üzerinde uygulanması ile ortaya çıkmıştır. Sosyal medya madenciliği çalışmalarında sosyal medya üzerinden veriler toplanır, düzenlenir ve analiz edilerek anlamlı sonuçlar çıkarılmaya çalışılır. Büyük verilere sahip en bilinen sosyal medya platformları Facebook, Google+ ve Twitter olarak verilebilir. Bu çalışma kapsamında ele alınan Twitter, kullanıcılarına 280 karakterle sınırlandırılmış “tweet” isimli mesajlar ile sosyal ağlarında bulunan takipçileri ile iletişim kurabilme olanağını sunmaktadır. Twitter üzerinden günde yaklaşık 500 milyon mesaj (tweet) paylaşılmaktadır. Atılan tweetlere ait bilgiler depolanırken içeriğin yanı sıra etiketler (hashtag), kullanıcı bilgisi, tweet saati ve tweet lokasyonu gibi bilgiler de kaydedilmektedir. Bu durumda tweet başına 1 KB ham veri boyutu oluşmaktadır. Yani dünyada sadece 1 günde atılan tweetlerin ham veri boyutu 500 GB civarındadır. Verilerin boyutları sosyal medya madenciliğinin bir büyük veri teknolojisi olduğunu göstermektedir.

Sosyal medya üzerinden toplanan bu verilerin analizinde, sosyal medya madenciliğinin en önemli çalışma alanlarından biri olan duygu analizi yöntemi kullanılmaktadır. Duygu analizi metinler içinde gizli bir şekilde yer alan düşünce ve duyguların belirlenmesi ve kullanılabilir bir biçime getirilmesidir. Duygu analizi bir yazarın veya bir yazının belirli bir konuya yönelik tutumunun olumlu (positive), olumsuz (negative), tarafsız (neutral) olarak değerlendirilmesi için bir metin parçasıyla belirtilen görüşleri/ifadeleri çeşitli algoritmalar aracılığı ile hesaplayıp tanımlama ve sınıflandırma süreçlerine verilen genel bir tanımdır. Buradan yola çıkarak, kripto para birimi fiyat dalgalanmasının birçok nedeni olsa da mevcut çevrimiçi sosyal medyadaki duygu analizinin bir Bitcoin fiyatının (yani, algılanan değer) yükselip yükselmeyeceği konusundaki tahminlerin bilgi verip veremeyeceğini araştırmak finans kullanıcıları için faydalı olacaktır. Duygu analizinde, genellikle kullanılan teknikler makine öğrenmesi ve anlamsal yönelim teknikleridir. Çalışma kapsamında, API’ler (Application Programing Interfaces-Uygulama Programlama Arayüzleri) vasıtasıyla şirketlere ve özel kişilere veriye kolay bir biçimde ulaşma imkanı tanınması sebebiyle Twitter sosyal ağı seçilmiştir. Veri madenciliği araçlarından Naïve Bayes ve Lojistik Regresyon algoritmaları ile de Twitter üzerinden veriler elde edilmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada, duygu analizi problemleri bir tür sınıflandırma problemi olarak tarif edilmiştir. Ayrıca, literatür çalışması kısmında da vurgulandığı üzere, Türkçe duygu analizi kullanılarak bu konuda yapılan çalışma sayısı sınırlıdır. Bu çalışma ile Bitcoin ile ilgili Türkçe duygu analizi literatürüne de bir katkıda bulunmak amaçlanmaktadır.

Bitcoin kullanımının yaygınlaşması ve İnternet kullanımının da anlık olması finanstaki değişimleri veya gelecekteki değişiklikleri tahmin etme ve yorumlama zorunluluğunu da beraberinde getirmektedir. Bitcoin fiyat dalgalanmalarının yönünü belirleyebilmek de günümüz piyasası için büyük bir önem kazanacaktır. Her alandaki yatırımcıya yol gösterici bir rehber niteliğinde olan bu çalışmada, duygu analizi aşamasından sonra Bitcoin kapanış değeri tahminlemesi yapılmıştır. Ancak, bu tahminleri yapmak tam anlamıyla da mümkün değildir. Bu değişimleri yorumlayabilmek amacıyla çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu modelleri oluştururken -kripto para piyasası açısından en güncel verilerin yer aldığı- finans verileri, Yahoo Finance web sitesi üzerinden anlık olarak çekilmiştir. Duygu analizinde kullanılan tweetlerin atıldığı tarih ve saat baz alınarak çekilen finans verileri oluşturulan modellerde kullanılmıştır. Yapılan bu modelde ise “Bitcoin” anahtar kelimesi içeren günlük pozitif tweet oranı ile Bitcoin günlük açılış değeri beraber kullanılarak Bitcoin kapanış değeri tahminlemesi yapılmıştır. Oluşturulan modellerde test ve eğitim setlerine dönüşüm sağlandıktan sonra

Doğrusal Regresyon ve Rastgele Orman Regresyon yöntemleri kullanılarak Bitcoin kapanış değeri tahminlemesi tamamlanmıştır.

Çalışmanın izleyen bölümlerinde sırasıyla; ikinci bölümünde Bitcoin ve duygu analizi ile ilgili literatüre değinilmiş, literatürdeki boşluğa vurgu yapılmıştır. Üçüncü bölümde duygu analizi için gerekli veri işlemleri ve kullanılan sınıflandırma algoritmaları; dördüncü ve beşinci bölümde uygulama ve elde edilen başarı oranları verilmiştir. Son bölümde ise gelinen nokta ve gelecek çalışmalara yer verilmiştir.

II. LİTERATÜR TARAMASI

Çalışma kapsamında literatür taraması iki ana başlık altında ele alınmıştır. Öncelikle Bitcoin ile ilgili yapılmış çalışmalar incelenmiş, ardından, bu çalışmanın odak noktası olan duygu analizi ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

Karasu vd. [1] tarafından yapılan çalışmada makine öğrenmesi algoritmalarından Doğrusal Regresyon (DR) ve Destek Vektör Makinesi (SVM) ile 2012-2018 yılları arasındaki günlük Bitcoin kapanış fiyatlarından oluşan zaman serisi kullanılarak Bitcoin tahmini yapılmıştır. Önerilen SVM modelinin DR modeline göre daha başarılı sonuç verdiği görülmüştür. Chen vd. [3]'nin yaptığı çalışmada ise, günlük Bitcoin fiyat tahminlemesi için istatistiksel yöntemlerden Lojistik Regresyon (LR) ve Lineer Diskriminant Analizi (LDA); makine öğrenmesi algoritmalarından da Rastgele Orman (RF), XGBoost (XGB), İkinci Dereceden Ayrımcı Analiz (QDA), Destek Vektör Makinesi (SVM) ve Uzun-Kısa Vadeli Hafıza Ağları (LSTM) kullanılmıştır. İstatistiksel yöntemler, günlük Bitcoin fiyat tahmini için %66'lık bir doğruluk elde ederken, makine öğrenme algoritmalarının en yüksek başarı oranı %65,3 olarak elde edilmiştir. Çalışmada yer alan çeşitli sınırlamalar nedeni ile elde edilen en yüksek başarı oranı bile diğer çalışmalara oranla yetersiz kalmıştır. Ayrıca çalışmanın performansı için diğer makine öğrenme algoritmalarından faydalanılmamıştır.

Rahman vd., makine öğrenmesi algoritmalarının uygulanarak yapıldığı duygu analizi ile Bitcoin'in fiyat değişikliği arasındaki ilişkiyi korelasyon kullanılarak incelemiştir. Bu çalışmada sınıflandırma için RFR ve Polinom Regresyon (PR) gibi beş farklı regresyon algoritması ve LR, K-En Yakın Komşu ve Naïve Bayes(NB) olmak üzere 11 farklı sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. Regresyon yöntemleri ile elde edilen sonuçlar, makine öğrenmesi algoritmaları ile elde edilen sonuçlarına göre daha başarılı olmamıştır. Bunun en önemli nedeni ise kullanılan verilerin yetersiz olması ve tahminleme aralığının darlığıdır [4]. Lamon vd. de Bitcoin, Litecoin ve Ethereum kripto para birimlerindeki fiyat dalgalanmalarını Doğrusal SVM, Multinomial Naïve Bayes (MNB) ve Bernoulli Naïve Bayes (BNB) ile tahmin etmeyi denemiş ancak en iyi sonuçlar LR ile elde edilmiştir. Bu çalışmadaki en büyük eksiklik ise tahminleme zaman aralığında yer alan fiyat dalgalanmalarındaki büyük değişikliklerin tespit edilememesidir [7]. Valencia vd. tarafından yapılan çalışmada, Bitcoin, Ethereum, Ripple ve Litecoin kriptopara pazarının fiyat hareketini tahmin etmek için Twitter öğeleri kullanılarak Yapay Sinir Ağları (ANN), SVM ve RF algoritmaları kullanılmış ve piyasa verilerinin girdi özellikleri de kullanılarak tahminleme yapılmıştır. SVM algoritması Bitcoin, Ripple ve Litecoin pazarlarını tahmin etmede başarılı olurken, Ethereum tahmininde başarılı olamamıştır. RF algoritması da Bitcoin ve Litecoin tahmininde başarılı olmuştur [8]. ANN'in kullanıldığı bir diğer çalışma da Sakız vd. [5] tarafından yapılmıştır. Çalışma sonucunda tahminlemede büyük farklılık ortaya çıkmıştır. Veri yetersizliği, algoritmaların kullanımı Bitcoin gibi bir para biriminde çok doğru sonuçları vermemiştir.

Twitter üzerinden Bitcoin ile ilgili atılan tweet duygularının analiz edilerek yapılan Bitcoin fiyat tahmini çalışmalarına bakılacak olursa, ilk olarak Pant vd. tarafından yapılan çalışma örnek olarak verilebilir. Pant vd. [6], duygu analizinin ardından zaman serilerini kullanarak Bitcoin fiyatları tahmin etmeye çalışmıştır. Duygu analizinin, zaman serileri tahminlemesinden daha başarılı olduğu görülmüştür. Wimala Gunaratne vd. [9] ise kripto para fiyat tahmini için ANN, SVM, RF ve NB

algoritmalarını kullanmıştır. Twitter’da yapılan çalışmalarda verilerin doğruluğu çalışmanın başarı oranı için büyük öneme sahiptir. Colianni vd. [10] tarafından yapılan çalışmada, Twitter verilerinin kripto para birimleri ile ilgili olup olmadığını ispatlamak ve kripto para piyasası hareketliliğini tahminlemek adına çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. LR, Bernoulli Naïve Bayes ve SVM algoritmaları kullanılmış, Bernoulli Naïve Bayes en iyi sonucu vermiştir. Çalışmanın doğruluk oranını artırmak için, tekrarlanan tweet sayısını veri setinden kaldırmışlardır ancak bu da veri setini kabaca %50 oranında azaltmıştır. Bu sebeple çalışmada doğruluk oranı %59’larda kalmıştır. Türkiye borsalarında Bitcoin değerinin tahmini için de Aslan vd. [2] Eğri Uydurma ve Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) tekniklerini kullanmıştır.

Fikir madenciliği (opinion mining) ve duygu analizi dünyada hızla büyümekte ve çok farklı sektörlerde uygulanmaktadır [12], [15]. Twitter’da ifade edilen duygular tespit ve analiz edilip bu verilerin sonrasında kullanıcıların twitter platformu üzerindeki aktivitelerine göre genel veya kişiselleştirilmiş öneriler geliştirilmesi için kullanılabilir [23].

Rahman vd. Twitter’den toplanan gerçek verilerin duygu analizini gerçekleştirebilecek bir model sunmak için denetimli ve denetimsiz makine öğrenmesi algoritmalarının melez bir kullanımını önermiştir [14]. Agarwal ve Mittal [13] çalışmalarında, yeni bir özellik çıkarma yöntemi önermiştir. Duygu analizinde sözlük tabanlı yaklaşımlarda ise genelde İngilizce dili üzerinden çalışmalar yapılmakta, diğer dillerde ise çeviri yolu ile kullanım sağlanmaktadır. Loureiro ve Allo de 1.7 milyon tweet ile yaptıkları analizde EmoLex sözlüğünü kullanmışlardır. Sözlükte sekiz temel duygu (öfke, korku, beklenti, güven, sürpriz, üzüntü, neşe ve iğrenme) ve iki duygu (olumsuz ve olumlu) bulunmaktadır [22].

Bu çalışmanın odak noktası Türkçe tweetler üzerinden duygu analizi olduğundan, literatürdeki Türkçe duygu analizi çalışmaları da özellikle incelenmiştir. Akın ve Şimşek [19] bireylerin duygularını ve düşüncelerini ifade ettikleri metinlerin oluşturduğu veri setinin analizi sonucunda elde edilen çıktıları yorumlayabilecek bir model önermiştir. Çalışma, programlama alanında sınırlı çalışma yetkinliği olan fakat elde edilen çıktılarla değer yaratabilecek birçok araştırmacının duygu analizinden faydalanmasını mümkün kılan bir model sunmuştur. Ayata vd. [11] tarafından yapılan çalışmada, SVM ve RF algoritmaları Türkçe tweetlerin içeriklerine göre olumlu ve olumsuz olarak sınıflandırılmasını amaçlanmıştır. Türkçe tweetler içeren duygu problemlerinin, Türkçe ifadelerin kısa olması ve anlamsal açıdan farklı yorumlar içermesi nedeni ile zorlu olduklarını belirtmişlerdir. Metinlerin içeriklerine göre sınıflandırılmasına ek olarak bir başka yöntem ise emoji kullanılarak yapılmaktadır. Yurtöz [24], gerçekleştirdiği çalışmada tam olarak bu konunun üzerinde durmuştur. Türkçe metinler içerisindeki duyguları tanımlayabilme amacıyla emoji’ler kullanmıştır. Yaptığı duygu analizinde ise SVM, kategorik Naïve Bayes (NB), FastText, Evrişimli Sinir Ağı (ESA) sınıflandırıcıları ile, eğitim ve test kümeleri Twitter mesajlarından elde edilen veri kümesi üzerinde gerçekleştirmiştir. Çetin ve Eryiğit [21], bir metnin içinde yer alan farklı duyguların ilgili oldukları hedef varlıklar ile birlikte tespit edilmesini hedef tabanlı duygu analizi ile gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada tanımlamaları üç temel alanla (hedef terim, hedef kategori ve duygu sınıfı) temsil etmişlerdir. Hedef kategori, hedef terim ve ikisinin aynı anda belirlenmesi görevleri için, kelime vektörleri ve doğal dil işleme çıktıları kullanan koşullu rastgele alanlara (CRF – conditional random fields) dayalı bir dizilim etiketleme algoritması tasarlamışlar ve her üç görevi de tek aşamada çözebilmişlerdir.

Mete vd. [20] tarafından yapılan çalışmada, duygu analizi ile yapılacak sınıflandırma için göz bebeği hareketleri ve boyutu girdi olarak kabul edilmiş; katılımcılara IAPS’ten seçilmiş 60 fotoğraf gösterilmiştir. Göz takip cihazı ile katılımcıların deney boyunca göz fiksasyon sayım ve sürelerini toplamış ve veri tabanına kaydedilmiştir. Sınıflandırma için k-NN, NB, SVM, Doğrusal Diskriminant Analizi, Karar Ağacı ve LR teknikleri uygulanmıştır.

Neethu ve Rajasree tarafından yapılan çalışmada, sosyal medyanın, duygu açısından zengin veri üretiyor olması sebebi ile önemi vurgulanmıştır. Atılan tweet’ler, durum güncellemeleri, blog gönderileri vb. duygu analizi açısından çok kullanışlı ve yararlıdır. Yapılan çalışmada duygu analizi için Matlab programı üzerinden SVM, Naive Bayes, Maximum Entropy algoritmaları kullanılmıştır.

Naive Bayes algoritması ile elde edilen doğruluk oranı %89.5 ile yüksek bir başarı göstermiştir [25]. Çağlar ve Yavuz tarafından yapılan çalışmada ise yapay zeka yöntemleri ile güncel finans haberlerinin, Bitcoin üzerindeki etkileri ortaya konmak istenmiştir. Bunun için 5 ulusal finansal dergisi baz alınarak tahminleme yapılmış, çalışma sonucunda %99'luk tahminleme başarısı gösterilmiştir. Ancak çalışmada Bitcoin içerikli gazete haberlerinin Bitcoin fiyat tahminlemesine etkisinin oldukça zayıf olduğu belirlenmiştir [26].

Haddi vd., yaptıkları çalışmada film yorumları içeren bir veri seti üzerinde ön işleme sürecinde çalışırken, gürültü olarak nitelendirilebilecek verileri, gereksiz gördüğü özellikleri çıkarmış ve bu işlemin çalışma üzerinde negatif bir etkisi olmadığını belirtmiştir. Duygu analizinde makine öğrenmesi tekniklerinin en iyi şekilde uygulanabilmesi için metin ön işlemenin önemini vurgulamış, iyi gerçekleştirilen bir ön işleme sürecinin kullanılan makine öğrenmesi yönteminin başarısına çok önemli katkılar sağlayabileceğini eklemiştir [27]. Renault, finans üzerine bir mikro blog olan StockTwits üzerinde gerçekleştirdiği duygu analizi çalışmasında 250,000 mesaj üzerinde çalışmış ve Naive Bayes, Maksimum Entropi Sınıflandırıcısı, Doğrusal Destek Vektör Sınıflandırıcısı, Rastgele Orman Sınıflandırıcısı ve Çok Katmanlı Perceptron sınıflandırıcısından faydalanmıştır. Renault, duygu analizinin, günlük frekansta büyük getirileri olacağına dair deneysel bir kanıtı rastlamadığını belirtmiştir [28]. Roy ve Ojha, Twitter'ın insanların anlık duygu ve düşüncelerini paylaştığı büyük bir altın madeni olduğunu ifade etmişler ve bundan yola çıkarak Twitter üzerinden duygu analizi çalışması gerçekleştirmişlerdir. Duygu analizi için üç derin öğrenme modeli oluşturulmuş ve karşılaştırma yapılmıştır. Google BERT, LSTM VE CNN algoritmaları kullanılmış ve BERT modelinin diğerlerinden daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmanın dilinin İngilizce olması doğruluk oranı için artırıcı bir etmen olmuştur [30].

Literatürde Türkçe tweetlerde duygu analizi uygulaması henüz yabancı dillerdeki kadar yaygın değildir. Bunun yanında kripto para kavramı da görece yeni bir çalışma alanı olup gelecek için büyük bir potansiyel taşıdığı düşünülmektedir. Bu iki kavramı bir araya getirerek yani duygu analizi tekniği gerçekleştirerek finanstaki değişimleri incelemek oldukça yeni bir çalışma alanıdır ve gelişmeye açıktır. Bu çalışma, bu alandaki eksiklik hedef alınarak gerçekleştirilmektedir.

Literatür incelendiğinde, duygu analizi yapılırken en çok sözlük tabanlı ve makine öğrenme temelli sınıflandırma yaklaşımlarının kullanıldığı görülmüştür. Sözlük tabanlı yaklaşımların kullanıldığı çalışmaların büyük bir çoğunluğu İngilizce dili üzerinden yapılmıştır. Bunun nedeni İngilizce diline ait daha önceden hazırlanmış geniş bir duygu sözlüğünün olmasıdır. Diğer dünya dillerinde ise İngilizce'den otomatik çeviri yapılarak otomatik duygu sözlükleri oluşturulmuş ve bu sözlük üzerinden duygu analizi çalışmaları yapılmıştır. Ancak otomatik çeviri yönteminde İngilizce ve çeviri yapılan dilin yapısı bire bir örtüşmediği bu yöntem en iyi sonuçları vermemektedir. Bu noktada diğer diller de için duygu sözlüklerinin oluşturulması gerekliliği ortaya çıkar. Diğer yöntem olan Makine öğrenme temelli sınıflandırma yaklaşımında ise en çok SVM, Bayes, karar ağacı ve ANN yöntemlerinin kullanıldığı tespit edilmiştir.

Tüm bu gelişmeler ışığında, Twitter verileri vasıtasıyla Bitcoin üzerine duygu analizi yapmak finans sektörü ve kripto para piyasası açısından yadsınamayacak bir kaynak oluşturacaktır. Fakat durum böyle olmasına rağmen özellikle Türkçe duygu analizi kullanılarak bu konuda yapılan çalışma sayısı sınırlıdır.

III. DUYGU ANALİZİ

Çevrimiçi sosyal medyanın ve mobil iletişim teknolojilerinin ortaya çıkışı, kullanıcı tarafından oluşturulan çeşitli biçimdeki içeriğinin akışında hızlı bir artışa neden olmuştur. İnsanlar genellikle tepkilerini, beğenilerini, hayallerini ve şikayetlerini sosyal medyada uzun metin yazmaktan ziyade, metinsel parçalarla ifade eder. Örneğin, her gün birbirinden farklı birçok konuda milyonlarca tweet üretilmektedir. Ayrıca, radyo televizyon yayıncılığı yapan medyadan farklı olarak çevrimiçi sosyal

medyada üretilen içerik anlık olarak yazılır ve düzenlenmemiş haldedir. Bu nedenle, farklı alanlardaki araştırmacı, bu kalabalık bilgiyi analiz etmeye başlamıştır. Bu analiz süreci ise pratik metotları doğurmuştur. Bunlardan en çok yaygın olanlarından biri duygu analizidir.

Duygu analizini gerçekleştirebilecek birçok sosyal medya mümkündür. Bu sosyal medyalardan (Twitter, Facebook, Instagram vb.) hangisi kullanılarak bu çalışmanın gerçekleştirileceği büyük öneme sahiptir. Kullanılacak olan sosyal medyada uygulanacak duygu analizinde belirlenen finans alt başlığının sektöre hitap etmesi de bir o kadar önemlidir.

A. DUYGU ANALİZİNİN ÖNEMİ

Karar verme süreçlerinde insanların ne düşündüğü her zaman ön planda olmuştur. Günümüzde, internetin son trendlerinin ortaya çıkması nedeniyle insanlar görüşlerini ve duygularını forumlarda, bloglarda, ağ ve içerik paylaşım servislerinde paylaşmaktadır.

Duygu analizi doğal dil işleme, istatistik ve programlama gibi farklı yöntemlerin kullanımı aracılığıyla internet ortamındaki kullanıcıların duygularını ve görüşlerini analiz etmekte kullanılan güncel bir araştırma alanıdır. Duygu analizinde temel motivasyon insanların durumlar karşısındaki düşüncelerini ortaya çıkarmaktır [29]. Görüş ve duygular karar verme sürecini belirleyen önemli etkenlerdir. Duygu analizi yöntemi, teknolojiye veya yeniliğe olumlu veya olumsuz referanslar aramaktan oluşur. Günümüzde bu başlıklar oldukça ön plandadır ve bu çalışmanın ana hedeflerini içermektedir.

B. TWİTTER'İN DUYGU ANALİZİNDEKİ ÖNEMİ

Günümüz dünyasında rekabet halindeki firmalar, geleneksel pazarlama yöntemleri ile müşteriye ulaşmanın yeterli olmadığını görmüşler ve sahip olduğu potansiyel nedeninin etkisi ile gündemlerine sosyal medyayı almışlardır. Bu açıdan sosyal medya çok önemli bir veri kaynağıdır ve buradan elde edilen bilgi birçok sektöre yön vermektedir. Sosyal medyada yayılan fikirler ürün ve hizmetlerin ne kadar başarılı olduğunu yansıtmaktadır. Bu durum doğrudan satışları ve ekonomiyi etkilemektedir [16].

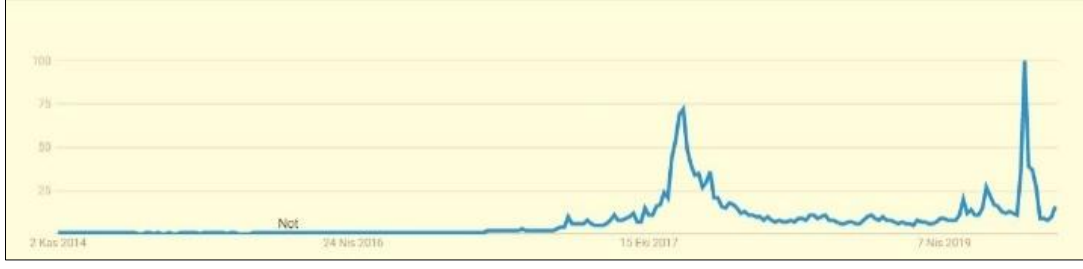
Twitter kullanıcıların, tweet olarak adlandırılan herhangi bir konu ile ilgili düşüncelerini paylaşabildikleri popüler sosyal ağlardan birisidir. Paylaşılan mesajlar, kullanıcıların farklı konular ile ilgili fikir ve duygularını içermektedir. Bu nedenle, bu çalışmada bir sosyal medya ortamı olan Twitter üzerinden elde edilen mesajlar duygu analizi sınıflandırılması probleminde kullanılmıştır [17].

Twitter tarafından yapılan bu sınırlandırmanın amacının, çok az kelime ile çok fazla şeyin paylaşılacağını göstermek ve kişilerin düşünmeden, ilk akıllarına gelen cümleler ile paylaşımında bulunmalarını sağlamak olduğu açıklanmıştır.

C. TWİTTER KULLANILARAK YAPILACAK OLAN ÇALIŞMADA FİNANSAL VARLIK TESPİTİ

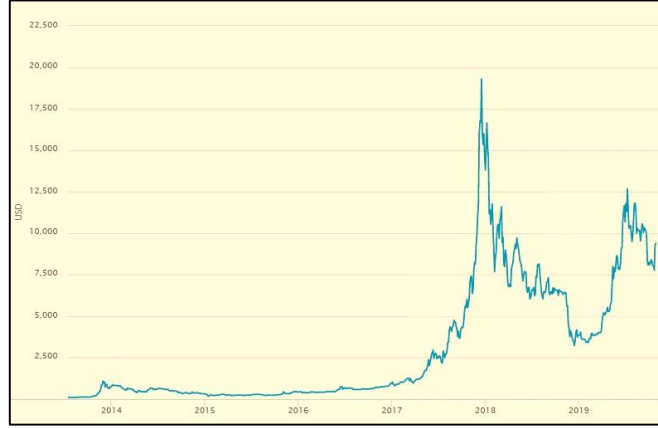
Günümüzde finans sektörü hayatın işleyişinde büyük öneme sahiptir. Teknolojinin zıplama çağı olan 90'lardan beri dijital bir para birimi oluşturmak için birçok girişimde bulunuldu. İlk kripto para olan Bitcoin dağıtık yapısı sayesinde çok kısa bir sürede günümüz finansal düzenine karşı yükselişe geçti. Düzenlemeye ya da kontrole tabi tutulmadığı için Bitcoin'in değeri sıfır noktasından, binlerce dolara kadar yükselmiştir.

Bu çalışmada finansal varlıklardan olan Bitcoin'in seçilmesinin en önemli nedeni son zamanlarda meydana gelen araştırılma sayısıdır. 2014-2016 yılları arasında bu değer oldukça aşağılardayken, son 2 yılda değişiklik göstermiştir (Şekil 1). Bu çalışma meydana gelen bu değişkenliği tahmin edebilmeyi mümkün kılacaktır. Bu sayede finansal konuda yapılacak eylemler, insanların bakış açıları tahmin edilebilecektir.



Şekil 1. Son 5 yıla ait Bitcoin kavramını araştırma sayısı [31]

Yapılan araştırmalar sonucu ile doğru orantılı olarak Bitcoin borsalarının da değiştiği görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Son 5 yıla ait Bitcoin borsasındaki değişim [32]

Dolayısıyla, bu çalışma ile Bitcoin'deki değişimlerin saptanabilmesi ve bireylerin veya kurumların bu değerler karşılığında eylemlere geçebilecek olması finansal açıdan büyük bir öneme sahip olacaktır.

D. UYGUN YÖNTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE KULLANILACAK YÖNTEMLERİN TARİFİ

Literatür taramasında bahsedilen çalışmalarda gözlemlendiği üzere en çok kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları Destek Vektör Makinesi, Naïve Bayes, Rastgele Orman, Doğrusal Regresyon, Lojistik Regresyon ve Yapay Sinir Ağları'dır. Yapılan çalışmalarda farklı sonuçlar veren bu algoritmalar aynı zamanda en çok verim alınan algoritmalarlardır. Bu çalışmada Rastgele Orman ve Doğrusal Regresyon algoritmaları üzerinden duygu analizi için sınıflandırmalar yapılmıştır. Bu algoritmaların seçilmesinin en büyük nedeni kullanılan programlama diline kolay entegrasyonu ve bu çalışma için daha iyi verimlilik skorlarına sahip olmasıdır.

Makine öğrenmesi temelli duygu analizinde; metin ön işleme süreci, gerçek dünyadan alınan nesnelere doğrudan kullanılmadığı için yapılması gerekmektedir. Tokenlara ayırma, gereksiz sık kullanılan veya durak kelimelerin (stop-words) atılması ve kelime köklerini bulma (stemming) en yaygın kullanılan ön işleme yöntemlerindedir. Ayıklama işleminin ardından BoW (Bag of Words) ve N-Gram model kullanılarak öznelik çıkarılmaktadır. Bu işlemleri yapmamamızın sebebi hesapsal yük oranını düşürmek ve tahmin oranını (Accuracy değeri gibi) arttırmaktır.

Bayes teoremi esasına dayanan Naïve Bayes, kolaylıkla uygulanabilen en kullanışlı makine öğrenme algoritmalarındandır. Metin sınıflandırmada kullanılan bu algoritma, olasılık kurallarına göre belirlenmiş bir dizi hesaplama ile, sisteme sunulan verilerin sınıfını yani kategorisini tespit etmeyi amaçlar. Algoritmanın çalışma şekli bir eleman için her durumun olasılığını hesaplar ve olasılık değeri

en yüksek olana göre sınıflandırma yapar. Sınıflandırıcı, özniteliklerin birbirinden bağımsız olduğunu varsayar. Bu, bir özneliğinin var olmasının veya olmamasının, başka bir özneliğinin var olması, olmaması veya değerini etkilemeyeceği anlamına gelir. Bayes teoremi, koşullu olasılık üzerine kurulu bir teoremdir.

$$P(C_i|X) = \frac{P(X|C_i)*P(C_i)}{P(X)} \quad (1)$$

Bayes teoremi göz önüne alınarak, NB algoritması aşağıda verilmiştir:

1. D'nin veri setini temsil ettiği ve D'deki her X'in sınıf etiketinin belli olduğu var sayılsın. X, n tane öznelikten oluşan bir vektördür ve $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ olarak temsil edilmektedir.

2. C_1, C_2, \dots, C_m ile temsil edilen m tane sınıf olduğu var sayılsın. Naive Bayes sınıflandırıcısı bir X vektörünün C_i sınıfına ait olup olmadığını bulmak için, bütün sınıflar içinde en yüksek $P(C_i|X)$ ardıl olasılığına sahip değeri bulmaya çalışır. Bu durum Bayes teoremi ile Eşitlik 1'de ifade edilmiştir.

3. $P(X)$ değeri tüm sınıflar için aynı olduğundan, yalnızca $P(X|C_i) * P(C_i)$ ifadesi maksimum yapılmalıdır.

4. $P(C_i)$ ifadesi, C_i sınıfındaki eleman sayısının, tüm eleman sayısına oranıdır.

5. $P(X|C_i)$ ifadesi ise, X'in n tane değer içeren bir öznelik vektörü olduğu var sayıldığında Eşitlik 2 ile hesaplanır.

$$P(X|C_i) = \prod_{k=1}^n P(X_k | C_i) \quad (2)$$

6. Sonuçta, sınıflandırıcı en büyük $P(X|C_i) P(C_i)$ ifadesine sahip olan C_i sınıfını, X vektörünün sınıfı olarak seçer [18].

Rastgele Orman algoritmasının çalışma prensibinde; algoritmayı başlatmak için kullanıcı tarafından iki parametre tanımlanır. Bu parametreler, en iyi bölünmeyi belirlemek için her bir bölümde kullanılan değişkenlerin sayısı (m) ve geliştirilecek ağaçların sayısı N'dir. Öncelikle eğitim veri kümesinin 2/3'ünden önyükleme örnekleri oluşturulur. Eğitim veri kümesinin 1/3'lük geri kalan kısmı hataları test etmek için yararlanılır. Daha sonra her önyüklemeli örnekten budama yapılmadan ağaç geliştirilir. Her bölümde m tane değişkeni tüm değişkenler içinden rassal olarak alınır ve bu değişkenler içinden en uygun dal belirlenir. Yeterli öngörü gücü ile yeterli seviyede düşük korelasyon sağlayan değişken miktarının seçilmesi çok önemlidir. Breiman'e göre toplam m tane değişkenin kare köküne eşit alınan m değişken miktarı genellikle optimum sonuca en yakın değeri verir. Rastgele Orman ağaç oluşturmak için CART (Classification and Regression Tree) algoritmasını kullanılır. Her bir bölümde dallar CART algoritmasının kriterine (örn. GINI indeksi) göre oluşturulur. GINI indeksi grup homojenliğini ölçer ve Eşitlik 3 ile ifade edilebilir.

$$\sum \sum_{j \neq i} \left(\frac{f(C_i, T)}{|T|} \right) \left(\frac{f(C_j, T)}{|T|} \right) \quad (3)$$

Burada T eğitim veri kümesi, C_i rassal belirlenen bir verinin ait olduğu sınıfı C_i ve $\frac{f(C_i, T)}{|T|}$, belirlenen örneğin C_i sınıfına ait olma olasılığını göstermektedir. GINI indeksi yükseldikçe grup heterojenliği artarken, GINI indeksi azaldıkça grup homojenliği artar [29]. Bu çalışmada rastgele orman algoritmasının seçilmesinin ana nedeni, yüksek boyutlu veri ile yüksek performans göstermesidir. Bu çalışmada bulunan veriler, Twitter platformu üzerinde insanların Bitcoin hakkında yazdığı yorumlardır. Her ne kadar Twitter'da karakter sınırı bulunsada çok sayıda tweet elde edilince veri çok yüksek boyutlara ulaşabilmektedir. Bu nedenle bu duruma uygun bir algoritma olarak rastgele orman

algoritması tercih edilmiştir. Ek olarak, rastgele orman literatürde pek çok duygu analizi ile finans tahminlemesi gerçekleştirilen çalışmada tercih edilip olumlu sonuçlar vermiştir.

Lojistik regresyon (LR), bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi anlamamıza yardımcı olan istatistik temelli bir algoritmadır. LR, ikili 1 veya 0 olarak kodlanmış verileri içerir. Tahmin etmek istediğimiz değişken tipleri eğer kategorik (nitelik olarak belirli) ise bu durumda LR kullanmak faydalı olacaktır. LR algoritması ile veri setinde kullanılan örneklemeler üzerinden sınıflar belirlenir. Bir diğer özelliği ise lineer regresyonun aksine verileri doğrusal olarak değil, logaritmik olarak eğri üzerinde yakalamasıdır.

Doğrusal regresyon, değişkenler arası ilişkiyi açıklayabilmek ve en uygun düz çizgi ile hiper düzlemi bulabilmek için oluşturulan lineer bir model yaklaşımıdır. Basit doğrusal regresyonda 2 değişken bulunmaktadır. Bunlar, bağımlı ve bağımsız değişkenlerdir. En uygun düz çizgi ya da diğer adıyla regresyon çizgisi kullanılarak bağımlı değişken (Y) ile bağımsız değişken (X) arasında bir ilişki kurar. Doğrusal regresyondaki en önemli nokta, bağımsız değişkenden farklı olarak bağımlı değişkenin sürekli olmasıdır. Bu çalışmada doğrusal regresyonun tercih edilme sebebi ise uygulanabilirliği ve çalışmadaki bağımlı değişken ile bağımsız değişkenlerin doğrusal bir ilişkiye sahip olmasıdır. Bunun yanında, doğrusal regresyon yöntemi, geçmişte duygu analizi ile finansal tahmin yapılan çalışmalarda da tercih edilip başarılı sonuçlar vermiştir.

IV. TWITTER'DA BITCOİN ÜZERİNE DUYGU ANALİZİ

A. DUYGU ANALİZİNDE KULLANILAN ARAŞTIRMA SEVİYELERİ

Duygu analizinde araştırma seviyesi olarak üç farklı seviye bulunmaktadır.

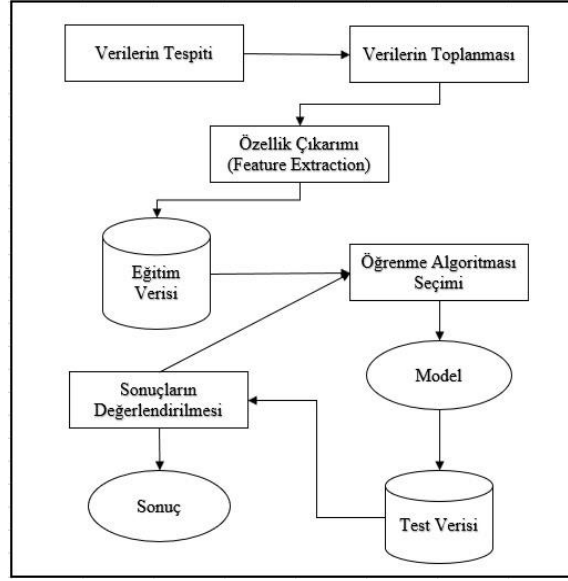
Doküman Seviyesi: Bu yöntemle bir dokümana göre tüm düşünceyi negatif ya da pozitif sonuç çıkaran yöntemdir. Bu analiz biçimi birden çok ürünü ya da durumu karşılaştıran dokümanlar için uygun değildir. Çünkü birden fazla durum ya da ürün karşılaştırması yapıldığında birden fazla sonuç çıkması beklenmektedir.

Cümle Seviyesi: Bu yöntemle cümle bazında pozitif, negatif ya da nötr sonucunu çıkarma işlemi yapılmaktadır. Nötr genelde duygu veya fikir belirtmeyen cümle olduğu anlamına gelmektedir. Birçok objektif cümle düşünce içerebilir fakat subjektif düşünce içermeyebilir bu durumu küçük bir örnekle açıklamak gerekmektedir. Örneğin: “Geçen ay araba aldık ve arabanın cam sileceği düştü.” cümlesi aslında olumsuzdur fakat cümle içinde olumsuzluk ifade eden bir kelime bulunmamaktadır. Bu nedenle de objektif bir çıkarım olarak görüntülenmektedir ve bir düşünce içermediği düşünülebilir ancak bu durum tam olarak böyle değildir.

Varlık ve Görüş Seviyesi: Varlık ve Görüş Seviyesi diğerlerine göre küçük taneli analiz yapmayı sağladığından daha doğru analizler yapmayı sağlamaktadır. Bu analiz yöntemiyle dil yapılarına bakmak yerine direkt duygu ile ilgilenir. Örneğin: “Servisi mükemmel olmamasına rağmen bu restoranı hala seviyorum.” cümlesinin pozitif bir tonu olsa da tam anlamıyla pozitif olduğu söylenemez. Burada restoranla ilgili pozitif düşünce olsa da negatif düşünce içermektedir.

B. DUYGU ANALİZİNİN AŞAMALARI

Duygu analizinde belirli bir akış söz konusudur. Bu çalışmada da uygulanan akışın temel basamakları Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Duygu analizi metodolojisi

Bu çalışmada Twitter kullanarak kripto para birimlerinden biri olan Bitcoin üzerine duygu analizi için yeni bir model önerilmiştir. Duygu analizinde, genellikle kullanılan teknikler makine öğrenmesi ve anlamsal yönelimdir. Makine öğrenmesi genellikle metin sınıflandırması problemlerinde kullanılır ve bu çalışmada da çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Daha iyi tahmin performansı elde etmek için geleneksel sözlük yaklaşımı NB ve LR algoritması ile birleştirilmiştir. Bu algoritmaları Twitter duygusu ile Bitcoin'in finansal değerinin yükselişi ve düşüşü arasındaki etkileşimi araştırmak için kullanılmıştır. Bu sayede, bu ilişkide istatistiksel olarak anlamlı bilgi olup olmadığı analiz edilmiştir. Bu çalışmanın ana katkısı, geleneksel finans metotlarıyla karşılaştırıldığında bile, Twitter'ın finans sektöründe önemli bir veri kaynağı olarak kullanılmasını destekleyen ampirik bir kanıttır.

Ne var ki elde edilen verilerin (yorumların) işlenmemiş olması, büyüklüğü, hatalı yazım, kısaltma ve günlük konuşma dili gibi nedenlerle sosyal ağlar üzerinde çalışmak oldukça zordur. Binlerce hatta on binlerce verinin ham haliyle tek tek incelenmesi ve insan algısıyla anlaşılması güçtür [16]. Bu nedenle verilerin çeşitli programlar vasıtasıyla API sağlayıcılarından çekilmesi, doğal dil işleme yöntemleri ile işlenmesi ve analizinin doğru bir biçimde yapılması gerekir.

C. VERİLERİN ÇEKİLMESİ

Twitter'da duygu analizi gerçekleştirmek için Python'da kullanılan kodun ilk kısmında <https://developer.twitter.com/> adresi üzerinden alınan kod ve tokenler devreye girmektedir. Kodun devamında anahtar kelimenin aranması ve anahtar kelimeyi içeren tweetlerin bir text dosyasına kaydedilmesi komutları bulunmaktadır. Kod çalıştırıldığında aranan anahtar kelimeleri twitter'da anlık olarak tarar ve bunları simultane olarak bir not defterine kaydeder. Tweet'in atıldığı tarih ve saat, tweet'i atan kişi, tweet'in retweet olup olmadığı, hangi cihaz ile atıldığı ve daha birçok bilgiye anlık olarak ulaşılır ve kaydedilir.

Kod yazılırken Twitter API'den yararlanılmıştır. API, Application Programming Interface yani Uygulama Programlama Arayüzü anlamına gelmektedir. Twitter API sayesinde Twitter'ın ana sayfasındaki yayın akışı farklı uygulamalar aracılığıyla takip edilebilmekte ve analizler yapılabilmektedir. Özellikle veri bilimi alanı için güncel ve popüler bir uygulama alanıdır. Yabancı literatürde çok sayıda uygulaması mevcuttur.

D. VERİLERİN ÖNİŞLEME SÜRECİ

Öğrenme algoritmalarında kullanılacak olan eğitim ve test verilerini oluşturmak için, Tweepy kullanılmıştır. Tweepy, Twitter API'ye erişmek için kullanılan açık kaynaklı bir Python kütüphanesidir. Tweetler Python programlama dili aracılığıyla Twitter'da "bitcoin" anahtar kelimesi gerçek zamanlı olarak aranarak anlık olarak çekilmiştir. Çekilen tweetler anlık olarak bir not defteri dosyasına kaydedilmiştir. Bu not defterinde elde edilen tweetlerin tweetlerin hangi ülkeden atıldığı, ne zaman atıldığı, hangi cihazdan atıldığı gibi pek çok bilgi bulunmaktadır.

Python'da tweetler için bir dil filtresi oluşturulmuştur. Bu sayede "Bitcoin" anahtar kelimesini içeren herhangi bir dildeki tüm tweetleri çekmek yerine sadece Türkçe tweetler çekilebilmiştir. Sonrasında tweetler incelenip kötü sözcük içeren tweetler elenmiştir. Fazla boşluklar çıkarılmış, büyük küçük harfler düzenlenerek tweetler cümle formatına çevrilmiştir. Alfabetik olmayan tüm karakterler, yüz ifadeleri(smiley) ve emojiler tweetlerden çıkarılmıştır. Çalışmada çok sık tekrarlanan kısaltmalar olduğu gibi bırakılmış, tekrarlanmayan kısaltmalarda ise kelimenin açık hali yazılmıştır. Bunun amacı, aynı anlam kastedilmesine rağmen, tweetlerde birden çok defa açık hali verilmiş bir kelimenin yalnızca bir defa geçen bir kısaltmasına algoritmanın anlam veremeyecek olmasıdır. Toplanan tweetlerdeki hashtagler yalnızca hashtag sembolleri(#) çıkartılarak çalışmaya dahil edilmiştir. Bunun sebebi kelime havuzunun mümkün olduğu kadarıyla çok yüksek boyutlara ulaşmasına engel olmaktır. Tekrarlayan tweetlerin yalnızca bir tanesi kaydedilmiştir. Bunun amacı Twitter botlarının çalışma üzerindeki etkisi olmasını engellemektir. Ardından tweetler tweet ID (Atılan "tweet" in kimlik numarası), tweet'i atan kullanıcı adı (user name), tweet ve tweetin atıldığı tarihler ile birlikte bir Excel dosyasına aktarılmıştır. Önileme süreci boyunca tüm dillerde 20.000'in üzerinde tweet elde edilmiştir. Dil filtresi geliştirildikten sonra ise 4062 adet Türkçe tweet çekilmiştir. Önileme sürecinden sonra 3737 tweet ile model oluşturulmuştur. Tweetlerin önilemesi yaklaşık olarak 60 saat sürmüştür.

E. VERİ SETİ

Bu çalışmada, Twitter'dan çekilen verilerin yanısıra Bitcoin'in borsadaki değerlerini içeren veriler de kullanılmıştır. Bu hedef ile farklı zamanlarda 3737 "Bitcoin" anahtar kelimesini içeren Türkçe tweet, Python'ın Tweepy kütüphanesi kullanılarak çekilmiştir. Veri seti pozitif, negatif ve nötr duyguları ayırt etmeye yoğunlaşmıştır. Bu çalışma bu duyguları ayırt etmeyi kelime bazlı duygu analizi yaparak gerçekleştirmeyi amaçlanmaktadır.

Bölünme sonucu eğitim seti eldeki tweetlerin %80'ini, test seti ise %20'sini oluşturmaktadır. Bu işlemin sonucunda eğitim setinde 2989 tweet bulunmakta olup bu tweetlerin %14,99'u negatif, %67,28'i nötr ve %17,73'ü pozitifdir. Test setinde 748 tweet bulunmaktadır. Bu tweetlerin %15,78'i negatif, %65,78'i nötr ve %18,45'i pozitifdir.

Bu işlemin ardından da tweetlerin duygularının üzerinde istatistiksel süreçlerin uygulanabilmesi için yazıların token matrislerine çevrimi sağlanmıştır. Bunu gerçekleştirebilmek için sklearn kütüphanesinden CountVectorizer fonksiyonu uygulanmıştır.

F. VERİ GÖRSELLEŞTİRME

Bu çalışmada da çeşitli veri görselleştirme yöntemlerinden faydalanılmıştır. Bunun amacı çok sayıda tweet arasından ilk göze çarpabilecek verileri gözler önüne serilebilmektir. Bu doğrultuda kelime bulutu yöntemi uygulanan tekniklerden bir tanesidir. Bu yöntemin amacı belirli bir yazı dosyasında en çok tekrarlanan kelimeleri bir arada okuyucuya sunabilmektir. Pozitif ve negatif duygulu tweetler için elde edilen kelime bulutları sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Pozitif tweetler için uygulanan kelime bulutu çalışması



Şekil 5. Negatif tweetler için uygulanan kelime bulutu çalışması

G. VERİLERİN SINIFLANDIRILMASI VE SONUÇLAR

Sınıflandırma, bir veri kümesini birbirinden farklı ve önceden belirlenmiş olan eğitim verisi kategorilerinden en uygun olanına atama işlemidir. Tweetlerin duygularına gibi sınıflandırılma işlemi, tweetlerdeki Bitcoin yorumlarına göre gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada amaç Bitcoin ile ilgili atılan tweetlerin pozitif, negatif ve nötr olmak üzere üç duygu ile sınıflandırılmasıdır. Buna göre Bitcoin hakkında olumlu bir yorum bulunan bir tweet pozitif olarak, olumsuz bir yorum bulunan bir tweet negatif olarak, herhangi bir duygu içermeyen tweetler ise nötr olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işlemi makale yazarları ayrı ayrı gerçekleştirmiş, ardından fikir birliği baz alınarak tweetin duygusu belirlenmiştir. Sınıflandırma işlemi sonrasında ise bir finans uzmanından destek alınarak gerekli görülen düzenlemeler gerçekleştirilmiş, fikir birliği sağlanamayan tweetler için uygun bir sınıf bulunmuştur.

Tweetler eğitim ve test verisi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Eğitim verisindeki tweetlerin pozitif, negatif ve nötr olacak şekilde sınıflandırılması yukarıda anlatıldığı gibi gerçekleşmiştir. Test kümesindeki verilerin sınıflandırma çalışmasında tweetlerde sıklıkla kullanılan ve bir duygu belirtmeyen edatlar, zamirler, bağlaçlar ve veriler toplanırken kullanılan sorgulama terimleri yasaklı kelimeler listesine dahil edilerek duyguların sınıflandırmasında yasaklı kelime listesi kullanılmamıştır. Test verilerine ait kelime sınıflandırma işlemi sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Test veri seti

Sınıf	Tweet Sayısı
Negatif	118
Nötr	492
Pozitif	138
Toplam	748

Çalışmada tweetler test ve eğitim setlerine ayrıştırıldıktan sonra sınıflandırma işlemini yapacak modeller için Naïve Bayes (NB) ve Lojistik Regresyon (LR) algoritmaları kullanılmıştır.

NB algoritması ile kurulan model, %72,19 başarı oranı ile gerçek tweetlerin duygularını tahmin etmeyi başarmıştır. LR algoritması ile kurulan modelde ise başarı oranı %75,53 olmuştur.

V. DUYGU ANALİZİ İLE BITCOIN DEĞERİ TAHMİNLEMESİ

A. FİNANSAL VERİ SETİ

Finans verileri ise Yahoo Finance web sitesinden elde edilen tweetlerin atıldığı tarih ve saatler baz alınarak çekilmiştir (Şekil 6), yani çekilen tweetlerin ve finans verilerinin tarih ve saatleri aynıdır. Bu durum elde edilen tweetlerin duyguları ile finans verilerini birbirleriyle karşılaştırabilmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler 2019 yılının Aralık, 2020 yılının Şubat ve Mart aylarına aittir.

	Tarih	Açılış	Yüksek	Düşük	Kapanış	Hacim
0	2019-10-13	8336.902344	8470.988281	8276.612305	8321.005859	13808286058
1	2019-10-14	8320.832031	8390.208984	8284.130859	8374.686523	15151387859
2	2019-10-15	8373.458008	8410.714844	8182.706543	8205.369141	15220412631
3	2019-10-16	8204.674805	8216.812500	7985.089844	8047.526855	16071646995
4	2019-10-17	8047.812500	8134.831543	8000.942871	8103.911133	14313052244

Şekil 6. Bitcoin verileri

Duygu analizi aşamasında günlük atılan tweetlerin duygusu belirlendikten sonra, literatürde sıkça geçen bir yöntem olan “Bitcoin” anahtar kelimesi içerip pozitif duygu içeren tweetlerin oranı belirlenmiştir. Bununla beraber Bitcoin günlük açılış ve değerleri kurulan modelde yer almıştır. 22 farklı gün için Şekil 7’de yer alan değerler modelde yer almıştır.

	Tarih	Pozitif Duygu(%)	Açılış Değeri	Kapanış Değeri
0	Ara 21	0.152	7220.593	7191.158
1	Ara 22	0.150	7191.188	7511.588
2	Ara 23	0.255	7508.902	7355.628
3	Ara 24	0.153	7354.393	7322.532
4	Ara 25	0.116	7325.755	7275.155

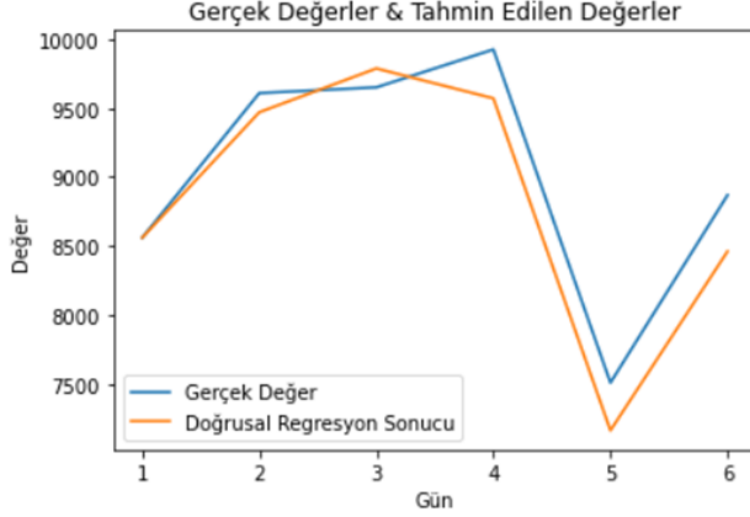
Şekil 7. Veri setindeki günlük pozitif tweet oranı, Bitcoin açılış ve kapanış değerlerinin bir kısmı

Eldeki veriler önce eğitim ve test veri seti olarak ikiye ayrılmış, ardından sklearn kütüphanesinden StandardScaler kullanılarak düzenlenmiştir.

B. DOĞRUSAL REGRESYON UYGULAMASI

Bitcoin günlük açılış değeri ile günlük pozitif tweet oranı beraber kullanılarak Bitcoin günlük kapanış değeri tahminlemede bulunulmuştur.

Oluşturulan model test ve eğitim setlerine ayrıştırıldıktan sonra Bitcoin kapanış değeri tahmini uygulaması için kullanılan yöntemlerden birisi Doğrusal Regresyon(DR) olmuştur (Şekil 8). Sklearn kütüphanesinden linear_model çağrılarak uygulanmıştır. Modelde oluşan eğriye denk gelmeyen her nokta artık (residual) olarak adlandırılmaktadır. Artıkların toplamının ortalamaların toplamına olan oranı ne kadar küçük ise r^2 o kadar yüksek olacaktır. Bu nedenle r^2 'nin yüksek olması regresyon model uyumunun iyi olduğunu gösterir.

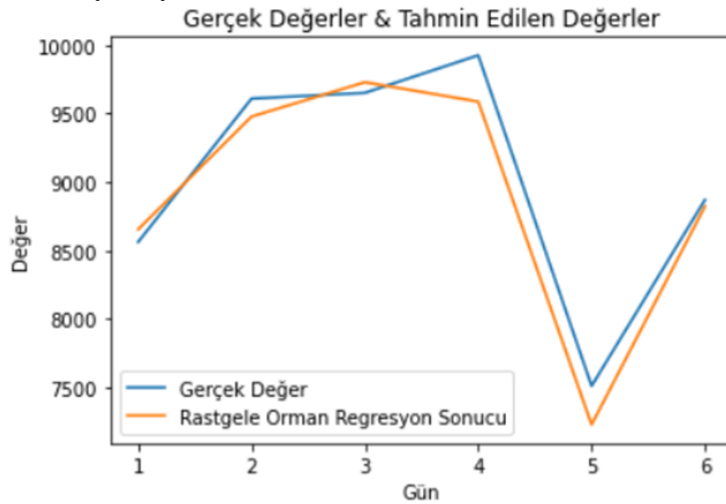


Şekil 8: Bitcoin günlük kapanış değeri ve doğrusal regresyon sonucu karşılaştırması

C. RASTGELE ORMAN REGRESYON UYGULAMASI

Bitcoin günlük açılış değeri ile günlük pozitif tweet oranı beraber kullanılarak Bitcoin günlük kapanış değeri tahminlemesinde bulunulmuştur.

Oluşturulan model test ve eğitim setlerine ayrıştırıldıktan sonra Bitcoin kapanış değeri tahmini uygulaması için kullanılan yöntemlerden bir diğeri Rastgele Orman Regresyon(RFR) olmuştur (Şekil 9). Sklearn kütüphanesinden RandomForestRegressor çağrılarak uygulanmıştır. Buna göre elde edilen çalışma r^2 değeri %94,16 çıkmıştır.



Şekil 9. Bitcoin günlük kapanış değeri ve rastgele orman regresyon sonucu karşılaştırması

VI. SONUC

Duygu analizi aşamasında NB ve LR olmak üzere iki makine öğrenmesi metodu kullanılmıştır. NB uygulaması sonucunda tweetlerin duygularının tahmin etmedeki başarı oranı %72,19 olmuşken LR uygulaması sonucu bu oran %75,53 olmuştur.

Bitcoin tahminlemesi aşamasında “Bitcoin” anahtar kelimesi içeren günlük pozitif tweet oranı ile Bitcoin günlük açılış değeri beraber kullanılarak Bitcoin kapanış değeri tahminlemesi yapılmıştır. DR ve RFR yöntemleri kullanılmıştır. DR için r^2 sonucu % 88,97 çıkmıştır. RFR için ise bu oran %94,16 olmuştur.

Yapılan çalışma finans sektörüne ait olduğundan, sektörde popüler bir kavram olan Bitcoin üzerinde durulmuştur. Teknolojinin gelişmesi başka düşüncelerin meydana gelmesine yol açmıştır. Bitcoin ise bu düşünceler arasında dikkat çeken bir kavram olarak yerini korumaktadır.

Uygulanan yöntemler sonucu atılan tweetlerin duygusu ile Bitcoin değeri arasında bir ilişki bulunduğunu söylemek kuşkusuz yerinde ve doğru olacaktır. Bitcoin’in değeri üzerinde birden çok faktörün etkili olduğu gözden kaçırılmaması gereken bir gerçek olsa da bu çalışma tweetlerin duygularının Bitcoin tahmininde önemli bir etken olabileceğini gözler önüne sunmaktadır. Bu çalışma yapılırken Dünya çapında birden çok olumsuz olayın gerçekleşmiş olmasının da piyasaları etkileyeceği düşünülürse daha huzurlu bir dönemde bu ilişki incelendiğinde başarı oranının artması oldukça gerçekçi ve mümkündür.

Gerçekleştirilmesi planlanan veya hali hazırda mevcut bulunan projelerin geliştirilmesi için bu çalışma kılavuz niteliği taşımaktadır. Seçilen metotların uygunluğunun tespit edilmesi, belirlenen yardımcı araçların tercih sebebinin neye bağlı olduğunun irdelenmiş olması çalışmayı daha açık kılmaktadır. Bu sayede yapılan çalışma bu alanla ilgili girişimde bulunacak herhangi bir çalışmacının işini oldukça kolaylaştıracaktır.

Çalışmanın konusu yalnızca Bitcoin ile sınırlı kalmamaktadır. Aynı şekilde başka yatırım araçları için de kullanılabilir. Yatırım sektörü dışında da birçok konu ile entegre edilebilir. Duygu analizi, finans sektörü dahil olmak üzere diğer bütün sektörler için kullanılabilir. Bu nedenle duygu analizi oldukça kapsamlı bir çalışma ortamına sahiptir. Yaşanılan dünyanın ana tüketimini insanlar oluşturmaktadır. İnsanların var olduğu bir dünyada ise onların düşüncelerini saptayabilmek değerli ve etkili çalışmaların yapıtaşını oluşturmaktadır. Bu nedenle bu çalışma yapılmış olan projelerin geliştirilmesinde ve gelecekte yapılacak olan projelerin etkili olmasında kullanılabilir. Böylece yapılan çalışmalardaki verimin artmasına ve pozitif bir kazanç sağlamasına olanak tanınmış olur.

Yapılan bu çalışma, kurumların sosyal medya analitiklerinden değer elde etmelerine yardımcı olarak entegre bir sosyal medya analitiği çerçevesi önermeyi ve böylece ticari büyümeyi ve sürdürülebilirliği arttırmayı amaçlamaktadır. Bu çok önemlidir, çünkü çoğu kurumun sosyal medya analitik hedeflerini yönlendirecek bütünlüklü çerçeveleri yoktur. Bu çalışma ile, kurumların yatırım veya ticaret yapış yapamayacaklarına karar vermelerine yardımcı olmak hedeflenmektedir. Bu şekilde bu çalışma yatırım danışmanlığı aracı olarak kullanılabilir. Böylece bunun bir girişimcilik olduğunu düşünülebilir. İkincisi, istatistiksel verilere dayanan yatırımın, bilimsel yaklaşımları kullanarak, şans faktörü karşıtı olduğunu kanıtlanır. Bu sayede borsalara yatırım yapmanın ekonomik açıdan tek yol olmadığını göstererek, parayı nakit olarak tutmanın bir başka yolu olduğunu gösterebiliriz.

Literatür araştırması sonucunda sosyal medya verilerinin kripto para hareketlerini tahmin etmede yardımcı olabileceği gösterilmiştir. Çalışmada atılan tweetler ve Bitcoin değeri arasında pozitif bir ilişki saptanırsa yöntem yatırımcıların başvurabileceği bir kaynak haline gelip yatırımcıların aldığı riski azaltıp daha güvenli yatırım yapmalarını sağlayacaktır. Ayrıca literatürde halen finans alanında Türkçe duygu analizi çalışmaları görece çok azdır. Bu çalışma ile literatüre katkı sunulmaktadır.

Çalışma, insanları madeni para ve banknotlardan (Euro, Dolar vb.) çok kripto paralara yatırım yapmaya teşvik edebilecek bir kaynak olma potansiyeli taşıdığından çevre anlamında da faydalı olması mümkündür. Bu durum örneğin gelecekte bankalar arası para taşıyan araçlara daha az ihtiyaç duyulmasını sağlayabilir. Bu sayede daha az karbonmonoksit, karbondioksit gibi egzoz gazlarının salınımı ve daha az yakıt tüketimini mümkün kılabilir. Bu da şüphesiz soluduğumuz havanın kalitesini arttıracaktır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komitesi tarafından desteklenmiştir (ESTÜ ADP proje numarası: 19ADP048).
Bu çalışma ayrıca TÜBİTAK 2242 Üniversite Öğrencileri Araştırma Proje Yarışmaları Asya Bölge Sergisi'ne katılmıştır.

VII. KAYNAKLAR

- [1] S. Karasu, A. Altan, Z. Saraç, and R. Hacıoğlu, "Prediction of bitcoin prices with machine learning methods using time series data," presented at the 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), İKÇU, İzmir, 2018.
- [2] F. Aslan, I. Pençe, M. S. Çeşmeli, and A. Kalkan, "Bitcoin'in Türkiye piyasasındaki değerinin yapay zeka teknikleri ile tahmini," presented at the 5th International Management Information Systems Conference, Ankara, 2018.
- [3] C. Zheshi, L. Chunhong, S. Wenjun, Y. Efendiev and A. Keller, "Bitcoin price prediction using machine learning: an approach to sample dimension engineering," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Eds. Netherlands, vol. 36, 2020.
- [4] S. Rahman, J. N. Hemel, S. J. A. Anta, H. A. Muhee, and J. Uddin, "Sentiment analysis using r: an approach to correlate cryptocurrency price fluctuations with change in user sentiment using machine learning," presented at the 7th International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV) and 2nd International Conference on Imaging, Vision & Pattern Recognition (icIVPR), Kitakyushu, Japan, 2018.
- [5] B. Sakiz, and E. Kutlugün, "Bitcoin price forecast via blockchain technology and artificial intelligence algorithms," presented at the 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), İKÇU, İzmir, 2018.
- [6] D. R. Pant, P. Neupane, A. Poudel, A. K. Pokhrel, and B. K. Lama, "Recurrent neural network based bitcoin price prediction by twitter sentiment analysis," presented at the IEEE 3rd International Conference on Computing, Communication and Security (ICCCS), Nepal, 2018.
- [7] C. Lamon, E. Nielsen, and E. Redondo, "Cryptocurrency price prediction using news and social media sentiment," in *SMU Data Sci. Rev.*, vol. 1, no. 3, pp. 1-22, 2017.
- [8] F. Valencia, A. Gómez-Espinosa, and B. Valdés-Aguirre, "Price movement prediction of cryptocurrencies using sentiment analysis and machine learning," *Entropy*, vol. 21, no. 6, pp. 589, 2019.
- [9] M. Wimalagunaratne, and G. Poravi, "A predictive model for the global cryptocurrency market: a holistic approach to predicting cryptocurrency prices," presented at the 8th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS), Singapore, 2018.
- [10] S. Colianni, S. Rosales, and M. Signorotti, "Algorithmic trading of cryptocurrency based on twitter sentiment analysis," *CS229 Project*, California, 2015, pp. 1-5.

- [11] D. Ayata, M. Saraçlar, and A. Özgür, “Turkish Tweet sentiment analysis with word embedding and machine learning,” presented at the 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Antalya, 2017.
- [12] B. Agarwal, and N. Mittal, *Prominent Feature Extraction For Sentiment Analysis*, vol. 28, Switzerland, 2016.
- [13] B. Agarwal and N. Mittal, “Semantic Feature Clustering For Sentiment Analysis of English Reviews,” *IETE Journal of Research*, vol. 60, pp. 414-422, 2014.
- [14] S. A. El Rahman, F. A. AlOtaibi, and W. A. AlShehri, “Sentiment Analysis of Twitter Data,” presented at 2019 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS), Suudi Arabistan, 2019.
- [15] B. Gokulakrishnan, P. Priyanthan, T. Ragavan, N. Prasath, and A. Perera, “Opinion Mining And Sentiment Analysis On A Twitter Data Stream,” *International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer2012)*, Sri Lanka, 2012,
- [16] M. Meral and B. Diri, “Sentiment Analysis on Twitter”, in *22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Trabzon, 2014.
- [17] Ö. Çoban, B. Özyer, and G. T. Özyer, “Sentiment Analysis For Turkish Twitter Feeds,” in *23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Malatya, 2015.
- [18] B. İ. Sevindi, “Türkçe metinlerde denetimli ve sözlük tabanlı duygu analizi yaklaşımlarının karşılaştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, 2013.
- [19] B. Karaöz and U. T. Gürsoy, “Adaptif Öğrenme Sözlüğü Temelli Duygu Analiz Algoritması Önerisi,” *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 11, pp. 245-253, 2018.
- [20] S. Mete, O. Çakır, O. Bayat, D. Göksel Duru, and A. Duru, “Gözbebeği Hareketleri Temelli Duygu Durumu Sınıflandırılması,” *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 13, pp. 137-144, 2020.
- [21] F. S. Çetin and G. Eryiğit, “Türkçe Hedef Tabanlı Duygu Analizi İçin Alt Görevlerin İncelenmesi – Hedef Terim, Hedef Kategori ve Duygu Sınıfı Belirleme,” *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 11, pp. 43-56, 2018.
- [22] M. Loureiro and M. Alló, “Sensing Climate Change and Energy Issues: Sentiment and Emotion Analysis with Social Media in the U.K. and Spain,” *Energy Policy*, vol. 143, 2020.
- [23] K. Sailunaz and R. Alhajj, “Emotion and Sentiment Analysis From Twitter Text,” *Journal of Computational Science*, vol. 36, 2019.
- [24] Ç. Ü. Yurtöz, “Measuring The Sentiment Effects Using Emoticon Features For A General Turkish Corpus,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Galatasaray Üniversitesi, 2019.
- [25] M.S. Neethu and R. Rajasree, “Sentiment Analysis in Twitter using Machine Learning Techniques,” in *2013 Fourth International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT)*, India, 2013.
- [26] B. Çağlar and U. Yavuz, “Finansal Haberlerin Bitcoin Fiyatlarına Etkisinin Yapay Sinir Ağları İle Analizi,” *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 14, pp. 65-78, 2021.
- [27] E. Haddi, X. Liu, and Y. Shi, “The role of text pre-processing in sentiment analysis,” *Procedia Computer Science*, vol. 17, pp. 26-32, 2013.



- [28] T. Renault, "Sentiment analysis and machine learning in finance: a comparison of methods and models on one million messages," *Digital Finance*, vol. 2, no. 1, pp. 1-13, 2020.
- [29] B. Pang, L. Lee, "Opinion Mining and Sentiment Analysis," *Foundations and Trends in Information Retrieval*, vol. 2, no. 1-2, pp. 1-135, 2008.
- [30] A. Roy and M. Ojha, "Twitter sentiment analysis using deep learning models", in *IEEE 17th India Council International Conference (INDICON)*, India, 2020.
- [31] (2019, November 1). Google Trends. [Online]. Available: <https://trends.google.com.tr/trends/explore?date=today%205y&geo=TR&q=%2Fm%2F05p0rrx>
- [32] (2019, November 1). Blockchain. [Online]. Available: <https://www.blockchain.com/tr/charts/market-price?timespan=all>



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kağıt ve Kağıt Ürünleri Sanayinde Tobin Q Oranı İle Performans Ölçümü

 Kadri Cemil AKYÜZ^{a,*},  İbrahim YILDIRIM^a

^a *Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE*

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

DOI: 10.29130/dubited.864520

ÖZET

Yatırımcıların, yatırım tercihleri arasında doğru kararlar verebilmesi ve beklenen finansal başarı düzeyine ulaşabilmeleri firmaların finansal performanslarının ölçümü ile yakından ilişkilidir. Finansal performans ölçümünde yaygın olarak kullanılan Tobin Q firmaların gelecek performanslarının göstergesi niteliğinde kabul edilmektedir. Borsa İstanbul bünyesinde işlem gören Kağıt ve Kağıt Ürünleri Sanayi sektöründe yer alan yedi adet firmanın 2012-2019 yılları verileri kullanılarak Tobin Q değerlerinin hesaplanmış olduğu bu çalışmada, yıllar düzeyinde oluşan değişimlere bağlı olarak değerlendirmeler yapılmış ve yatırımcılara doğru karar verebilme imkanı sağlanmıştır. Çalışma sonucunda Kağıt ve Kağıt Ürünleri sanayi sektöründe dört firmanın ortalama Tobin Q değerlerinin 1'in üzerinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 2012-2019 yılları ortalama değerleri bakımından sektörün önemli bir finansal başarıya sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Kağıt ve Kağıt Ürünleri Sanayi alanında yatırım tercihinde bulunmanın doğru karar olacağı vurgusu yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Kağıt ve kağıt ürünleri sanayi, Tobin Q, Borsa İstanbul*

Performance Measurement with Tobin Q Ratio in Paper and Paper Products Industry

ABSTRACT

The ability of investors to make the right decisions among their investment choices and to reach the expected financial success level is closely related to the measurement of the financial performance of companies. Tobin Q, which is widely used in financial performance measurement, is accepted as an indicator of the future performance of companies. In this study, in which the Tobin Q values were calculated using the 2012-2019 data of seven companies in the Paper and Paper Products Industry sector traded within Borsa İstanbul, evaluations were made depending on the changes that occurred at year level and investors were given the opportunity to make the right decision. As a result of the study, it was determined that the average Tobin Q values of four companies in the Paper and Paper Products industry sector were above 1. In addition, it has been determined that the sector has a significant financial success in terms of average values for the years 2012-2019. At the end of the study, it was emphasized that making an investment choice in the field of Paper and Paper Products Industry would be the right decision.

Keywords: *Paper and paper products industry, Tobin Q, Borsa İstanbul*

Geliş: 19/01/2020, Düzeltme: 07/03/2021, Kabul: 11/03/2021

I. GİRİŞ

Sınırlı kaynaklara sahip olmak doğru tercihleri zorunlu kılmaktadır. Kaynakların kullanılabilceği alternatiflerin fazla oluşu, doğru tercihler için kabul görmüş yöntem ve istatistiksel analizlerin kullanılmasını gerektirmektedir. Bu amaçla geleceğe dönük olarak yapılması planlanan tüm faaliyetlerin, bilimsel yöntemlerin süzgecinden geçirilmesi önemlidir.

Sahip olunan finansal varlıkların gelecekte daha değerli olarak geri dönüşünün amaçlandığı ve bu doğrultuda alternatifler arasında en doğru tercihin arandığı finansal yatırım türü, günümüz dünyasında sıklıkla tartışılan ve takip edilen yatırım türleri arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Gerek bireysel ve gerekse kurumsal yatırımcıların varlıklarını, doğru alanlarda doğru yatırımlar yapan firmalara yönlendirmeleri stratejik finansal yatırım olarak tanımlanmaktadır [1]. Bu doğrultuda hareket eden ve arayışlarda bulunan yatırımcılar, firmaların geçmiş finansal bilgilerine ve gelecekteki yatırım yapma potansiyellerine odaklanmalı ve gerekli olan analizleri yapmalıdırlar.

Firmaların performanslarının ölçülmesi amacıyla geçmişten günümüze, bazı farklılaşmalarla birlikte, birçok yöntemin kullanıldığı bilinmektedir. Bu yöntemler geçmiş finansal verilere bağlı olarak yapılan hesaplamalar ve analizleri kapsarken, elde edilen sonuçlara bağlı yapılan değerlendirmeler firma hakkında karar verici niteliğinde olmaktadır. Firma performansını ölçmede sıklıkla kullanılan ve firmaların gelecek performanslarının göstergesi niteliğinde olan Tobins'Q katsayısı yatırımcılara yol gösterici niteliktedir.

İlk kez James Tobin[2] tarafından kullanılan, firmaların pazar değeri ile varlıkların yerine koyma maliyeti arasındaki orantıyla hesaplanan Tobins'Q katsayısı, sonrasında araştırmacılar [3]- [6] tarafından bazı hesaplama farklılıkları ile çalışmalardaki yerini almayı sürdürmüş ve firmalara yönelik yatırım kararları alınmasında yönlendirici olarak kullanılmıştır. Firma üzerindeki finansal hakların piyasa değerini, firma varlıklarının yerine koyma maliyetine bölünerek elde edilen Tobins'Q toplam pasif kaleminden özkaynaklar çıkarılarak firmanın piyasa değeri eklenerek elde edilen sonucun toplam aktife bölünmesiyle hesaplanabilmektedir [7].

Firmaların sahiplik yapısı ve performans arasındaki ilişkinin ölçülmesi yanında kar dağıtım kararları ve hisse senedi değeri arasındaki ilişki, özsermaye değeri ve firma sahipliği ilişkisi ve yönetsel performansın ölçümü gibi bir çok farklı alanda kullanılmıştır [8].Firmaların sahip oldukları rekabet gücünün göstergesi sayılabilecek bir özelliğe sahip olan Tobin's Q katsayısı için istenilen değer 1' in üzeridir. Böyle bir durumda firmalar hisse senedi yatırımcıları için tercih edilebilmektedir. Ayrıca 1'in üzeri olan değer firmaların sahip oldukları varlıkları karlı alternatiflerde değerlendirmekte olduklarının göstergesi niteliğindedir. Değerin 1'in altında yer alması ise sermaye maliyetinin yatırımın marjinal getirisinin üzerinde olduğunu anlatmakla birlikte 1' in altında değer sahibi olan firmaların satın alınmasının, satın almak isteyen firmanın pazarlık gücünü arttırabileceği düşüncesi ile, karlı olabileceğine yorumlanmaktadır. $1 < Q < 2$ den büyük olan Tobin q oranı yatırımcıların, firma büyüme fırsatları hakkında pozitif beklentisi olduğunun bir göstergesidir. Tobin q oranı $1 < Q < 2$ in altında olan bir firma için ise, yatırımcıların negatif büyüme beklentisi içerisinde olduğu sonucu çıkarılabilir. [6- 9].

Bireylerin ya da firmaların geleceğe yönelik stratejik yatırım kararları alırken başvurdukları Tobin's Q değerinin kullanan Aksu [1] Borsa İstanbul' da Gıda sektöründe faaliyet gösteren firmaların Tobin Q oranının finansal yatırım açısından önem düzeyini incelemiş ve analiz sonuçlarında doğru yatırım açısından Tobin Q oranının gerekli olduğuna dair bulgular elde etmiştir. Sevil ve Şen [10] firmaların Tobin Q oranları ve hisse senetlerinin piyasa getirileri arasındaki ilişkiyi incelemiş ve Tobin Q oranının hisse senedi yatırımlarında karar kriteri olarak kullanılabilceğini sonucuna ulaşmışlardır. Ülkemizde yapılan bir başka çalışmada Canbaş ve arkadaşları [11] hisse senetleri Borsa İstanbul'da işlem gören sanayi işletmelerini yatırım çekiciliği açısından Tobin Q değerini kullanarak incelemiş ve 1 değerinin altında ve üstünde yer alan firmaları yıllar düzeyinde belirlemişlerdir. Canbaş ve arkadaşlarının [11] bir başka çalışmasında ise Tobin Q oranının farklı hesaplama teknikleri ile finansal kararlarda oluşturduğu etki incelenmiştir. Gümüş ve Avcı [12] Borsa İstanbul'da turizm endeksinde

yer alan firmaların entelektüel sermayelerinin firma değerleri üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında Tobin Q ve farklı yöntemleri birlikte kullanmış ve şirketlerin entelektüel sermaye konusunda daha dikkatli davranmaları gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Havayolu işletmelerinin performanslarının ölçümü amacıyla Tobin Q yöntemini kullanan Koçyiğit [13],incelemiş olduğu dönem kapsamında 14 firmanın önemli bir kısmının Tobin Q oranının düşük olduğunu belirlenmiştir. Ersoy ve arkadaşları [7] tarafından yapılan ve kurumsal yönetim ve firma performansı arasındaki ilişkiyi Tobin Q yardımıyla inceledikleri çalışmalarında, yönetim kurulu yapısının ve yönetim kurulunda bulunanların sahiplik düzeylerinin Tobin Q değeri üzerinde etkili olduğunu belirlemişlerdir. Cinsiyetin finansal performans üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla küresel kriz dönemi olan 2006-2013 yılları arasında Borsa İstanbul'da faaliyet gösteren firmaların performanslarını Tobin Q oranı yardımıyla inceleyen Erdur ve Kara[14] üst yönetimde kadın yönetici oranı ve yönetim kurulu başkanının kadın olması ile Tobin Q oranı arasında pozitif yönlü ilişki belirlemiştir. Uluslararası literatürde yer alan birçok çalışmada kullanılan Tobin Q değeri özellikle firmaların finansal başarılarının bir göstergesi olarak kabul edilmiş ve sermaye piyasasında işlem gören hisselerin rekabet gücünün değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır [15],[16].McConnel ve Servaes[17] ve Wan[18] firmaların sahiplik yapısı ve Tobin Q oranı arasındaki ilişkiyi araştırmış ve pay senetleri ve Tobin Q oranı arasında anlamlı ilişki bulmuşlardır. Uluslararası yatırımların hisse sahiplerinin refahı üzerinde oluşturduğu etkinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada Min ve Prather[6] teorik olarak pozitif etkili olduğu kabul edilen durumun Tobin Q oranı ile nakit akışı düzeyinde firmalar kapsamında değerlendirilmesinin gerekli olduğu vurgulanmıştır. Firmaların gerçekleştirdikleri kar dağıtım kararları ile sahip oldukları hisse değeri arasında oluşan ilişkiyi inceleyen Perfect, Peterson ve Peterson[19] Tobin Q ölçümünün bu alanda hassas bir ölçüm değerine sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde Tobin Q katsayısı ile özellikle hangi firma ya da araçlara yatırım yapılması gerektiği ve yatırımcılar üzerinde etkili olan faktörlerin neler olduğu üzerinde araştırmaların yoğunlaştığı görülmektedir. Bu amaçla Borsa İstanbul'da Kağıt ve Kağıt Ürünleri sanayi alanında faaliyet gösteren firmaların Tobin Q oranlarının hesaplanması amaçlanmış ve bu alanda yıllar kapsamında firmaların performanslarında değişiklikler belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca yapılan değerlendirmelerle Kağıt ve kağıt ürünleri sanayi alanında finansal yatırım yapmak isteyen yatırımcıların ve firmaların Tobin Q oranını performans kriteri olarak nasıl kullanabilecekleri belirlenmeye çalışılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. MATERYAL

İmalat sanayi içerisinde yer alan ve ülkemizin önemli sanayi sektörleri arasında bulunan Kağıt ve Kağıt ürünleri sanayi sektörü, son yıllarda sahip olduğu üretim ve ihracat rakamlarındaki yükselişle ekonomimize önemli katkılar sağlayan bir sektör konumunda bulunmaktadır. Kağıt ve kağıt ürünleri sanayi sektörü 36.17 milyar TL'lik üretim değeri 8,76 milyar TL' lik katma değer oluşumu ve yapmış olduğu 1, 47 milyar TL'lik yatırım ile ülkemizin önemli sektörel güçleri arasında yer almaktadır. Sektör üretim gücünü imalat sanayinin ortalama değeri olan %66,7' nin oldukça üzerine çekerek %101,9' a yükseltmiştir[20].

Kağıt ve Kağıt Ürünleri Sanayi alanında faaliyet gösteren firmaların Tobin Q oranlarının hesaplanması amacıyla yapılan çalışmada, Borsa İstanbul' da işlem görme tarihi bakımından en genç firmanın katılım zamanını dikkate alınarak analiz dönemi 2012-2019 yılları arası olarak belirlenmiştir. İşlem gören ve verilerine düzenli olarak ulaşılabilen 7 adet kağıt üretimi yapan firma Tablo 1'de gösterilmektedir. 2012-2019 yıllarını kapsayan veri seti Kamu Aydınlatma Platformunun [21] ve Borsa İstanbul'un [22] resmi internet sitesinden elde edilmiştir.

Tablo 1. Analize dahiledilen firmalar

Kağıt ve Kağıt Ürünleri Sanayi Alanında Üretim Yapan Firmalar
-Viking Kağıt ve Selüloz A.Ş.,
-Kartonsan Karton Sanayi ve Ticaret A.Ş.,
-Prizma Pres Matbaacılık Yayıncılık Sanayi ve Ticaret A.Ş.,
-Mondi Tire Kutsan Kağıt ve Ambalaj Sanayi A.Ş.,
-Olmuksan Kağıt Ambalaj Sanayi ve Ticaret A.Ş.,
-Alkim Kağıt Sanayi ve Ticaret A.Ş.,
-Kaplamin Ambalaj Sanayi ve Ticaret A.Ş.,

B. YÖNTEM

Nobel ödüllü iktisatçı James Tobin tarafından geliştirilmiş olan Tobin Q oranı firmaların finansal haklarının piyasa değerinin, işletme varlıklarının yerine koyma değerine oranlanmasıyla bulunmaktadır. Yapılan bir çok çalışmada Tobin Q oranı, yerine koyma değerinin hesaplanması ve eskiyen sermaye mallarının piyasada olmaması nedeniyle farklı hesaplama yöntemleriyle ölçülmeye çalışılmıştır [12]. Pay ve payda da yer alan kalemlerde değişiklikler yaparak hesaplamalarda Tobin Q oranı esas alınmıştır [2],[4],[5],[23]. Yapılan hesaplamalarda Tobin Q oranının değerlendirme eşiği 1 olarak alınmaktadır. Hesaplama sonucunda oranın 1'den büyük çıkması firmalar hakkında yatırım kararı ile olumlu eğilimleri güçlendirmekte ve firma varlıklarından yüksek karlar elde edildiğini göstermektedir. 1'in altında oluşan değer ise firma varlıklarının yeterli getiriye elde edemediklerini göstermektedir. Çalışmamızda Ersoy ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada kullanılan Tobins Q hesaplama yöntemi kullanılmıştır [7].

$$\text{Tobins'Q} = (\text{Toplam Pasif-Özkaynaklar} + \text{Piyasa Değeri}) / \text{Toplam Aktif} \quad (1)$$

III. BULGULAR VE SONUC

Yapılan çalışmada firmalar ve yıllar düzeyinde Tobin Q değerleri hesaplanmış ve temel istatistiksel veriler gösterilmiştir. Çalışma amacıyla hesaplanan verilerin normal dağılım gösterip göstermedikleri Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk W testleri ile incelenmiştir. Kolmogorov-Smirnov test istatistiğinde anlamlılık düzeyinin 0,05'ten büyük çıkması verilerin normal dağılım gösterdiğini gösterirken, Shapiro-Wilk W testinde 1' yakın değerlerin normal dağılıma sahip olduğu 0'a yakın değerlerin ise normal dağılıma sahip olmadıkları anlaşılmaktadır.[24] Firmalara göre yapılan normallik test sonuçları Tablo 2' de, yıllara bağlı olarak yapılan normallik test sonuçları ise Tablo 3' de gösterilmektedir.

Tablo 2. Firmalar düzeyinde normallik testi

Firmalar	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk	
	Test İstatistiği	Anlamlılık Düzeyi	Test İstatistiği	Anlamlılık Düzeyi
F1	,266	,100	,895	,258
F2	,158	,200	,926	,480
F3	,238	,200	,862	,127
F4	,153	,200	,950	,711
F5	,216	,200	,871	,154
F6	,262	,111	,842	,079
F7	,253	,141	,908	,342

Firmalar düzeyinde test sonuçları incelendiğinde tüm firmaların Kolmogorov-Smirnov sonuçlarının normal dağılıma uygun olduğunu ancak Shapiro-Wilk test sonucuna göre F6 kodlu firmanın

verilerinin normal dağılım göstermediği sonucuna ulaşılmaktadır (Tablo 2). Yıllar düzeyinde yapılan analiz sonucunda ise Kolmogorov-Smirnov test sonucuna göre 2014 yılının normal dağılım göstermediği, Shapiro-Wilk sonucuna göre ise 2015 ve 2018 yıllarının normal dağılım göstermediği sonucuna ulaşılmaktadır (Tablo 3).

Tablo 3. Yıllara göre normallik testi

Yıllar	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk	
	Test İstatistiği	Anlamlılık Düzeyi	Test İstatistiği	Anlamlılık Düzeyi
2012	,175	,200	,958	,800
2013	,190	,200	,949	,721
2014	,341	,014	,847	,115
2015	,281	,100	,766	,019
2016	,214	,200	,862	,157
2017	,236	,200	,904	,358
2018	,253	,198	,788	,031
2019	,218	,200	,915	,433

Yapılan normallik analizi sonrasında 2012-2019 yılları arasında hesaplanan Tobin Q değerleri arasında korelasyon olup olmadığı incelenmiştir. Firmalar ve yıllar düzeyinde yapılan korelasyon analizi sırasında veri sayısındaki düşüklük nedeniyle Sperman'srankorder korelasyonu tercih edilmiştir. Firmalar düzeyinde yapılan korelasyon analiz sonuçları Tablo 4' de yıllar dikkate alınarak yapılan korelasyon analiz sonuçları ise Tablo 5' de gösterilmektedir.

Tablo 4. Firmalar düzeyinde korelasyon analiz sonuçları

Firmalar	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
F1	1.000						
F2	-0.595	1.000					
F3	0.619	-0.643	1.000				
F4	0.619	-0.833	0.738	1.000			
F5	-0.690	0.786	-0.333	-0.619	1.000		
F6	0.000	0.214	0.310	-0.048	0.286	1.000	
F7	0.333	0.286	0.190	0.119	0.357	0.119	1.000

Kağıt ve kağıt ürünleri sanayi sektörünün BIST bünyesinde temsilcisi olan yedi adet firmanın, sahip oldukları Tobin Q değeri bakımından nasıl bir ilişki düzeyinde olduklarının belirlenmesi amacıyla yapılan korelasyon analizi sonucunda (Tablo 4);

F1 firmasının F6 firması ile hiçbir ilişkisinin olmadığı ve F7 firması ile zayıf bir ilişki düzeyinde olduğu görülmektedir. F2 ve F5 firması ile negatif yönlü orta düzeyde bir bağlantısı olan F1 firması F3 ve F4 firmalarıyla ise pozitif yönlü orta düzeyli bir bağlantı sergilemektedir.

F2 firması, F4 firması ile negatif yönlü yüksek düzeyli, F5 firması ile ise pozitif yönlü yüksek düzeyli bir ilişki göstermektedir.

F3 firması F4 firması ile pozitif yönlü kuvvetli bir bağlantı gösterirken, F4 firması F5 firması ile negatif yönlü orta düzeyli bir bağlantı göstermektedir.

Orta ve yüksek düzeyli ilişkisi olan firmalar açısından bakıldığında;

F2 firmasının iki firma ile (F4, F5) ve F3 firmasının bir firma ile (F4) yüksek ilişki düzeyine sahip olduğu görülmektedir. Sektörel düzeyde firmalar arasında önemli bir finansal yapı bağının olmadığı elde edilen sonuçlara göre ifade edilebilir.

Tablo 5. Yıllar düzeyinde korelasyon analiz sonuçları

Yıllar	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2012	1.000							
2013	0.786	1.000						
2014	0.500	0.286	1.000					
2015	0.571	0.429	0.857	1.000				
2016	0.393	0.679	0.607	0.750	1.000			
2017	0.214	0.571	0.500	0.429	0.857	1.000		
2018	-0.143	0.179	0.464	0.357	0.643	0.786	1.000	
2019	0.036	0.429	0.429	0.393	0.821	0.964	0.893	1.000

Yıllar düzeyinde yapılan korelasyon analizi ile finansal başarı yada başarısızlık düzeylerinin nasıl bir bağlantıya sahip olduğunun belirlenmesi amaçlanmıştır (Tablo 5). Buna göre öncelikle tüm yıllar bir sonraki yıl ile değerlendirilmiş ve ilişki düzeyi sorgulanmıştır. 2012 yılı 2013 yılı ile yüksek düzeyli bir ilişki gösterirken, 2013 yılı ve 2014 yılı arasında zayıf ilişki düzeyi belirlenmiştir. 2014 ve 2015 yılları arasında çok yüksek, 2015-2016 yılları arasında ise yüksek düzeyli bir ilişki varlığı belirlenmiştir. 2016-2017 yılları arasında çok yüksek, 2017-2018 yılları arasında yüksek ve 2018-2019 yılları arasında ise çok yüksek ilişki varlığı dikkat çekmektedir. Yapılan değerlendirme sonucunda öncelikle takip eden yılların birbirleriyle olan yüksek düzeyli ilişkisi dikkat çekici boyuttadır. Firmaların sahip oldukları finansal başarı ya da başarısızlık düzeyi bir sonraki yılı önemli ölçüde etkilemektedir. Dikkat çeken bir diğer nokta ise bu yüksek düzeyli ilişkinin devam eden yıllar düzeyinde düşmesidir. Yani 2012-2013 arasında oluşan yüksek düzeyli ilişki 2012-2014 yılları arasında düşüş göstermektedir. Bu duruma istisna olan tek yıl 2017-2019 yılları arasında oluşan çok yüksek ilişki düzeyinin varlığıdır.

Borsa İstanbul'da faaliyet gösteren Kağıt ve kağıt ürünleri sanayine ait firmaların 2012-2019 yılları kapsamında hesaplanan Tobin Q değerleri Tablo 6' de gösterilmektedir. Bazı firmaların değerlerinin 1'in altında yer alması nedeniyle firmaların olumsuz etkilenmelerinin önlenmesi amacıyla firma isimleri gizlenmiş ve firmalar Tablo'1 deki sıradan bağımsız olarak verilmiştir. Konu ile ilgili birimlerin talep etmesi durumunda firma isimlerinin paylaşılması uygun görülmüştür.

Tablo 6. Firmaların Tobin Q değerleri

Yıllar	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	ORT
2012	2,586	0,406	1,923	1,442	0,793	0,943	1,123	1,316
2013	2,234	0,363	1,310	1,086	0,919	1,942	1,049	1,271
2014	2,101	0,434	0,959	1,068	1,114	0,869	1,112	1,093
2015	2,478	0,513	0,593	0,932	0,921	0,674	1,208	1,045
2016	2,167	0,569	0,588	0,728	0,926	1,417	1,066	1,065
2017	2,202	0,659	0,991	0,615	1,230	1,934	1,205	1,262
2018	2,002	0,775	0,540	0,543	1,073	0,930	0,706	0,938
2019	2,165	0,971	0,915	0,784	1,616	2,002	1,428	1,411
ORT	2,241	0,586	0,977	0,899	1,074	1,338	1,112	1,175

Tablo 6' de yer alan veriler incelendiğinde 2012-2019 yılları ortalama değerleri bakımından araştırma kapsamında yer alan 4 firmanın 1' in üzerinde, 3 firmanın ise 1' in altında Tobin Q düzeyine sahip olduklarını görülmektedir. Özellikle Tobin Q seviyesi bakımından ilk sırada yer alan F1 kodlu firmanın tüm yıllar düzeyinde sahip olduğu 2 ve üzeri değerler firmanın varlıklarını düzgün bir biçimde işlediğini ve bu işlemlerde başarılı olduğunu göstermektedir. Ortalama değer bakımından ikinci sırada yer alan F6 kodlu firma dört yıl (2012-2014-2015-2018) 1 değerinin altında bir Tobin Q seviyesine sahip olmasına karşın özellikle 2019 yılında gösterdiği performans ile ortalama değerini 1' in üzerine çıkarmıştır. Yalnızca 2018 yılında 1 değerinin altında Tobin düzeyine sahip olan F7 kodlu firma ise sektör genelinde 3. sırada yer alabilmiştir. Tüm yıllar 1' in altında bir başarı performansı sergileyen ve araştırma kapsamındaki firmalar içinde son sırada yer alan F2 kodlu firma varlıklarının

yönetiminde başarılı olamamıştır. İncelenen yıllar düzeyinde firmaların Tobin Q oranlarında elde ettikleri değişim incelendiğinde F1 kodlu firmanın gerileme gösterdiği ve Q oranını %16,3 düzeyinde düşürdüğü görülmektedir. 1 değerinin altında yer almakla birlikte F2 kodlu firma %139 oranında bir iyileştirme başarısı göstermiştir. Ortalama değerleri 1' in altında yer alan F3 ve F4 kodlu firmalar ise sırayla %52,4 ve %45,6 oranında bir gerileme göstermişlerdir. F5 kodlu firma başarısını % 103,7, F6 kodlu firma % 112,3 ve F7 kodlu firma %27,2 düzeyinde yükseltmişlerdir.

Yıllar düzeyinde elde edilen ortalama sonuçlar incelendiğinde 2018 yılı haricinde tüm yıllar düzeyinde Kağıt ve Kağıt ürünleri sanayi sektörünün yatırımcılar için uygun bir yatırım ortamına sahip olduğu görülmektedir. Ancak bazı firmaların sahip oldukları düşük değerler hisse senedi piyasalarında yaşanan olumsuzluklar, verim düşüklüğü ve karlılığın düşük olduğunu göstermektedir. Sermaye yoğun üretim ortamına sahip olan ve teknoloji ağırlıklı üretim gücü olan Kağıt ve Kağıt ürünleri sanayi sektörünün zaman içinde bazı artış ve azalışlar yaşamasına karşın genel anlamda gösterdiği yükseliş sektörümüz, yatırımcılar ve rekabet gücü adına sevindiricidir. Bu durum özellikle gelişmekte olan ve büyüme potansiyeline sahip olan sektörlerde beklenmekte ve firmaların finansal yatırımlar yerine reel yatırımlara yönelmiş olduklarını göstermektedir. Kağıt ve kağıt ürünleri sanayi sektörü genelinde elde edilen sonuçlar yatırımcıların doğru sektörü bulabilme amacıyla, risk ve getiri ikilemi arasında, sektörü tercih edebileceklerini göstermektedir.

IV. KAYNAKLAR

- [1] E. Aksu, “Finansal Yatırımlar Açısından Kriz Dönemlerinde Tobin Q Oranının Önemi: Bora İstanbul Gıda Sektörü Üzerine Ekonometrik Analiz”, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 61, ss. 38-49, 2019.
- [2] E.B. Lindenbergeve S.A. Ross, “Tobin’s Tobin Q Ratio and industrial organization,” *Journal of Buiness*, pp. 1-32, 1981.
- [3] J. Tobin, “A general equilibrium approach to monetary theory,” *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 1, pp. 15-29, 1969.
- [4] W.G. Lewellen S.G. ve Badrinath, “On the measurement of Tobin’s Q,” *Journal of Financial Economics*, vol. 44, pp. 77-122, 1997.
- [5] K.H. Chung ve S.W. Pruitt, “A simple approximation of Tobin’s Q,” *Financial Management*, vol. 23, no. 3, pp. 70-74, 1994.
- [6] J.H. Min, ve L.J. Prather, “Tobin’s q, agency conflicts, and differential wealth effects of international joint ventures,” *Global Finance Journal*, pp. 267-283, 2001.
- [7] E. Ersoy, A. Bardakoğlu ve F. Şamiloğlu, “Türkiye’de kurumsal yönetim ve firma performansı (Tobin-Q ve anormal getiri) arasındaki ilişkinin analizi,” *Finans Politik ve Ekonomik Yorumlar*, c 48, s. 554, ss. 71-83, 2011.
- [8] S. Canbaş, H. Doğukanlı, H. Düzakın ve Ö. İskenderoğlu, “Performans ölçümünde Tobin Q oranının kullanımı: hisse senetleri İMKB’de işlem gören sanayi işletmeleri üzerinde bir deneme,” *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, s. 28, ss. 24-36, 2005.
- [9] E.H. Hobikoğlu, “Entelektüel sermayenin önemi sınıflandırılması ve ölçme yöntemleri: kuramsal bir çerçeve,” *Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 1, ss. 86-99, 2011.



- [10] G. Sevil ve M. Şen, "Hisse senetlerinin piyasa değeri ve finansal kararları arasındaki ilişkilerin Tobin-Q oranı ile belirlenmesine yönelik bir uygulama," *İktisat İşletme ve Finans*, c. 15, s. 168, ss. 4-12, 2000.
- [11] S. Canbaş, H. Doğukanlı ve H. Düzakın, "Tobin Q oranı ve günümüzde işletme kararları açısından önemi," *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 13, s. 2, ss. 57-73, 2004.
- [12] U.T. Gümüş ve Z.Ş. Avcı, "Entelektüel sermayenin firma değeri üzerindeki etkisi: Borsa İstanbul'da bir araştırma," *Journal of Current Researches on Business and Economics*, c. 9, s. 1, ss. 85-106, 2019.
- [13] M. Koçyiğit, "Havayolu işletmelerinin performansının Tobin q ile ölçülmesi," *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, s. 44, ss. 179-189, 2009.
- [14] D.A. Erdur ve E. Kara, "Relationship between number of women executives and Tobin's Q ratio: an analysis on borsa İstanbul," *İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, vol. 29, no. 3, pp. 493-507, 2015.
- [15] M. S. Abdullah, S.Z.A. Shah ve A. Hassan, "Impact corporate governance on financial performance of firms: evidence from Pakistan," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 11, no. 2, pp. 282-289, 2008.
- [16] H. Aman ve P. Nguyen, "Do stock prices reflect the corporate governance quality of Japanese firms," *Journal of the Japanese and International Economies* vol. 22, pp. 647-662, 2008.
- [17] J. J. Mcconnell ve H. Servaes, "Additional evidence on equity ownership and corporate value," *Journal of Financial Economics*, vol. 27, pp. 595-612, 1990.
- [18] K. M. Wan, "Do Ownership and Firm Performance Proxies Matter? An Empirical Study of the Relation of Ownership Structure and Firm Performance", 12. *Australian Finance and Banking Conference*, Australasian, 1990, ss.1-15.
- [19] S. Perfect, D. Peterson ve P. Peterson, "Self-tender offers: the effects of free cash flow, cash flow signalling, and the measurement of Tobin's Q," *Journal of Banking and Finance*, vol. 19, pp. 1005-1023, 1995.
- [20] İstanbul Sanayi Odası "Kağıt ve Kağıt Ürünleri İmalat Sanayi, Küresel Rekabette İstanbul Sanayi Odası Meslek Komiteleri Sektör Stratejileri Projesi, Sertifika 19176, Yayın No 2018/5, 2018.
- [21] Kamu Aydınlatma Platformu (KAP). (2020, Kasım). *Finansal raporlar*. [Online]. Erişim: <http://www.kap.org.tr>.
- [22] Borsa İstanbul (BIST). (2020, Ekim). *Finansal tablolar*. [Online]. Erişim: www.borsaistanbul.com.
- [23] D. E. Lee ve J. G. Tompkins, "A modified version of the Lewellen and Badrinath Measure of Tobin's Q," *Financial Management*, vol. 28, no. 1, pp. 20-31, 1999.
- [24] K. Özdamar, *Paket Programları İle İstatistiksel Veri Analizi*, 10. baskı, Ankara, Türkiye: Pelikan Yayıncılık, 2013, ss. 603.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yüksek Fırın Cürufu, Bazalt ve Üleksit Katkılı Beton Örneklerin Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Özelliklerinin İncelenmesi

 Mustafa EKEN ^{a,*},  Ela GÖRÜR ^b

^a İnşaat Teknolojisi Bölümü, Elbistan Meslek Yüksekokulu, İstiklal Üniversitesi, K.maraş/Elbistan, TÜRKİYE

^b İnşaat Teknolojisi Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Sütçü İmam Üniversitesi, K.maraş, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mustafaeken.me@gmail.com.tr

DOI: 10.29130/dubited.824747

ÖZET

Yapı elemanları için en önemli durabilite özelliklerinden birisi de yüksek sıcaklık etkisine maruz kaldıktan sonra göstermiş oldukları dayanımdır. Bu çalışmada, öğütülmüş yüksek fırın cürufu (İÖYFC), bazalt (BZ) ve üleksit (U) katkılarıyla üretilen beton örneklerin yüksek sıcaklık etkisi altındaki özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, TS 802 standardında belirtilen şartlara uygun beton karışımında ince agreganın yerine kütlece yüksek fırın cürufu %10-20, bazalt %10-20 ve üleksit %1-2 oranlarında eklenmiştir. Yüksek fırın cürufu, bazalt ve üleksit katkıları 7 ve 28 günlük örnekler bir saat 600 ve 800 °C sıcaklık etkisinde bırakılarak havada ve suda olmak üzere iki farklı soğutma rejimine tabi tutulmuştur. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan örnekler basınç dayanımı ve ultrasonik dalga hızı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca örnekler üzerinde 7 ve 28 günlük basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve aşınma deneyleri yapılmıştır. 600 °C yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan numunelerin havada soğutma sonrası basınç dayanım değerleri referans numunesine göre %40-%20-%8 oranlarında ve suda soğutma sonrası basınç dayanım değerleri referans numunesine göre %60-%55-%42 oranlarında İÖYFC10, İÖYFC20 ve U1 katkısının yüksek sıcaklık etkisine karşı dayanım değerlerini artırdığı göstermektedir. Bu değerlendirme ile yüksek fırın cürufu ve üleksit katkısının ince agregası olarak beton karışımında yüksek sıcaklık etkilerine karşı dayanıklı beton üretiminde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Bazalt, Yüksek fırın cürufu, Durabilite, Yüksek sıcaklık

Investigation of Properties of Blast Furnace Slag, Basalt and Ulexite Added Concrete Samples Under The Influence of High Temperature

ABSTRACT

One of the most important durability properties for structural elements is the strength they show after being exposed to high temperature effects. In this study, the properties of concrete samples produced with ground blast furnace slag (İÖYFC), basalt (BZ) and ulexite (U) additives under high temperature effect were investigated. For this purpose, 10-20% blast furnace slag, basalt 10-20% and ulexite 1-2% were added by mass instead of fine aggregate in the concrete mixture in accordance with the requirements specified in the TS 802 standard. 7 and 28 days old samples with blast furnace slag, basalt and ulexite were exposed to 600 and 800 °C temperature for one hour and subjected to two different cooling regimes, air and water. Compressive strength and ultrasonic wave velocity tests were performed on samples exposed to high temperatures. In addition, 7 and 28 days compressive strength, ultrasound velocity and abrasion tests were performed on the samples. The compressive strength values after air cooling of the samples exposed to 600 °C high temperature effect are 40% -20% -8% compared to the reference sample and the compressive strength values after cooling in water are 60% -55% -42% compared to the reference sample for GBFS10, GBFS20 and It shows that the U1 contribution increases the resistance values against the high temperature effect. With this evaluation, it has shown that blast furnace slag and ulexite admixture can be used as fine aggregate in the concrete mixture in the production of concrete resistant to high temperature effects.

Keywords: Basalt, Ground Blast Furnace Slag, Boron Wastes, Durability, High temperature

I. GİRİŞ

Beton, birçok alt ve üst yapı teknolojilerinde yaygın kullanım alanına sahip dayanım, dayanıklılık ve ekonomi gibi birçok mühendislik özelliğini karşılayan dünyada en çok kullanılan yapı malzemesidir [1]-[3]. Yapıların işlevlerini öngörülen servis ömrü boyunca yerine getirilmesine durabilite ve kalıcılık olarak tanımlanmaktadır [4]. Beton sahip olduğu işlevsellik özelliğinden dolayı hizmet süresi boyunca dayanıklılığını etkileyecek birçok fiziksel, kimyasal ve çevresel etkilere maruz kalabilmektedir [5]. Betonun maruz kaldığı durabilite problemleri arasında yüksek sıcaklık etkisi en önemli parametrelerinden birisi olarak kabul edilmektedir. Betonun özellikle yüksek sıcaklıklarda göstermiş olduğu direnç ve betonun alev almayan, duman çıkarmayan malzeme özelliğine sahip olması betonu diğer yapı malzemelerden (çelik, ahşap, plastik,seramik) ayıran diğer bir özelliğidir. Fakat bu özelliğinin belirli sıcaklıklarla sınırlı olduğu unutulmamalıdır [6]. Durabiliteyi etkileyen fiziksel ve kimyasal olaylardan bir diğeri de betonun aşınmaya karşı göstermiş olduğu dirençtir. Beton karışımının içerisine farklı malzemelerin eklenmesiyle betonun aşınmaya karşı göstermiş olduğu direnç artırılarak betonun performansı geliştirilebilmektedir [5].

Beton hacminin %75'lik kısmını oluşturan agregaların mineral yapısı betonun mekanik özelliklerini etkilemektedir. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan örneklerin soğutma türüne göre basınç dayanım değerlerinde değişiklikler meydana gelmektedir. Havada soğutulan örneklerin basınç dayanım değerlerinde meydana gelen azalma suda soğutmaya tabi tutulan örneklere oranla daha azdır [7]-[10]. Shoaib vd., [11] yaptıkları çalışmada iki farklı cüruf kullanılarak üç farklı su/çimento oranlarıyla üretilen numuneler 2 saat süreyle 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmışlar ve numuneleri havada, suda ve fırında soğutmuşlardır. Araştırmacılar soğutma türüne bağlı olarak basınç dayanımlarında farklılıklar belirlemişlerdir. Havada soğutulan numunelerin basınç dayanım değerinde meydana gelen azalmanın suda ve fırında soğutulmaya bırakılan numunelerden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu basınç dayanım değerlerinde meydana gelen farklılığın CaO'in CaCO₃'a dönüşmesiyle açıklanmıştır. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan betonlarda agregalar ile çimento matrisi arasında bulunan bağ zayıflayarak çatlamalara neden olmaktadır [12]. Meydana gelen çatlakların oluşumunu engellemek ve azaltmak için farklı yöntemler kullanılmaktadır [13]-[14]. Betonun servis ömrü boyunca iç ve dış etkilere karşı direncini yüksek tutması betonda dayanıklılık ya da kalıcılık olarak adlandırılmaktadır. Bu yüzden betondan mekanik etkilere karşı göstermiş olduğu dayanım dışında fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkilere karşı da direnç göstermesi beklenmektedir. Bu direnci artırabilmek için beton üretiminde farklı tipte katkı maddeleri kullanılmaktadır. Ayrıca, gelişmeye açık ya da gelişmiş ülkelerde enerji tüketimi kaynak kullanımı ile birlikte artmakta ve sonucunda atık ürünler ortaya çıkmaktadır. Böylece, çevre kirliliği sorunları ve ekolojik dengede bozukluklar meydana gelmektedir. Bu olumsuzluğu minimize etme amacıyla özellikle son yıllarda, yapı malzemelerin üretiminde atık malzemelerin kullanımı yaygın hale getirilmeye çalışılmaktadır. Yurt ve arkadaşları (2018) yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve uçucu kül katkılı kendiliğinden yerleşen betonların düşük sıcaklıklarda farklı kür koşullarına maruz bırakılması sonucu ultrases geçiş hızı ve rezonans frekansı gibi tahribatsız deney yöntemleri ile meydana gelebilecek değişimleri incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve uçucu kül katkılı beton örneklerinin düşük sıcaklıklarda maruz kalma sürelerinin artması ile dinamik elastisite modülü ve ultrases geçiş hız değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir [15]. Yüksel ve arkadaşları (2007) granüle yüksek fırın cürufunu ince agrega yerine ikame ederek ürettikleri beton örneklerinin mekanik özelliklerini iyileştirdiklerini belirtmişlerdir [16]. Çam ve arkadaşları (2019) granüle yüksek fırın cürufunun beton numuneleri üretiminde agregadan ikame edilerek kullanılabileceğini belirtmişlerdir [17].

Betonun direncinin artırılması konusunda farklı katkı maddelerinin kullanılması önerilmektedir. Bu maddelerden birisi de bor madenidir. Dünyada bor madenleri endüstrinin çeşitli dallarında kullanılarak farklı malzemelerin üretiminde değerlendirilmektedir. Türkiye Dünya bor rezervinin % 72'lik oranına sahip olması ile önemli bir ekonomik avantaja sahiptir [18]-[19]. Bor elementi doğada Na(sodyum), Ca (kalsiyum) ve Mg (magnezyum) oksitlerine bağlı içerisinde kristal suyu bulunan ve bor tuzu adı verilen mineraller halinde bulunmaktadır. Bu minerallerden Üleksit, Kolemanit ve Tinkal Türkiye'de

çıkarılan ve ticari önem arz eden bor tuzlarıdır [20]. Bor içeren killi atıklar kullanılarak yapılan çalışmada; çimento üretimine ek katkı olarak kullanma oranının %5-%10 arasında faydalı olduğunu belirtmişlerdir [21].

Diğer bir katkı olarak kullanılan yüksek fırın cürufu, demir üretimi sırasında ortaya çıkan ve büyük miktarda aktif silis içeren atık üründür [22]. Öğütülmüş cüruf taze betonda işlenebilirliğe olumlu yönde katkı sağlarken betonda meydana gelebilecek terleme oranını düşürmektedir ve betonun dayanıklılığa ve dayanıma olumlu katkıları bulunmaktadır [23]-[24]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, puzolanların farklı karışım kombinasyonları denenerek betonun mekanik ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir [25]. Beycioğlu ve arkadaşları (2008) granüle yüksek fırın cürufu katkısının taze betonda işlenebilmeyi olumlu yönde etkilediği, durabilite problemlerine karşı dayanımı arttırdığı ve betonun teknolojik özelliklerini iyileştirdiğini ifade etmişlerdir [26]. Kürklü (2016) yaptığı çalışmada, granüle yüksek fırın cürufunun geopolimer harç üretiminde ve agregadan ikame edilerek kullanılabilirliğini araştırmıştır. Araştırmada numuneler üzerinde bazı mekanik ve fiziksel deneyler gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak granüle yüksek fırın cürufunun agrega ve geopolimer harç üretiminde kullanılabilmesini ortaya koymuştur [27].

Doğada yaygın halde bulunan esas olarak feldspattan oluşan doğal taşlar sınıflandırmasında yer alan volkanik kayalardan birisi olan bazalt [28] sahip olduğu yüksek fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı endüstrinin birçok farklı alanlarında kullanılmaktadır [29]. Pek (2014) yaptığı çalışmada, bazalt agregasının betonda kullanımını araştırmak için işlenebilirlik, granülometri, beton basınç dayanımı, ve ASR deneyleri gerçekleştirmiştir. Araştırma sonuçları bazaltın deniz yapılarında üretilen betonlarda agrega olarak kullanılabilmesini göstermiştir [30].

Beton sektöründe agrega temini deniz veya nehir gibi doğal kaynaklardan karşılanmaktadır. Özellikle çimento/beton üretimindeki artış miktarı dikkate alındığında ince agrega temininde bazı malzeme yetersizlikleri yaşanmaktadır [31]-[32]. Yapılan literatür taramasında, geleneksel betonda farklı atıklar çimentodan ikame edilerek kullanılmakta ve geleneksel betonun durabilitesini arttırdığı ifade edilmektedir. Bu çalışmada da, demir çelik fabrika yan ürünü olan granüle yüksek fırın cürufu (İÖYFC), bor atığı olan Üleksit (U) ve Bazalt (BZ) gibi farklı katkıları ince agregadan ikame edilerek 600 ve 800 °C yüksek sıcaklıklar etkisi altında iki farklı soğutma rejimine karşı gösterdikleri davranışları ve aşınma, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapılarak özellikleri incelenmiştir. Aynı zamanda kullanılan yan ürünlerin optimum ikame oranları belirlenmiştir.

II. MATERYAL ve YÖNTEM

A. MALZEMELER

Bu çalışma kapsamında, kullanılan çimento CEM I 42.5 tipi, farklı oranlarda katkı malzemesi olarak Üleksit (U), Yüksek fırın cürufu (İÖYFC) ve Bazalt (BZ) kullanılmış ve bu katkı malzemelerinin betonun durabilitesine olan etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan üleksit ETİ Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nden, yüksek fırın cürufu İskenderun Demir Çelik Fabrikası'ndan temin edilmiş; bazalt ise Osmaniye-Çukurova bölgesinden elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan CEM I 42.5 çimento, yüksek fırın cürufu, bazalt ve üleksitin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla alınan örnekler üzerinde ETİ Maden Şirketine ait laboratuvarında deneyler ve analizler yapılmış elde edilen sonuçlar Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

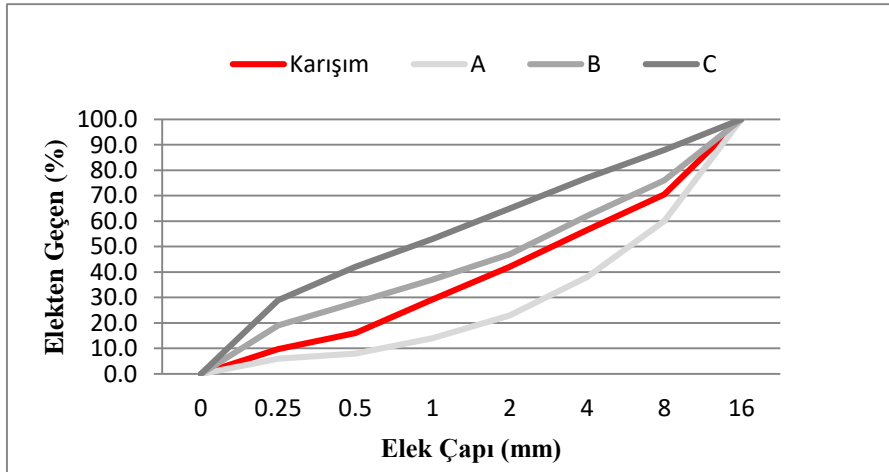
Tablo 1. CEM I çimento, yüksek fırın cürufu, bazalt ve üleksitin fiziksel özellikleri

	BZ	U	İÖYFC	CEM I 42.5
Özgül Ağırlık g/cm ³	2.7	2.52	2.87	3.16
Boyut	0-1 mm	0-1 mm	0-1 mm	3783 cm ² /g

Tablo 2. Üleksit, yüksek fırın cürufu ve bazaltın kimyasal özellikleri

Bileşenler (%)	BZ	İÖYFC	U	CEM I 42,5
SiO ₂	42.41	37.89	4	20,02
Al ₂ O ₃	14.35	10.29	0.25	4,87
Fe ₂ O ₃	11.95	0.95	0.04	3,44
CaO	10.46	35.86	19	62,49
MgO	7.92	7.38	2.5	2,81
Na ₂ O+K ₂ O	6.57	1.5	3.5	0,91
B ₂ O ₃	-	-	37	-
SO ₄	-	-	0.25	-
SO ₃	-	-	-	2,86
Serbest CaO	-	-	-	0,48
SrO	-	-	1	-
Kızdırma Kaybı	3	0	32.46	2,04

Bu çalışmada kullanılan agregalar Kahramanmaraş – Aksu bölgesinden alınarak yıkanmış ve elenmiş hale geldikten sonra kullanılmıştır. Deneylede kullanılan agregaların granülometrisi Şekil 1’de, fiziksel özellikleri ise Tablo 3’ te verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan agreganın granülometrisi
Tablo 3. Agreganın fiziksel özellikleri

Özellik	İnce Agregası	İri Agregası
Özgül Ağırlık(g/cm ³)	2.65	2.70
Sıkışık Birim Ağırlık(g/cm ³)	1.90	1.79
Gevşek Birim Ağırlık(g/cm ³)	1.70	1.65
Su Emme Kapasitesi(%)	2.30	1.32

B. MALZEMELERİN KARIŞIM ORANLARI

B. 1. Beton Karışımları

Bu çalışma kapsamında üretilen beton örneklerinin karışım esasları TS 802 [33] dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu standarda uygun olarak yapılan beton karışımında ince agreganın yerine % 10 ve 20 oranında yüksek fırın cürufu (İÖYFC), % 10 ve 20 oranlarında bazalt (BZ) ve % 1 ve 2 oranlarında ise Üleksit (U) yer değiştirilmiştir. Örneklerin üretimine ait özellikler Tablo 4'te verilmiştir. Bu karışım oranları dikkate alınarak her seri için üçer adet 10x10x10 cm boyutlarında küp beton örnekleri elde edilmiştir.

Tablo 4. 1 m³ beton karışımı için malzeme oranları ve örneklerin isimleri

Örnek Adı	Beton Bileşenleri					Yaş Beton Özellikleri	
	Su (kg/m ³)	Çimento (kg/m ³)	Kum (kg/m ³)	Çakıl (kg/m ³)	Katkı (kg/m ³)	Slump (mm)	Beton Isısı (°C)
R	165	300	760	1165	0	82	20
U1	165	300	752.4	1165	7.6	80	19
U2	165	300	744.8	1165	15.2	84	19
BZ10	165	300	684	1165	76	70	20
BZ20	165	300	608	1165	152	62	20
İÖYFC10	165	300	684	1165	76	65	20
İÖYFC20	165	300	608	1165	152	67	20

B. 2. Uygulanan Testler

Üretilen numuneler üzerinde kür süresine bağlı basınç dayanımı, sıcaklık derecesinin basınç dayanımına etkisi, ultrases hızı ve beton yüzeylerin aşınma tayini deneyleri yapılmıştır. Elde edilen deneysel veriler "Bulgular ve Tartışma" başlığı altında verilmiştir.

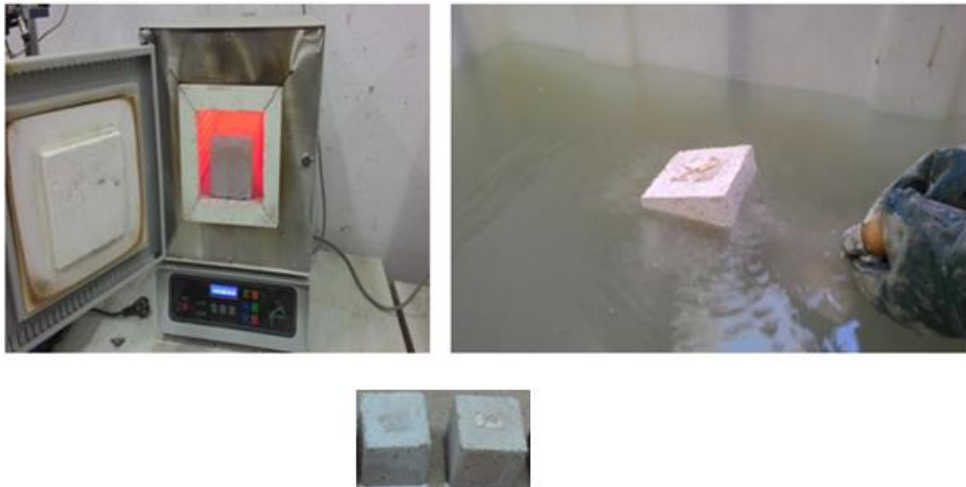
B. 2. 1. Basınç Dayanımı

Betonun mekanik özelliği genellikle basınç dayanımı ile değerlendirilmektedir. Farklı katkılarla üretilen beton numunelerin basınç dayanım değerleri TS EN 12390-3 standardına göre hesaplanmıştır [34].

B. 2. 2. Beton Örneklerinin Yüksek Sıcaklık Dayanımı

Beton sahip olduğu yanmazlık özelliği ve ısı iletiminde iyi olmaması nedeniyle çeliği yüksek sıcaklıklara karşı korur ve yapıların yüksek sıcaklıklara karşı dayanımını arttırmaktadır. Meydana gelen dayanım kayıpları, kullanılan yan ürün malzemelerin özelliklerine, optimum katkı oranı miktarına, sıcaklık derecesine, sıcaklığa maruz kalma süresine ve soğutma şekillerine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir [35]. Sıcaklık değişimi arttıkça $Ca(OH)_2$ yapısında bozulmalar meydana gelmektedir. Literatür taramalarında Ariöz (2007), Aydın ve Baradan (2007) ve Topçu (2008) yaptıkları çalışmalarda 250-420°C'de beton yüzeyinde parça kopmaları, bozulmalar ve güç kayıpları, 550-600 °C'deki sıcaklıklarda yük taşıma kapasitesinde azalma, betonda hasarlar, 800°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda beton tam anlamıyla bileşenlerine ayrılarak güç ve ağırlık kaybına maruz kalmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla betonda meydana gelen bozulmaları ve Luo (2007) sıcaklık artışının betonda meydana getirdiği değişimleri ifade etmektedirler [36-39].

Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi yapı malzemeleri laboratuvarında üretilen ve kalıpta 24 saat tutulan numuneler kür havuzunda bekletilmiştir. Başlangıç olarak ısı derecesi 250°C daha sonra eşit aralıklarla sıcaklık değerleri kül fırını içerisinde 600°C'de 800°C'de olmak üzere iki farklı sıcaklıkta bir saat bekletilmiş ve numuneler yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra hava ve suda olmak üzere iki farklı koşulda soğutulmuştur (Şekil 2). Yüksek sıcaklıklara maruz kalan numunelerin renk değişimi göstermektedir. Oda sıcaklığında ve kür şartlarında olmak üzere iki farklı ortamda (hava ve su), soğutma türü uygulanan örneklerinde basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve örneklerin basınç dayanımları belirlenmiştir.



Şekil 2. Yüksek sıcaklık etkisi deney aşamaları

B. 2. 3. Ultrases Geçiş Hızı

Dalga hızının yayılım hızının boşluk oranı arttıkça azaldığı bilinmektedir. Bu özellik kullanılarak malzeme içerisindeki boşlukların varlığı hakkında bilgi elde etmek mümkündür. Ultrases geçiş hızı aşağıdaki bağlantı ile hesaplanmaktadır.

$$V = \left(\frac{S}{t}\right) * 10^6$$

(1)

Burada;

V=P dalga hızı (kilometre/saniye)

S=İki malzeme arasındaki mesafe (kilometre),

t=P dalganın ulaşma süresi (mikrosaniye).

B.2. 4. Beton Yüzey Aşınmalarının Tayini

Beton yüzeylerin aşınma tayini TS 2824'e [40] uygun olarak kenar uzunlukları 70.7x70.7x70.7 olan küp biçiminde 14 deney örneği hazırlanmış ve 16 çevrim sonunda örneklerin aşınma direnci aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho r}$$

(3)

Burada;

ΔV = 16 Çevrimden sonra hacim kaybı (cm³)

Δm = 16 Çevrimden sonra kütle azalması (gr)

ρ = Numunenin yoğunluğu, çok katlı numunede aşınmaya maruz tabakanın yoğunluğu (gr/cm³)

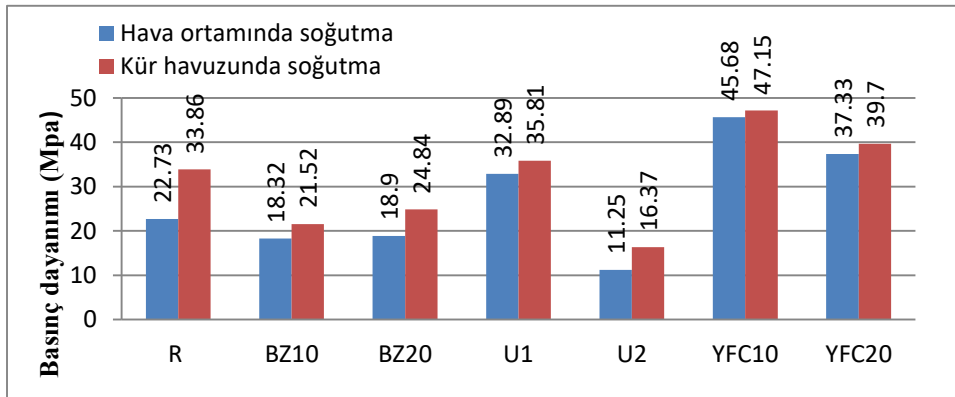
A= 50 cm² dir.

III. BULGULAR ve TARTIŞMALAR

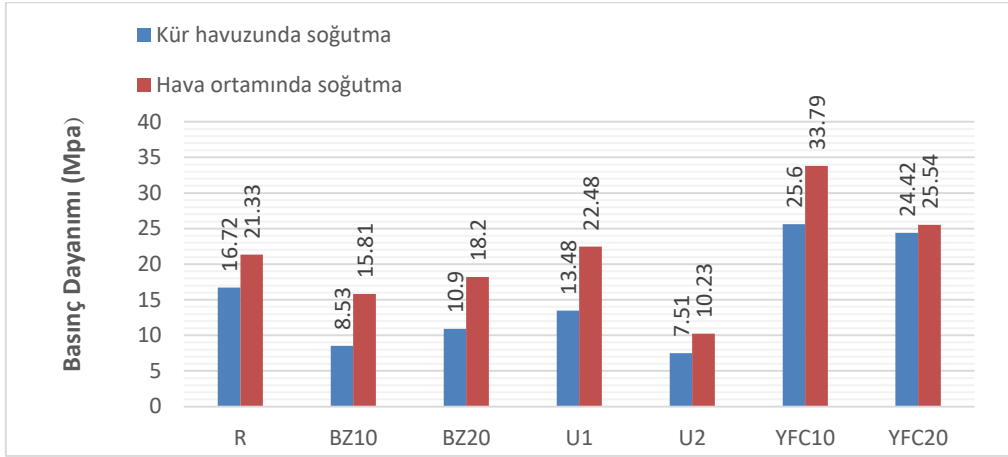
Yüksek fırın cürufu, bazalt ve üleksit katkı örnekleri kullanılarak hazırlanan beton örneklerinde gerçekleştirilen, laboratuvar deneylerine ait sonuçlar değerlendirilerek, hangi katkı türü ve oranının hangi oranda betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkili olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

A. BASINÇ DAYANIMI

Hava ortamında ve kür havuzunda soğutmaya bırakılan katkılı örneklerin 600 °C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra basınç dayanımı Şekil 3' te, 800 °C 'deki basınç dayanımları da Şekil 4' de verilmiştir.



Şekil 3. Hava ve kür ortamında soğutulan örneklerin 600 °C 'deki basınç dayanımı değerleri

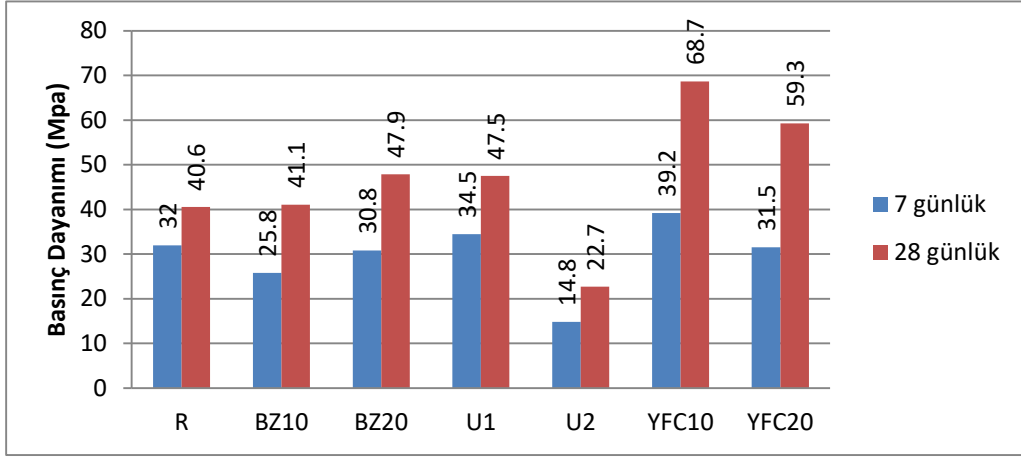


Şekil 4. Hava ve kür ortamında soğutulan örneklerin 800 °C 'deki basınç dayanımı değerleri

Yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra çeşitli soğutma rejimlerine tabi tutulan betona ait basınç dayanımına ait grafikler Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde; sıcaklık arttıkça betonun basınç dayanımının azaldığı ve betonun 800 °C sonrasındaki basınç dayanımının, 600 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımına göre daha düşük olduğu görülmektedir. 600 °C sıcaklıkta ve hava ortamında soğutma türüne maruz kalan R %45, BZ10 %55, BZ20 %62, U1 %34, U2 %50, İÖYFC10 %33 ve İÖYFC20 %35 dayanım kaybına maruz kalmıştır. 600 °C sıcaklıkta ve kür havuzunda soğutma türüne maruz kalan R %20, BZ10 %45, BZ20 %48, U1 %26, U2 %30, İÖYFC10 %30 ve İÖYFC20 %31 dayanım kaybına maruz kalmıştır. 800 °C sıcaklıkta ve hava ortamında soğutma türüne maruz kalan R % 48, BZ10 %62, BZ20 %61, U1 %52, U2 %55, İÖYFC10 %51 ve İÖYFC20 %56 dayanım kaybına maruz kalmıştır. 800 °C sıcaklıkta ve kür havuzunda soğutma türüne maruz kalan R %60, BZ10 %80, BZ20 %79, U1 %72, U2 %66, İÖYFC10 %63 ve İÖYFC20 %58 dayanım kaybına maruz kalmıştır. Farklı katkı grupları ile katkısız grup karşılaştırıldığında, soğutma şekline göre basınç dayanımları ile sıcaklık arasındaki ilişki farklılıklar göstermektedir. 600 °C sıcaklığa maruz kalan numuneler soğutma türüne göre değerlendirildiğinde su ile soğutmaya tabi tutulan beton numunesindeki dayanım kaybı, havada soğutulan betona kıyasla daha düşüktür. Havada soğutma durumunda sıcaklığın düşme süresi uzun sürmekte ve daha uzun süre atmosferik ortamdaki şartlara maruz kalmakta, bu süreçte CaCO_3 ayrışarak geri oluşan CaO hacim genişlemesi oluşumuna neden olmaktadır [41]. 800 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin soğutma türüne göre basınç dayanım değerleri incelendiğinde suda soğutulan numunelerin basınç dayanım değerleri havada soğutulmuş numunelere oranla daha düşük çıkmaktadır. Meydana gelen basınç dayanım düşüklüğünü yüksek sıcaklık sonrası su ile soğutulan numunelerin hızlı soğuma ile termal şok etkisi göstermesi ile açıklanabilir [42]-[44].

B. KÜR SÜRESİNE BAĞLI BASINÇ DAYANIMI

Bu çalışmada farklı katkı maddeleri ve oranları dikkate alınarak elde edilen beton örneklerinin farklı kür süreleri sonucundaki basınç dayanımlarına ait grafikler Şekil 5'de verilmiştir.



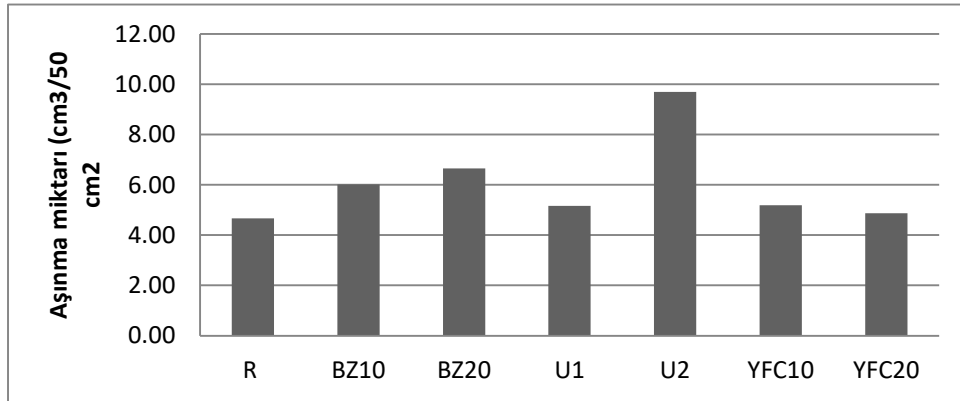
Şekil 5. Kür süresine bağılı olarak beton örneklerinin basınç dayanımındaki değişimler

Beton zamana bağılı olarak dayanım kazanan bir yapı malzemesidir ve genel olarak 7 günde öngörülen dayanıma 28 günde ise maksimum dayanımının yaklaşık %70' ine ulaşır. Yapılan araştırmalarda [45] 28 günlük dayanım standart dayanım kabul edilmiştir.

7 günlük kür sonrası basınç dayanım değeri 39,2 MPa ile en yüksek sonucu veren örnekler İÖYFC10 katkılı beton örneği iken, en düşük basınç dayanımı değeri veren örnek ise 14,8 MPa ile U2 katkılı beton örneğidir. 28 günlük kür sonrası basınç dayanımı değerleri incelendiğinde; U2 katkılı örnek hariç tüm katkılı örneklerin değerleri referans örneğinden BZ10 % 2, BZ20 %18, U1 %17, İÖYFC10 %67, İÖYFC20 %49 oranları ile daha yüksek çıkmıştır. Farklı kür sürelerinde en yüksek basınç dayanım değerini YFC katkılı örnekler göstermiştir.

C. BETON YÜZEYLERİN AŞINMA TAYİNİ

Farklı tip katkı malzemeler kullanılarak üretilen numunelerin aşınma dirençlerine ait değerlerin değişim grafiği Şekil 6'da verilmiştir.



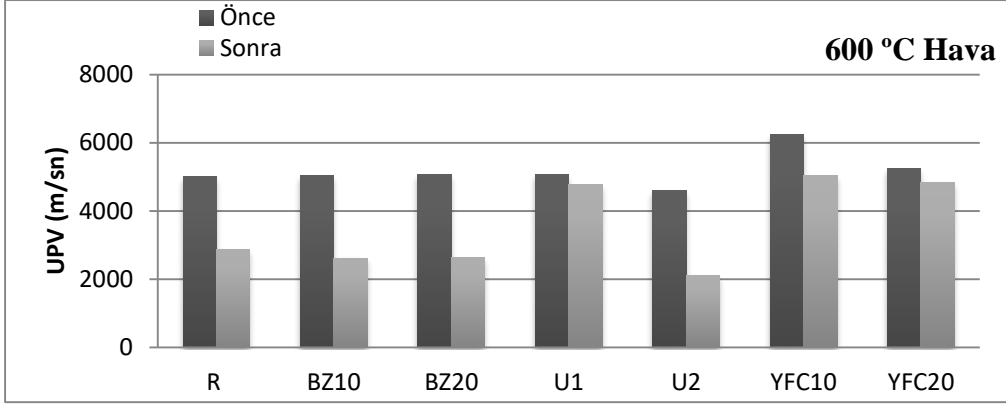
Şekil 6. Beton örneklerinin aşınma direncindeki değişimler

Referans, İÖYFC, BZ ve U katkılı beton örneklerinin 28 günlük aşınma değerlerinin görüldüğü Şekil 7'deki grafiğe göre; en fazla aşınmanın meydana geldiği beton örneği U2'dir. Beton örneklerinin aşınma değerleri ile basınç değerleri karşılaştırıldığında bu değerler arasında doğru bir orantı olduğunu görmek mümkündür. Aşınma dayanımının artığı beton örneklerinin basınç dayanımları da artmaktadır. Nitekim Atiş (2002) [46] yaptığı çalışmada benzer sonuçlara ulaşmış ve betonun aşınmaya karşı

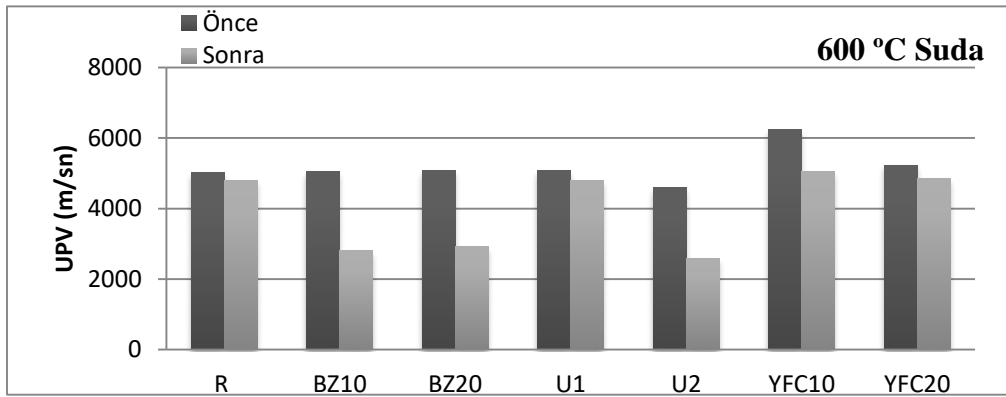
göstermiş olduğu direnç ile beton basınç dayanım değeri arasında benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir.

D. ULTRASES GEÇİŞ HIZI DENEYİ

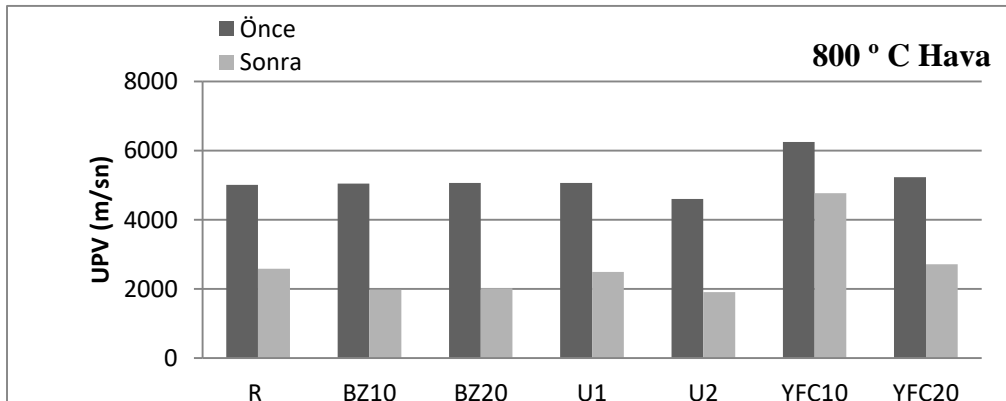
Örnekler üzerinde elde edilen ultrases geçiş hızı değerleri Şekil 7’de verilmiştir.



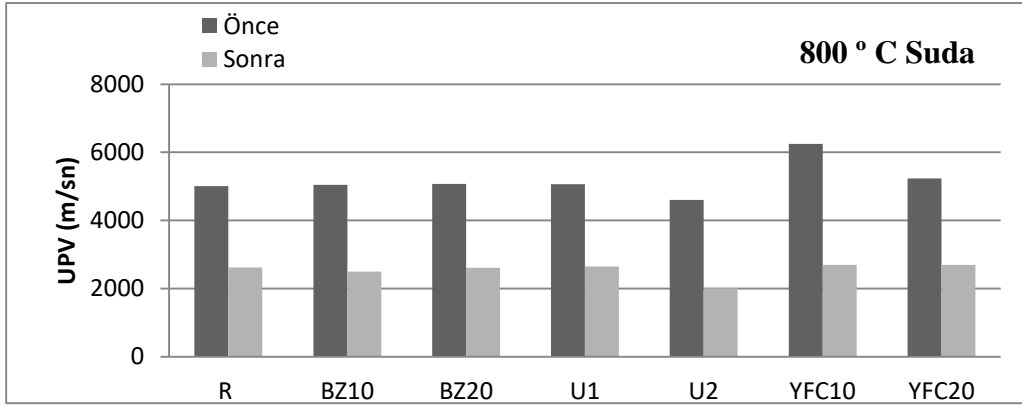
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7. Beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerleri

Beton örneklerinin mekanik özellikleri ile ultrases geçiş hızı (upv) değerleri arasında bir bağlantı olduğu bilinmektedir. Ultrases geçiş hızı değerleri sonuçları örneklerin gözenek yapısına, numune yoğunluğu gibi özelliklere bağlıdır [47]. Daha sağlam ve boşluksuz ve dolayısıyla dayanımlı malzemelerde ultrases geçiş hızı daha hızlı yayılım gösterirler.

Beton örnekleri 600 ve 800 °C sıcaklık değerlerine maruz bırakılmadan önce UPV değerleri ölçüldü. Oda şartlarında 28 günlük numunelerin upv değerleri 4600 - 6245 m/s arasında değişiklik göstermektedir. Aynı örnekler yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra tekrar upv ölçümleri gerçekleştirildi. 600 °C için havada ve suda soğutma ortamlarına göre sırasıyla upv değerleri; 2100 - 5044 m/s ve 2587 - 4837 m/s arasındaki değerlere düştüğü görülmektedir. 800 °C için havada ve suda soğutma sonuçları ise; 1904 - 4768 m/s ve 2010 - 2690 m/s arasına düşmektedir. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan beton örneklerin upv değerleri örneklerin basınç dayanım değerlerini de desteklemektedir [48].

IV. SONUÇ

Yüksek fırın cürufu, bazalt ve üleksit gibi farklı katkıları ile üretilen beton örnekleri oda şartlarında ve su yöntemiyle soğutulmuş ve örneklerin yüksek sıcaklık, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve aşınma ve gibi durabilite özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

- **Basınç Dayanımı:** Yüksek fırın cürufu, bazalt ve üleksit katkıları ile üretilen beton örneklerinin 7 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde Referans numunesine göre %22 artış oranı ile en fazla dayanım değerini İÖYFC10 numunesi göstermiştir. 28 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde Referans numunesine oranla %67 artış miktarı ile İÖYFC10 numunesi en yüksek basınç dayanım değerine sahiptir. İÖYFC katkıları ile üretilen beton örneklerinin basınç dayanım değerlerinin referans numunesine göre yüksek çıkması mineral katkıları ile üretilen betonların boşluk oranını azaltması ile açıklanabilir.
- **Yüksek Sıcaklık:** 600 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan beton örnekleri soğutma türüne göre değerlendirildiğinde suda soğutulan örneklerden İÖYFC10 ve U1 katkıları ile üretilen örnekler sırasıyla %30 - %34 oranı ile en az dayanım kaybı gösteren örnekler olmuştur. 600 °C yüksek sıcaklığa maruz ve hava ortamında soğutmaya bırakılan örnekler arasında en az dayanım kaybı gösteren numune % 33 oranına sahip İÖYFC10 numunesi olmuştur. 800 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan beton örnekleri soğutma türüne göre değerlendirildiğinde suda

soğutulan örneklerden İÖYFC20 katkılı numune %58 oranı ile en az dayanım kaybı gösteren numune olmuştur. 800 °C yüksek sıcaklığa maruz ve hava ortamında soğutmaya bırakılan numuneler arasında en az dayanım kaybı gösteren numune %51 orana sahip İÖYFC10 numunesi olmuştur. 800 °C suda soğutulan örneklerin havada soğutulan örneklere göre daha çok dayanım kaybı yaşadığı gözlemlenmektedir. Bu durum suda soğutulan örneklerin termal şok etkisine maruz kaldığı ile açıklanabilir. Yüksek sıcaklık etkisi altında mineral katkılı örneklerden İÖYFC katkılı numunelerin dayanım kayıp oranlarının düşük olması eklendikleri betonların yapısını yoğunlaştırması ile açıklanabilir.

- *Aşınma*: Farklı tip katkı malzemeler kullanılarak üretilen numunelerin aşınma dirençlerine ait değerler incelendiğinde en fazla aşınmaya maruz kalan numune U2 katkılı numune olmuştur. Aşınma miktarının fazla olması üleksit mineralinin sertlik değerinin düşük olması ile bağdaştırılabilir. Ayrıca basınç dayanımında elde edilen değerlerde bu açıklamayı desteklemektedir.
- *Ultrases Geçiş Hızı*: Ultrases geçiş hızlarının yayılması üretilen malzemelerin gözenek yapısına ve yoğunluğuna bağlıdır. 600 °C ve 800 °C sıcaklıklarına maruz bırakılan numunelerde en iyi upv değerleri İÖYFC katkılı örneklerden elde edilmiştir. Upv deneyinden elde edilen sonuçların basınç dayanım değeri sonuçları ile bağlantılı olduğu belirtilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma endüstriyel yan ve atık ürünlerin beton teknolojisinde kullanılmasıyla betonun maruz kalacağı yüksek sıcaklık, dayanım ve aşınma gibi bazı durabilite özelliklerini iyileştirdiği görülmektedir. Ayrıca, beton teknolojisinin teknik, ekonomik ve sürdürülebilirlik avantajları ile gelişmesine katkı sağlayacaktır.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Binici, M.Y. Durgun, T. Rızaoğlu, M. Koluçolak, “Investigation of durability properties of concrete pipes incorporating blast furnace slag and ground basaltic pumice as fine aggregates,” *Sharif Univ. Tech.*, vol. 19, pp. 366-372, 2012.
- [2] K. Hyeok-Jung, P. Sang-Min, k. Subbiah, K. Seung-Jun, “Durability performance evaluation of concrete containing TDFA (Tire Derived Fuel Ash),” *Construction and Building Materials*, vol. 133, pp. 376-386, 2017.
- [3] H. Ulusu, H.Y. Aruntas, O. Gencil, “Investigation on characteristics of blended cements containing pumice,” *Construction and Building Materials*, vol. 118, pp. 11-19, 2016.
- [4] B. Baradan, S. Aydın, “Betonun Durabilitesi”, Hazır Beton Kongresi. İstanbul, 2013.
- [5] T.Y. Erdoğan, *Beton*, Ankara, Türkiye: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, 2010.
- [6] A. M. Neville, *Properties of Concrete Fourth Edition*, New York/USA, Longman Scientific and Technical, 2000.
- [7] P. H. Perkins, *Repair, Protection and Waterproofing, of Concrete Structures*, England, Elsevier Applied Science Publishers, 1986.
- [8] C. Alonso, C. Andrade, M. Castellote and G. Khoury “Microstructure–Solid Phases. Course on Effect of Heat on Concrete”, *International Centre for Mechanical Sciences (CISM)*, 2003, pp. 9-13.
- [9] B. Postacıoğlu, *Beton*, İstanbul, Türkiye: Teknik Kitaplar Yayınevi, 1987.

- [10] N. Yüzer, F. Aköz, ve L. Öztürk, “Compressive Strength – Color Change Relation in Mortars at High Temperature,” *Cement and Concrete Research*, vol. 34, pp.1803-1807, 2004.
- [11] M. M. Shoaib, S. A. Ahmed, ve M. M. Balaha, “Effect of Fire and Cooling Mode on the Properties of Slag Mortars,” *Cement and Concrete Research*, vol. 31, pp. 1533-1538, 2001.
- [12] M. Abid, X. Hou, W. Zheng, R.R. Hussain, “High temperature and residual properties of reactive powder concrete – A review,” *Construction and Building Materials*, vol. 147, pp. 339–351, 2017.
- [13] R. Abaeian, P. Behbahani, S.J. Moslem, “Effects of high temperatures on mechanical behavior of high strength concrete reinforced with high performance synthetic macro polypropylene (HPP) fibres,” *Construction and Building Materials*, vol. 165, pp. 631–638, 2018.
- [14] F. Köksal, M.A. Serrano-Lopez, M. Sahin, O. Gencel, C. Lopez-Colina, “Combined effect of steel fibre and expanded vermiculite on properties of lightweight mortar at elevated temperatures,” *Mater. Struct.* vol. 48, pp. 2083–2092 2015.
- [15] Ü. Yurt, M. Emiroğlu, “Kendiliğinden yerleşen betonların düşük sıcaklıklardaki davranışının tahribatsız yöntemlerle incelenmesi,” *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, c. 6, ss. 8-15, 2018.
- [16] İ. Yüksel, T. Bilir, Ö. Özkan, “Durability of Concrete Incorporating NonGround Blast Furnace Slag and Bottom Ash as Fine Aggregate,” *Building and Environment*, vol. 42, pp. 2651-2659, 2007.
- [17] A. Çam, O. Gencel, M. Durgun, “İnce agrega olarak granüle yüksek fırın cürufunun beton özelliklerine etkisi,” 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, Ankara, 2019.
- [18] R. S. Çelik, M. F. Kocabeyler, E. Tunç, A. Sağlık, O. Sümer, “Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu ve DSİ Projelerinde Uygulanabilirliği,” *DSİ Teknik Bülten*, c. 105, ss. 1-23, 2009.
- [19] Etimaden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, *Bor sektör raporu*, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, 2018.
- [20] Etimaden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. (2019, 30 Mart). [Online]. Erişim: <https://www.etimaden.gov.tr>
- [21] M. Özdemir ve N. U. Öztürk, “Utilization Of Clay Wastes Containing Boron As Cement Additives,” *Cement and Concrete Research*, vol. 33, pp. 1659-1661, 2003.
- [22] M. Tokyay ve K. Erdoğan, *Cürüfler ve Cürüflü Çimentolar*, Ankara, Türkiye: Çimento Müstahsilleri Birliği, 2009.
- [23] M. Uysal, “Mineral Katkılar Kullanılarak Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özelliklerinin ve Dayanıklılığının İncelenmesi,” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2010.
- [24] H. Binici, M. Eken, ve A. Dinçer, “Silis Dumanı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Bazı Durabilite Özellikleri,” *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 28, ss. 11-20, 2013.
- [25] H. Yazıcı, M. Y. Yardımcı, S. Aydın, ve A. S. Karabulut, “Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete Containing Mineral Admixtures Under Different Curing Regimes,” *Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 1223-1233, 2009.

- [26] A. Beycioğlu, C. Başyığıt, S. Subaşı, “Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanımı ile geri kazanılması ve çevresel etkilerinin azaltılması,” Çevre Sorunları Sempozyumu, Kocaeli, 2008.
- [27] G. Kürklü, “Oda Sıcaklığında Kür Edilen Granüle Yüksek Fırın Cürufllu Geopolimer Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 16, ss. 356-367, 2016.
- [28] L. Laibao, Y. Yunsheng, Z. Wenhua, Z. Zhiyong, Z. Lihua, “Investigating The Influence Of Basalt As Mineral Admixture On Hydration and Microstructure Formation Mechanism Of Cement,” *Construction and Building Materials*, vol. 48, pp. 434-440, 2013.
- [29] M. Halifeoğlu ve N. Dalkılıç, “Tarihten Günümüze Diyarbakır Bazaltının Gelişim Süreci ve Bugünkü Kullanım Alanları,” I. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, İstanbul, 2002.
- [30] N. Pek “Beton Deniz Yapılarında Bazalt Agregası Kullanımı,” İMO Teknik Dergi, İzmir, 2014.
- [31] S. Laserna, J. Montero, “Influence of natural aggregates typology on recycled concrete strength properties,” *Construction and Building Materials*, vol. 115, pp. 78-86, 2016.
- [32] A. Rashad, “Cementitious materials and agricultural wastes as natural fine aggregate replacement in conventional mortar and concrete,” *Journal of Building Engineering*, vol. 5, pp. 119-141, 2016.
- [33] TS 802, “Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları,” *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara 2016.
- [34] TS EN 12390-3 “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini,” *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)*, Ankara, 2019.
- [35] H. Açikel, “Betonarme kısa kolonların yangın dayanımlarının çeşitli parametreler açısından irdelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2017.
- [36] Ö. Ariöz, “Effects of elevated temperatures on properties of concrete,” *Fire Safety Journal*, vol. 42, pp. 516- 522, 2007.
- [37] S. Aydın, B. Bardan, “Yüksek sıcaklığa dayanıklı harç geliştirilmesi”, TMMOB 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 2003.
- [38] İ. B. Topçu, A. Demir, “Uçucu kül katkılı harçlarda yüksek sıcaklık etkisi, ” 6.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 2005.
- [39] H. L. Luo, D. F. Lin, “Study the surface color of sewage sludge mortar at high temperature,” *Construction and Building Materials*, vol. 21, pp. 90-97, 2007.
- [40] TS 2824 EN 1338, “Zemin Döşemesi için Beton Kaplama Blokları-Gerekli Şartlar ve Deney Metotları,” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 2005.
- [41] M. M. Sohaib, S. A. Ahmed, M. M. Balaha, “Effect of fire and cooling mode on the properties of slag mortars,” *Cement and Concrete Research*, vol. 31, pp. 1533-1538, 2001
- [42] A. Awal, S. M. Abdul, I. A. Shehu, M. Ismail, “Effect of cooling regime on the residual performance of high-volume palm oil fuel ash concrete exposed to high temperatures,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 98, pp. 875-883, 2015.
- [43] L. Li, P. Jia, J. Dong, L. Shi, G. Zhang, Q. Wang, “Effects of cement dosage and cooling regimes on the compressive strength of concrete after post-fire-curing 800°C,” *Construction and Building Materials*, vol. 142, pp. 208-220, 2017.

- [44] T. Gupta, S. Siddique, R. K. Sharma, S. Chaudhary, "Effect of elevated temperature and cooling regimes on mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber fiber," *Construction and Building Materials*, vol. 137, pp. 35-45, 2017.
- [45] A. Doğangün, *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarım*, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 2011.
- [46] C. D. Atış, "High Volume Fly Ash Abrasion Resistant Concrete," *Journal of Materials In Civil Engineering*, vol. 14, pp. 274-277, 2002.
- [47] M. Benaicha, O. Jalbaud, A. H. Alaoui, Y. Burtschell, "Correlation Between The Mechanical Behavior and The Ultrasonic Velocity Of Fiber-Reinforced Concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 101, pp. 702-709, 2015.
- [48] Z. Zebrari, İ. Bedirhanoğlu, E. Aydın, "Beton basınç dayanımının ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, c. 8, ss. 43-52, 2017.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

İstanbul'da Sivrisinek Türleri ile İnvaziv *Aedes* Türlerinin Tespiti ve Bulunma Oranları

 Ali Rıza EDE^a,  Sevcan ÖZTEMİZ*

^aBitki Koruma Bölümü, Ziraat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

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

DOI:10.29130/dubited.868827

ÖZET

Çalışmada İstanbul'un 27 ilçesinde (Avrupa yakasında Arnavutköy, Avcılar, Başakşehir, Beşiktaş, Beylikdüzü, Büyükçekmece, Çatalca, Esenler, Esenyurt, Eyüpsultan, Gaziosmanpaşa, Kağıthane, Küçükçekmece, Sarıyer, Silivri, Sultangazi, Anadolu yakasında Ataşehir, Beykoz, Kartal, Maltepe, Pendik, Sancaktepe, Sultanbeyli, Şile, Tuzla, Ümraniye, Üsküdar) sivrisinek türleri ile invaziv *Aedes* türleri (Diptera: Culicidae)'nin bulunma oranlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma, sivrisinek üreme kaynaklarından dipper aracılığıyla toplanan larva ve pupalardan elde edilen dişiler ile ışık tuzaklarından elde edilen dişilerin tespiti ile yapılmış olup 2019 ve 2020 yıllarında yürütülmüştür. Çalışmada 4 cinse ait 13 sivrisinek türü belirlenmiştir. Toplam 247 üreme kaynağında bulunan sivrisinek türleri ve bulunma oranları, *Culex pipiens* L. %45.4, *Aedes albopictus* (Skuse) %20, *Aedes cretinus* (Edwards) %9, *Anopheles maculipennis* kompleks (*Anopheles sacharovi* hariç) %5.2 *Culex territans* %4, *Anopheles claviger* (Meigen) %2.8 *Aedes vexans* (Meigen) %2.4, *Culex theileri* Theobald %2.4, *Culiseta annulata* (Schrank) %2, *Culex hortensis* Ficalbi %1.6, *Culex modestus* Ficalbi %1.6, *Culex torrentium* Martini %2.4, *Culiseta longiareolata* (Macquart) %1.2, *Culex* sp. (Diptera: Culicidae) olarak tespit edilmiştir. İstilacı tür olarak, *Aedes albopictus* (Skuse) ve *Aedes cretinus* (Edwards) saptanmıştır. Vektörlük potansiyelleri dikkate alındığında Ülkemizde yaygın hale gelen *Aedes* türleri ile mücadele programı oluşturulmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Bulunma oranı, İnvaziv, İstanbul, Sivrisinek, Tür.

Determination and Presence of Mosquito Species and Invasive *Aedes* Species in Istanbul

ABSTRACT

The aim of the study was to determine the incidence rates of mosquito species and invasive *Aedes* species in 27 districts of Istanbul (Arnavutköy, Avcılar, Başakşehir, Beşiktaş, Beylikdüzü, Büyükçekmece, Çatalca, Esenler, Esenyurt, Eyüpsultan, Gaziosmanpaşa, Kağıthane, Küçükçekmece, Sarıyer, Silivri, Sultangazi on the Anatolian side, Ataşehir, Beykoz, Kartal, Maltepe, Pendik, Sancaktepe, Sultanbeyli, Şile, Tuzla, Ümraniye, Üsküdar). It was found by determining females obtained from larvae and pupae collected by dipper from mosquito breeding sources and females obtained from light traps and was conducted in 2019 and 2020. In the study, 13 mosquito species belonging to 4 genera were determined. Mosquito species found in a total of 247 breeding sources and their incidence were determined as *Culex pipiens* L. 45.4%, *Aedes albopictus* (Skuse) 20%, *Aedes cretinus* (Edwards) 9%, *Anopheles maculipennis* complex (except *Anopheles sacharovi*) 5.2% *Culex territans* 4%, *Anopheles claviger* (Meigen) 2.8%, *Aedes vexans* (Meigen) 2.4% *Culex theileri* Theobald 2.4%, *Culiseta annulata* (Schrank) 2%, *Culex hortensis* Ficalbi 1.6%, *Culex modestus* Ficalbi 1.6% *Culex torrentium* Martini 2.4%, *Culiseta longiareolata* (Macquart) 1.2%, *Culex* sp. (Diptera Culicidae). *Aedes albopictus* L. and *Aedes cretinus* (Skuse)

*Bu çalışma 'İstanbul'da Sivrisinek Türlerinin Belirlenmesi, Dağılımı ve Vektör Yetkinliğinin Araştırılması' isimli yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

321

were identified as invasive species. Considering their vector potential a control program should be established against *Aedes* species, which have become widespread in our country.

Keywords: Incidence, Invasive, İstanbul, Mosquito, Species.

I. GİRİŞ

Sivrisinekler hastalık etmenlerini taşıma ve yayma özellikleri nedeniyle Dünya’da milyonlarca insan ve hayvan için tehdit oluşturmaktadır. Sivrisinekler virüs, nematod, bakteri, protozoa gibi patojenlere vektörlük yaparak, sıtma, filariasis, Dang Humması, Sarı Humma, Japon Ensefaliti, Zika ve Batı Nil Humması gibi hastalıklar nedeniyle her yıl milyonlarca insanın ölmesine sebep olurlar. Sivrisinekler 40’den fazla cinsle bağlı 3600 kadar türe sahip olup kutup bölgeleri hariç dünyanın hemen her yerine yayılmışlardır. Sivrisinekler zoocoğrafik bölgelerde bulunmaları, hızla çoğalmaları, fazlaca yumurta oluşturabilmeleri, aktif uçucu olmaları ve larvaların birçok üreme kaynağında yaşayabilmesi gibi nedenlerden dolayı vektör olarak önemlidir [1-6]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından milyonlarca insanın sivrisineklerin vektörlüğünü yaptığı hastalıklarla karşı karşıya kaldığını, 2017 yılında, 219 milyon sıtma hastalığı olduğu ve tahmini sıtma ölüm sayısının 435.000 olduğu rapor edilmiştir [7].

Dang Humması, Zika hastalıkları taşıyan *Aedes* cinsi sivrisinekler invaziv özellikleri ve ciddi hastalıkları taşıması nedeni ile dikkat çekmektedir. İstanbul’un coğrafik konumu itibarıyla deniz ve havayolu ulaşımının geçiş noktası olması, göçmen ve mülteci hareketliliği, turizm açısından tercih edilmesi, göçmen kuşların seyahat güzergâhında bulunması, küresel iklim değişikliğinden dolayı sivrisineklerin taşınmasını ve yayılmasını bu bölgede kolaylaştırmaktadır. Özellikle invaziv tür olan *Aedes* cinsi sivrisineklerin iklim şartlarına uyum sağlaması ve bazı bitki türlerinin kıtalar arası seyahat ile ithalatı ve araba lastiklerinin kontrolsüzlüğü dikkat çeken bu tür sivrisineğin jeopolitik öneme sahip İstanbul’da kolayca yayılabileceğinden ayrıca takip edilmesi ve izlenmesi önemlidir.

Söz konusu hastalık vektörlerinin hangi türler olduğu, halk sağlığı açısından üreme ve yayılış alanlarının belirlenmesi, hastalık takibinde ve sivrisinek mücadelesindeki başarıyı doğrudan etkileyebileceğinden bu çalışmada İstanbul’da sivrisinek türlerinin ve yayılım alanlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

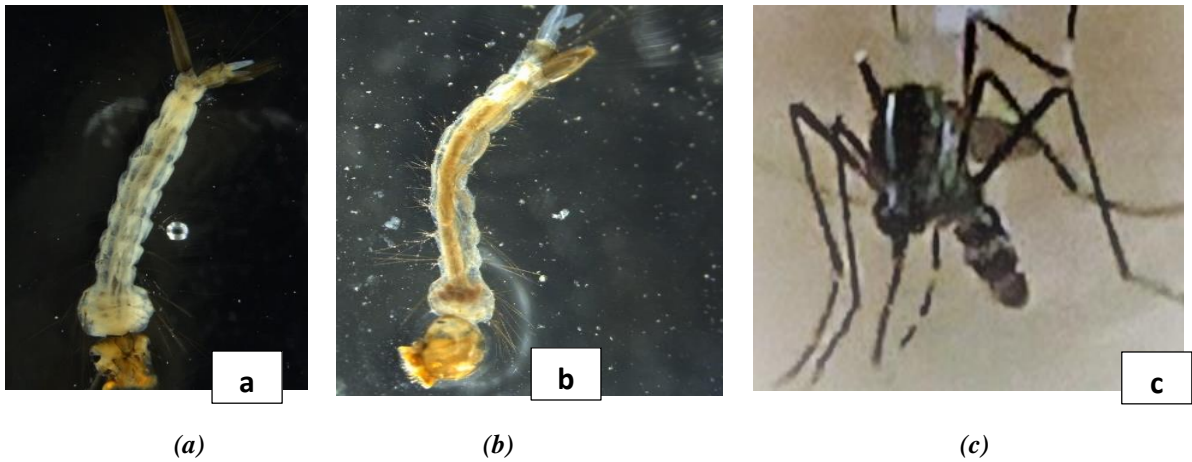
Çalışmanın materyalini sivrisinek türleri, biyolojik dönemleri, dipper, ışık tuzağı, yetiştirme kafesleri ve stereo mikroskop oluşturmuştur.

Arazi çalışmaları İstanbul’un 27 ilçesinde (Avrupa yakasında Arnavutköy, Avcılar, Başakşehir, Beşiktaş, Beylikdüzü, Büyükçekmece, Çatalca, Esenler, Esenyurt, Eyüpsultan, Gaziosmanpaşa, Kağıthane, Küçükçekmece, Sarıyer, Silivri, Sultangazi Anadolu yakasında Ataşehir, Beykoz, Kartal, Maltepe, Pendik, Sancaktepe, Sultanbeyli, Şile, Tuzla, Ümraniye, Üsküdar) 247 sivrisinek üreme kaynağından numune alınarak Haziran 2019 ve Aralık 2020 tarihleri arasında yürütülmüştür. Sivrisinek türleri, üreme kaynaklarından toplanan larva ve pupalardan elde edilen dişiler ile ışık tuzaklarından elde edilen dişilerin tespiti ile belirlenmiştir. Sivrisinek üreme kaynaklarından, larva ve pupalar dipper aracılığıyla toplanmıştır. Larva ve pupaların toplandığı lokaliteden tarih, adres, ilçe, çevre, habitatın niteliği, konum bilgisi kayıtları alınmıştır. Dere, göl, gölet vb. gibi sivrisinek üreme kaynaklarında numune alma işlemi birkaç farklı noktadan yapılmıştır. Dipper ile yüzeysel, kısmi yüzeysel, derin daldırma, içe dökülme gibi farklı yöntemler kullanılarak, özellikle suyun hareketsiz olduğu kenar kısımlarından aniden hızlı bir şekilde daldırarak larva numunesi alınmıştır. Dipper ile toplanan sivrisinek larva ve pupaları 500 ml veya 1000 ml ‘lik plastik pet şişelere doldurulmuş ve hava girmesi için pet şişelerin kapakları delinmiştir. Numuneler sarsılmadan incelenmek üzere uygun koşullarda laboratuvara getirilmiştir. Larva ve pupaların numunelerin alındığı yere ait kayıt numarası yazılarak yetiştirme kafeslerine konulmuştur ve ergin hale geçmeleri sağlanmıştır [8,9]. Ergin sivrisinekleri yakalamak için ışık tuzakları da kurulmuştur. Işık tuzakları sivrisinek üreme kaynaklarına en yakın

mesafede, rüzgâr hızının az olduğu ve rüzgârın olmadığı (2,06 m/s aşmadığı) günlerde ışığın az olduğu ortamlarda kurulmuştur. Işık tuzakları, akşam vakitlerinde hava kararmadan önce yerden ortalama 1-2 m yükseğe kurulmuş, sabah 09.30 gibi toplanmıştır. Işık tuzaklarının olduğu lokalitenin bitki örtüsü yoğunluğu, adres, konum, yerden yükseklik bilgileri kayıt edilmiştir. Tuzaklar içinden dişi sivrisinekler tür teşhisinde kullanılmak için plastik saklama kapları içerisinde alınmıştır [9,10]. Tür tanımlamaları stereo mikroskop altında larva ve erginlerin vücut kısımlarının morfolojisinden yararlanılarak ve kaynaklar yardımı [11-14] ile gerçekleştirilmiştir.

III. BULGULAR

Çalışma sivrisinek türlerini tespit etmek için Haziran 2019 ve Aralık 2020 tarihleri arasında İstanbul'un 27 ilçesinde yürütülmüştür. Larva ve pupa örnekleri 22 farklı habitat tipine (açık alanda su birikintisi, kapalı alanda su birikintisi, açık alanda su kanalı, kapalı alanda su kanalı, açık alanda ızgara, kapalı alanda ızgara, açık alanda kuyu, kapalı alanda kuyu, bidon, çeşme, depo, dere, havuz, inşaat, asansör boşluğundaki su birikintileri, fosseptik, saksı, sazlık, araba lastikleri, su sarnıçları, küvet, motopomp) ait 247 üreme kaynağından; 8804 adet larva, 328 adet pupa ve 453 adet dişi, 405 adet erkek ergin sivrisinek bireyleri toplanmıştır. Veriler larva ve pupadan yetiştirilerek ergin hale geçen dişi sivrisinekler ve ışık tuzaklarıyla yakalanan dişi ergin sivrisinek bireylerden elde edilmiştir (Şekil 1). Tür teşhis sonuçlarına göre 4 cinse ait 13 sivrisinek türünün varlığı belirlenmiştir. Toplam 247 üreme kaynağında bulunan sivrisinek türleri ve bulunma oranları, *Culex pipiens* L. %45.4, *Aedes albopictus* (Skuse) %20, *Aedes cretinus* (Edwards) %9, *Anopheles maculipennis* kompleks (*An. sacharovi* hariç) %5.2, *Culex territans* %4, *Anopheles claviger*(Meigen) %2.8 *Aedes vexans* (Meigen) %2.4, *Culex theileri* Theobald %2.4, *Culiseta annulata* (Schrank)%2, *Culex hortensis* Ficalbi%1.6, *Culex modestus* Ficalbi%1.6, *Culex torrentium* Martini%2.4, *Culiseta longiareolata* (Macquart)%1.2, *Culex* sp. (Diptera: Culicidae) olarak tespit edilmiştir.Çalışmada en yaygın bulunan türler arasında *C. pipiens* türü Şile ilçesi hariç tüm ilçelerde (toplam 26 ilçede), *A. albopictus* türü Sancaktepe ve Üsküdar ilçesi hariç tüm ilçelerde (toplam 25 ilçe) bulunmuştur. Bunu 12 ilçe (Arnavutköy, Beşiktaş, Beykoz, Eyüpsultan, Gaziosmanpaşa, Kağıthane, Kartal, Küçükçekmece, Pendik, Sarıyer, Tuzla, Ümraniye) ile *A. cretinus* türü, 8 ilçe ile *A. maculipennis* türü (Arnavutköy, Beykoz, Büyükçekmece, Çatalca, Eyüpsultan, Kağıthane, Sarıyer, Silivri), 7 ilçe (Arnavutköy, Avcılar, Büyükçekmece, Eyüpsultan, Pendik, Silivri, Şile) ile *A. claviger* türü ve 7 ilçe ile (Avcılar, Başakşehir, Beylikdüzü, Büyükçekmece, Eyüpsultan, Sarıyer, Silivri) *C. territans* türü takip etmiştir. En fazla tür sayısı Eyüpsultan (10 tür), Arnavutköy (8 tür) ve Sarıyer (8 tür) ilçelerinde, en az tür sayısı ise Üsküdar (1 tür) ilçesinde bulunmuştur. Türler daha çok sırası ile açık ve kapalı alan su birikintileri, bidon, havuz, dere, depo ve açık alan kanallardan toplanmıştır.



Şekil 1. Sivrisinek larva ve ergini (a) *Culex pipiens* larvası (b) *Aedes cretinus* larvası (c) *Aedes* sp. ergini

IV. TARTIŞMA

Sivrisinekler, Diptera takımına bağlı Culicidae familyası içinde yer alır. Dişi sivrisinekler insanlardan ve farklı konaklardan kan emerek beslenmelerini sağlarlarken konakçısına hastalık etmeninin bulaşmasını sağlarlar. Sivrisinekler taşıdıkları hastalıklar bakımından dünyada halk sağlığı için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. *Aedes aegypti* (L.) Batı Nil virüsü, Dang virüsü, Sarı humma virüsü, chikungunya virüsü ve Zika virüsü hastalık etmenlerinin vektörlüğünü yapmaktadır. *Aedes aegypti* (L.) küresel salgınlar açısından Zika virüsünü, kolay taşınabilmesi nedeniyle potansiyel risk taşımaktadır. Yaklaşık 216 milyon insan her yıl Zika virüsü'nün bulunduğu bölgelerden ABD'ye geçiş yapmaktadır. Yapılan bir çalışmada, *A. aegypti* türünün Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunduğunu tespit edilmiştir [15,20]. *Aedes albopictus*(Skuse)'un kuvvetli bir istilacı olmasının ekosistem üzerindeki etkisinin yanı sıra insanlar için ölüm riski taşıyan Japon ensefaliti, Batı Nil ensefaliti, Chikungunya, Sarı Humma ve Dengue Humması gibi Flaviviridae, Bunyaviridae, Togaviridae familyalarına ait birçok arbovirüsün vektörü olması bu türün önemini daha da artırmaktadır. *Aedes albopictus*'un vektörlük yaptığı hastalıklar ile ilgili her yıl dünyanın farklı bölgelerinden milyonlarca vaka rapor edilmektedir. WHO'nun 2013 yılında yayınladığı rapora göre, dünya nüfusunun yarısı Dengue Humması'na yakalanma riski altındadır. Bu ateşli hastalıkların çok azına karşı aşı geliştirilmiş olup sadece semptomlara yönelik tedaviler kullanılmaktadır. Avrupa geneli için yapılan modellemeler, Türkiye'de Marmara Bölgesinin özellikle deniz kıyısı kısımlarının, tüm Trakya'nın, tüm Karadeniz kıyısı ve Doğu Akdeniz Bölgesi'nin *A. albopictus* açısından ideal yerleşim alanları olduğunu göstermiştir [16]. *Aedes albopictus*'un Trakya bölgesinde varlığı rapor edilmiştir [17]. Ülkemizde yapılan diğer bir çalışmada ise *A. albopictus* türünün Doğu Karadeniz Bölgesi'nin birçok yerinde bulunduğu rapor edilmiştir [15,18]. Mayıs-Ekim 2003 ve Mayıs-Ekim 2004 tarihleri arasında İstanbul'da bulunan sivrisinek türlerinin kompozisyonunu belirlemek için yapılan bir başka çalışmada, beş cinse ait sekiz sivrisinek türü tespit edilmiştir [9]. Larva ve pupalardan yetiştirilen 1085 adet dişi sivrisineğin 992'si (%91,43) *Culex pipiens*, 32'si (%2,95) *Culiseta longiareolata*, 22'si (%2,03) *Anopheles maculipennis* grubu (*Anopheles sacharovi* hariç), 18'i (%1,66) *Anopheles claviger*, 13'ü (%1,20) *Culiseta annulata*, 3'ü (%0,28) *Aedes vexans*, 3'ü (%0,28) *Culex hortensis* ve 2'si (%0,18) *Ochlerotatus caspius* (Pallas) olduğu saptanmıştır. Işık tuzakları ile toplanan 78 adet dişi sivrisineğin tamamının *Culex pipiens*L. olduğu belirlenmiştir. Çalışmada *C. pipiens*'e 14 habitat tipinin hepsinde rastlanırken *A. claviger*'e 6, *Anopheles maculipennis* grubuna (*Anopheles sacharovi* hariç) 5, *Culiseta longiareolata*'ya 3, *Aedes vexans*'a, *Culiseta annulata* ve *O. caspius*'a 2 ve *Culex hortensis*'e bir habitat tipinde rastlanmıştır [21]. Larvaların tür kompozisyonu ve aylık dağılımı ile ilgili 2003-2007 yılları arasında yapılan bir başka çalışmada, sivrisinek (Culicidae) 15 farklı potansiyel larva yaşama ortamından alınan toplam 293655 adet larva ve 1701 farklı örnek incelenmiş ve *Culex*, *Anopheles*, *Aedes*, *Ochlerotatus* ve *Culiseta* olmak üzere 21 tür tespit edilmiştir. Türlerin 2003 ile 2007 yılları arasında giderek azaldığını ve Temmuz ayında en yüksek seviyede olurken, Ekim ayında sayısının azaldığını, %91 oranında *C.pipiens*'in baskın tür olduğu rapor edilmiştir [19].

Bu çalışmada *Culex pipiens* L. türü %45,4 olarak tespit edilirken benzer konuda yürütülen diğer çalışmalarda bu oran % 100ve %91 oranında tespit edilmiştir. *Aedes albopictus* (Skuse) türüne %20 oranında rastlanırken benzer diğer çalışmalarda ise bu türe rastlanmamıştır. Benzer şekilde *Aedes cretinus* (Edwards) türüne %9 oranında rastlanırken diğer çalışmalarda rastlanmamıştır [19,21]. Türkiye iklimsel özelliklerinin uygunluğu ve coğrafik konumu ile Güney Afrika ve Amerika'dan Avrupa'ya hızla yayılmakta olan sivrisinek türleri ve bulaştırdığı hastalıklar açısından büyük risk altında bulunmaktadır [22]. Ülkemizde sıtma, Batı Nil hastalığı görülmekle birlikte, Ülkemizde henüz varlığı bilinmeyen invaziv *Aedes* türlerinin taşıdığı dang humması, chikungunya virüsü ve zika virüs enfeksiyonunun hızla Avrupa'ya yayılmasıyla, bu hastalıklar açısından risk altındadır [23]. Bu hastalıkların ticaret, seyahat gibi etkenler ile yakın zamanda görülmesi muhtemeldir.

V. SONUÇ

Çalışmada; İstanbul'un 27 ilçesinde *Culex pipiens* L.'e 26 ilçede 112 lokasyonda, *Aedes albopictus* (Skuse) 25 ilçede 49 lokasyon, *Aedes cretinus* (Edwards) 12 ilçede 22 lokasyon, *Anopheles maculipennis* kompleks (s.l.) 8 ilçede 13 lokasyon, *Anopheles claviger* (Meigen) 7 ilçede 7 lokasyon, *Culex territans* 7 ilçede 10 lokasyon, *Culiseta annulata* (Schrank) 5 ilçede 5 lokasyon, *Aedes vexans* (Meigen) 4 ilçede 6 lokasyon, *Culex hortensis* Ficalbi 4 ilçede 4 lokasyon, *Culex modestus* Ficalbi 4 ilçede 4 lokasyon, *Culex theileri* Theobald 4 ilçede 6 lokasyon, *Culex torrentium* Martini 3 ilçede 6 lokasyon, *Culiseta longiareolata* (Macquart) 3 ilçede 3 lokasyonda saptanmıştır.

İstilaçı türlerden, *Aedes albopictus* (Skuse) ve *Aedes cretinus* (Edwards)'a rastlanmıştır. En fazla görülen sivrisinek türü %45.4 ile *Culex pipiens* L. bulunmuştur. Bu türü sırası ile %20 *Aedes albopictus* (Skuse) ve %9 *Aedes cretinus* (Edwards), %5,2 *Anopheles maculipennis* kompleks (*An. sacharovi* hariç), %4 *Culex territans*, %2.8 *Anopheles claviger* (Meigen), %2.4 *Aedes vexans* (Meigen), %2.4 *Culex theileri* Theobald, %2 *Culiseta annulata* (Schrank), %1.6 *Culex hortensis* Ficalbi, %1.6 *Culex modestus* Ficalbi, %2.4 *Culex torrentium* Martini, %1.2 *Culiseta longiareolata* (Macquart) türü takip etmiştir. Çalışmada en yaygın bulunan türler arasında *C. pipiens* türü (26 ilçe) ve *A. albopictus* türü (25 ilçe) hemen hemen tüm ilçelerde bulunmuştur. Bunu 12 ilçe ile *A. cretinus* türü, 8 ilçe ile *A. maculipennis* türü 7 ilçe ile *A. claviger* ve *C. territans* türü takip etmiştir. En fazla tür sayısı Eyüpsultan (10 tür), Arnavutköy (8 tür) ve Sarıyer (8 tür) ilçelerinde, en az tür sayısı ise Üsküdar (1 tür) ilçesinde bulunmuştur. Türler daha çok sırası ile açık ve kapalı alan su birikintileri, bidon, havuz, dere, depo ve açık alan kanallardan toplanmıştır. Vektörlük potansiyelleri dikkate alındığında sivrisinekler ile mücadelenin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu mücadelede başarı sağlamak için kültürel ve fiziksel mücadele ön plana çıkarılmalıdır. Ülkemizde yaygın hale gelen *Aedes* türleri ile ilgili mücadele programı oluşturulmalıdır. Oluşturulacak mücadele yönetimine insanların da dâhil edilerek farkındalık oluşturulmalı ve mücadelenin etkinliği artırılmalıdır.

TEŞEKKÜR: Arazi çalışmalarında destek olan İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Sağlık Daire Başkanlığı, Sağlık ve Hıfzıssıhha Müdürlüğü'ne bağlı Vektörlerle Mücadelesi Birimi ekiplerine teşekkür ederiz.

VI. KAYNAKLAR

- [1] B. Alten ve S. S. Çağlar, *Vektör Ekolojisi ve Mücadelesi*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Sağlık Bakanlığı, 1998, ss. 249.
- [2] B. J. Beaty ve W. C. Marquardt, *The Biology of Disease Vectors*, Chicago, ABD: University Press Of Colorado, 1996, ss. 450.
- [3] R. E. Harbach ve L. J. Kitching, "Reconsideration of anopheline mosquito phylogeny (Diptera: Culicidae: Anophelinae) based on morphological data," *Syst Biodiversit*, c .3, s. 4, ss. 345-374, 2005.
- [4] G. Wang, C. Li, X. Guo, , D. Xing, Y. Dong, Z. Wang, Y. Zhang, M. Liu, Z. Zheng, H. Zhang, X. Zhu, Z. Wu ve T. Zhao, "Identifying the main mosquito species in China based on DNA barcoding," *Plos One*, c. 7, ss. 1-11, 2012.
- [5] R. Wilkerson, Y-M. Linton, D. Fonseca, T. Schultz, D. Price ve D. Strickman, "Making mosquito taxonomy useful: a stable classification of tribe aedini that balances utility with current knowledge of evolutionary relationships," *Plos One*, c. 7, s. 10, ss. 1-26, 2015.

- [6] G. Benelli, "Spreads of Zika Virus: the key role of mosquito vector control," *Asian Pasific Journal of Tropical Biomedicine*, c. 6, ss. 468-471, 2016.
- [7] Anonim. (2019, 9 Aralık). *World Health Organization 2017 Global malaria report*, Geneva, Switzerland. [Online]. Erişim: <https://www.who.int/malaria/publications/world-malaria-report-2017/en/>
- [8] N. Becker, D. Petric, M. Zgomba, C. Boase, C. Dahl, J. Lane ve A. Kaiser, *Mosquitoes and Their Control*, London, England: Kluwer Academic/Plenum Publishers, London, 2003, ss. 498.
- [9] K. Öter, "İstanbul'da görölen sivrisinek türlerinin tespiti," Doktora tezi, Parazitoloji, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [10] B. Alten, S. S. Çağlar ve N. Özer, "Malaria and its Vectors in Turkey," *European Mosquito Bulletin*, c. 7, ss. 27-33, 2000.
- [11] N. Becker, D. Petric, M. Zgomba, C. Boase, M. Madon, C. Dahl ve A. Kaiser, *Mosquitoes and Their Control*, 2. Edition, New York, USA: Springer, Heidelberg, New York, 2010, ss. 577.
- [12] R. F. Darsie ve A. Samanidou-Voyadjoglou, 'Keys for the identification of the mosquitoes of Greece,' *Journal of the American Mosquito Control Association*, c. 7, ss. 247-254, 1997.
- [13] A. Merdivenci, *Türkiye Sivrisinekleri*, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Yayınları, 1984, ss. 355.
- [14] E. Schaffner, G. Angel, B. Geoffroy, J. P. Hervy, A. Rhaiem ve J. Brunhes, *The Mosquitoes of Europe (CD-Rom)*, Montpellier, France: Institute de Resherche Pour le Développement (IRD), 2001.
- [15] M. M. Akiner, B. Demirci, G. Babuadze, V. Robert ve F. Schaffner, "Spread of the invasive mosquitoes *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in The Black Sea Region increases risk of Chikungunya, Dengue, and Zika Outbreaks in Europe," *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 2016, ss. 1-5.
- [16] S. Cunze, L. K. Koch, J. Kochmann ve S. Klimpel, "*Aedes albopictus* and *Aedes japonicus* – two invasive mosquito species with different temperature niches in Europe," *Parasit And Vectors*, c. 9, ss. 573,2016.
- [17] K. Oter, F. Gunay, E. Tuzer, Y. M. Linton, R. Bellini ve B. Alten, "First record of *Stegomyia Albopicta* in Turkey determined by active ovitrap surveillance and DNA barcoding," *Vector Borne Zoonotic Dis*, c. 13, ss. 753-761, 2013.
- [18] M. Doğan, "Vektör sivrisinek türü *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae)'un yaşam öyküsü karakterleri üzerine çalışmalar," Yüksek lisans tezi, Biyoloji, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.
- [19] A. Z. Şengil, H. Akkaya, M. Gönenc, D. Gönenc ve D. Özkan, "Species composition and monthly distribution of Mosquito (Culicidae) larvae in the Istanbul Metropolitan Area, Turkey," *Turkey.Int. J. Biol.Med.*, c. 2, ss. 415-424, 2011.
- [20] E. Polat, S. M. Altinkum, F. Yılmaz, S. Turan-Uzuntaş ve Y. Bağdatlı, "İstanbul'un sivrisinek faunası ve *Culex Pipiens* larvalarının *Bacillus* cinsi bakterilere karşı duyarlılığı," *Türk Hij Den Biyoloji Dergisi*, c. 73, ss. 149-56, 2016.
- [21] K. Öter ve E. Tuzer, "İstanbul'da sivrisinek türlerinin (Diptera: Culicidae) kompozisyonu," *İstanbul Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, c. 40, s. 2, ss. 249-259, 2014.

[22] Anonim. (2019, 13 Aralık). *European Centre for Disease Prevention and Control*, [Online]. Erişim: <https://www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/mosquito-maps>.



[23] Anonim. (2019, 13 Aralık). *European Centre for Disease Prevention and Control*, [Online]. Erişim: <https://www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/facts/mosquito-factsheets/aedes-aegypti>.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Programlamaya Giriş Dersini Alan Öğrencilerin Programlama Öz Yeterlilik Algılarının ve Programlamaya Bakış Açılarının İncelenmesi

 Kristin S. BENLİ^{a,*},  F. Boray TEK^b

^a Yazılım Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Üsküdar Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Işık Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: kristin.benli@uskudar.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.770726

ÖZET

Bu çalışmada üniversite öğrencilerinin Java programlama öz yeterlilik algıları, programlama öğrenme istekleri ve çalışma alışkanlıkları çeşitli değişkenlere göre (cinsiyet, bölüm, eğitim dili, harf notu, ders tekrarları vb.) istatistiksel yöntemler kullanılarak (T-testi, Mann Whitney U-testi, Kruskal Wallis H testi, tek yönlü varyans analizi, Ki-Kare testi) incelenmiştir. Çalışma grubu, farklı bölümlerde zorunlu olarak programlamaya giriş dersini alan 191 lisans öğrencisinden oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre öğrencilerin Java programlama öz yeterlilik algıları bölümlerine ve programlama öğrenme isteklerine göre farklılaşmaktadır. Çalışmada ayrıca Apriori algoritması kullanılarak birliktelik kuralları çıkartılmıştır. En yüksek güven değeri elde edilen kurala göre, programlama öğrenmeyi çok fazla isteyen, programlama öğrenmenin iş hayatında kendisine fayda sağlayacağını düşünen ve programlama dersinden başarı ile geçen öğrencilerin programlama öz yeterlilikleri yüksektir.

Anahtar Kelimeler: Programlama öz yeterliliği, Programlama eğitimi, İstatistik, Birliktelik kuralı, Apriori algoritması

Investigating Introduction to Programming Course Students' Programming Self Efficacy Perceptions and Perspectives on Programming

ABSTRACT

This study investigates university student's (Java) programming self-efficacy, perspectives on programming, and study habits with respect to various variables (gender, department, course language, letter grade, course repeats) by using statistical methods (T-test, Mann Whitney U-test, Kruskal Wallis H test, one-way analysis of variance, Chi-Square test). The study group consisted of 191 undergraduate students who had to take the introductory programming course from different departments. The results indicate that students' Java programming self-efficacy have relationships with their department and desire to learn programming. Furthermore, in this study, association rules were obtained by using Apriori algorithm. The highest confidence value rule suggests that higher programming self-efficacy can be associated with higher levels of desire to learn programming, higher belief in the utility of programming in professional life and having successfully passed the programming course.

Keywords: Programming efficacy, Programming education, Statistics, Association rule, Apriori Algorithm

I. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesi ile yazılım insan hayatının her alanına girmiş ve beraberinde yazılım geliştirme becerisine sahip kişilere olan talebi de arttırmıştır. Gelişen talepler doğrultusunda üniversitelerin Mühendislik ve Fen Edebiyat Fakültelerinde yer alan bölümlerin müfredatlarına da programlamaya giriş dersleri eklenmiştir. Bölümlerinde gösterilen çoğu ders (matematik, fizik, kimya vb.) ile ilgili daha önceden bir alt yapıya sahip olan öğrenciler, programlamaya giriş dersinde ilk defa karşılaştıkları algoritma kavramını anlamakta güçlük yaşamaktadır.

Ezberden çok soyut düşünmeye dayalı programlama mantığını anlamada sıkıntı yaşayan öğrencilerin bir kısmı en baştan dersin zor olduğuna kanaat getirip çaba sarf etmeden ya direkt dersten çekilmekte veya düşük istekle derslere devam edip dersten başarısız olmaktadır. Sonraki süreçlerde bu öğrenciler programlamaya giriş dersini tekrar almak durumunda kalmaktadır. Karşılaşılan bu durumlar öğrencilerin öz yeterlilik algılarının düşük olması şeklinde yorumlanmaktadır [1].

Öz yeterlilik, bireyin bir görevi tamamlama veya bir hedefe ulaşmadaki becerisine olan inancı olarak ifade edilir [2]. Karşılarına çıkan zorluklarla başa çıkabilen, engelleri aşmak için çaba sarf eden, hedeflerine ulaşmak konusunda kararlı olan bireylerin öz yeterlilikleri yüksektir. Literatür incelendiğinde genel öz yeterlilik ölçeğinin matematik [3], bilgisayar kullanımı [4] ve programlama [5] gibi farklı alanlara uyarlandığı görülür.

Ramalingam ve Wiedenbeck [5] C++ programlama dili için bir öz yeterlilik ölçeği geliştirmiş, kişilerin cinsiyetlerine göre programlama öz yeterliliklerinin farklı olup olmadığını incelemişlerdir. Bu ölçek daha sonraki çalışmalarda araştırmacılar tarafından farklı programlama dillerine (Java [6], C# [7]) uyarlanmış, Türkçe diline çevrilmiştir [1,7,8].

Askar ve Davenport'un [6] yapmış oldukları çalışmada Java programlama diline uyarladıkları ölçek ile mühendislik fakültesi öğrencilerinin programlama öz yeterlilik algılarının cinsiyet, bölüm, bilgisayar becerileri, bilgisayar deneyimi, bilgisayar kullanım sıklığı ve aile bireylerinin bilgisayar kullanımı gibi çeşitli değişkenler ile olan ilişkilerini incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre erkek ve kadın öğrencilerin aralarında programlama öz yeterliliği açısından anlamlı bir fark vardır. Bilgisayar Mühendisliği bölümü öğrencilerinin öz yeterlilik puanları diğer mühendislik bölümü öğrencilerinin puanlarından yüksektir. Her gün bilgisayar kullanan öğrenciler ile haftada birkaç kez kullananlar arasında anlamlı fark bulunmuş, daha sık kullananların öz yeterlilik sonuçlarının daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Aile bireylerinden annenin ve kardeşlerin bilgisayar kullanımının öğrencilerin öz yeterlilik algılarında etkili olduğu görülmüştür.

Altun ve Mazman [1] çalışmalarında Ramalingam ve Wiedenbeck'in [5] geliştirdikleri ölçeği herhangi bir programlama dilinden bağımsız olarak genel programlama öz yeterlilik ifadelerini içerecek şekilde Türkçe olarak düzenlemiştir. Ayrıca çalışmalarında öğrencilerin programlama öz yeterlilik algılarını cinsiyet, sınıf, bölüm, programlama deneyim yılı ve programlamaya ilişkin alınan ders sayısı gibi değişkenler açısından incelemiştir. Analiz sonuçlarında cinsiyet dışındaki tüm değişkenlere göre öğrencilerin programlama öz yeterlilik algılarının farklılaştığı görülmüştür.

Korkmaz ve Altun [8], Türkçe'ye uyarladıkları ölçek ile mühendislik fakültesi öğrencilerinin C++ programlama öz yeterlilik algılarının cinsiyete ve bölüme göre farklılık gösterip göstermediğini araştırmıştır. Çalışma sonucunda Bilgisayar Mühendisliği öğrencilerinin Elektronik Mühendisliği öğrencilerine göre daha yüksek programlama öz yeterliliğine sahip olduğu görülmüştür.

Çiğdem ve Yıldırım [7] yapmış oldukları çalışmada C# programlama diline Türkçe olarak uyarladıkları ölçek ile meslek yüksekokulu öğrencilerinin programlama öz yeterlilik algılarının yaş, mezun olunan lise türü, bilgisayar kullanma deneyimi, bilgisayar kullanım sıklığı ve programlama dersleri deneyimi gibi değişkenler ile olan ilişkilerini incelemiştir. Öğrencilerin bilgisayar kullanma deneyimi (yıl olarak)

ve önceki programlama dersi deneyimleri ile programlama öz yeterlilikleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur.

Özyurt ve Özyurt [9] çalışmalarında bilgisayar programcılığı bölümünde okuyan öğrencilerin programlamaya karşı tutumlarını ve programlama öz yeterliliklerini cinsiyet, sınıf düzeyi ve öğrenim türü değişkenlerine göre incelemiş ve hepsinde anlamlı farklılıklar bulmuştur. Elde edilen sonuçlarda erkek öğrencilerin programlama öz yeterliliklerinin kadın öğrencilerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Sınıf düzeyinde 2.sınıfta okuyan öğrencilerin programlama öz yeterlilikleri 1.sınıfta okuyan öğrencilerden daha yüksek bulunmuştur. Öğrenim türüne göre yapılan incelemelerde ise uzaktan eğitim alan öğrencilerin programlama öz yeterliliklerinin I. Öğretim ve II. Öğretim öğrencilerinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Üst paragraflarda anlatılan çalışmalarda kullanılan ölçeklerde yer alan sorular öğrencilerin zorluk seviyesi gittikçe artan programlama problemlerini çözme öz yeterliliklerini derecelendirmektedir. Tek ve arkadaşları [10] bu ölçeklerden farklı olarak genel öz yeterlilik ölçeğinden uyarlanan bir ölçek oluşturmuştur. Çalışmalarında programlama yeteneğinin geliştirilebileceğine inanan öğrencilerin sabit programlama yeteneğine inanan gruptan daha yüksek programlama öz yeterliliğine sahip olduğu gösterilmiştir. Programlama dersinden geçen ve başarısız olan öğrencilerin programlama öz yeterlilikleri arasında önemli ölçüde fark olduğu belirtilmiştir. Ayrıca programlama dersini ilk kez alan ve tekrarlayan öğrencilerin programlama öz yeterliliklerinin farklılaştığı görülmüştür.

Tsai ve arkadaşları [11] çalışmalarında mantıksal düşünme, işbirliği, algoritma, kontrol ve hata ayıklama alt ölçeklerinden meydana gelen yeni bir programlama öz yeterlilik ölçeği geliştirmişlerdir. Farklı bölüm ve programlama deneyimine sahip öğrencilerle yapılan çalışma sonucunda bilgisayar programlama öz yeterliliği ile programlama deneyimi arasında pozitif bir ilişki tespit edilmiştir. Ayrıca düşük ve orta programlama deneyimine sahip öğrenciler için algoritma ve hata ayıklama alt ölçeklerinde önemli cinsiyet farklılıkları tespit edilmiştir.

Kittur [12] çalışmasında literatürdeki ölçeklerden yararlanarak herhangi bir programlama dilinden bağımsız bir ölçek oluşturmuş ve bu ölçek ile Hindistan'daki özel bir üniversitede Elektrik-Elektronik bölümünde okuyan öğrencilerin programlama öz yeterlilik algılarının sınıf düzeyi, cinsiyet, sosyal çevre ve programlama deneyimi gibi değişkenler ile olan ilişkilerini incelemiştir. Ölçek temel programlama görevleri ve karmaşık programlama görevleri olmak üzere iki faktörden oluşmaktadır. Temel programlama görevleri ile değişkenler arasında istatistiksel anlam bulunmazken öğrencilerin sınıf düzeyleri ve önceki programlama deneyimleri ile karmaşık programlama görevleri arasında istatistiksel anlam bulunmuştur.

Özyurt ve Özyurt'un [9] da çalışmalarında bahsettiği gibi programlama öz yeterliliğin ölçülmesi ile ilgili olarak sınırlı sayıda yapılmış çalışma vardır, bu çalışmalardan bazıları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Programlama öz yeterliliği ile farklı değişkenlerin ilişkisini inceleyen çalışmaların özeti

Çalışma	Programlama Dili	Değişken	Sonuç
Ramalingam ve Wiedenbeck [5]	C++	Cinsiyet	Cinsiyete göre farklılaşmamaktadır.
Askar ve Davenport [6]	Java	Cinsiyet, bölüm, bilgisayar becerileri, bilgisayar deneyimi, bilgisayar kullanım sıklığı ve aile bireylerinin bilgisayar kullanımı	Cinsiyet, bölüm, bilgisayar deneyimi, bilgisayar kullanım sıklığına göre farklılaşmaktadır.

Tablo 1.(devam) Programlama öz yeterliliği ile farklı değişkenlerin ilişkisini inceleyen çalışmaların özeti

Çalışma	Programlama Dili	Değişken	Sonuç
Altun ve Mazman [1]	Programlama dilinden bağımsız	Cinsiyet, sınıf, bölüm, programlama deneyim yılı ve programlamaya ilişkin alınan ders sayısı	Cinsiyet dışındaki tüm değişkenlere göre farklılaşmaktadır.
Korkmaz ve Altun [8]	C++	Cinsiyet, bölüm	Bölüme göre farklılaşmaktadır.
Çiğdem ve Yıldırım [7]	C#	Yaş, mezun olunan lise türü, bilgisayar kullanma deneyimi, bilgisayar kullanım sıklığı ve programlama dersleri deneyimi	Bilgisayar kullanma deneyimi ve önceki programlama dersi deneyimine göre farklılaşmaktadır.
Özyurt ve Özyurt [9]	Programlama dilinden bağımsız	Cinsiyet, sınıf düzeyi ve öğrenim türü	Tüm değişkenlere göre farklılaşmaktadır.
Tek ve arkadaşları [10]	Java	Programlama zihniyeti, dersten geçme/kalma, dersi tekrarlama	Tüm değişkenlere göre farklılaşmaktadır.
Tsai ve arkadaşları [11]	Programlama dilinden bağımsız	Programlama deneyimi, cinsiyet	Programlama deneyimine göre farklılaşmaktadır. Cinsiyet alt ölçekte farklılaşmaktadır.
Kittur [12]	Programlama dilinden bağımsız	Sınıf düzeyi, cinsiyet, sosyal çevre, programlama deneyimi	Sınıf düzeyi, programlama deneyimi alt ölçekte farklılaşmaktadır.
Mevcut çalışma	Java	Cinsiyet, bölüm, eğitim dili, programlama öğrenme isteği, çalışırken çözümlü soruları tercih etme durumu	Bölüm ve programlama öğrenme isteğine göre farklılaşmaktadır.

Programlamaya giriş dersini alan öğrencilerin programlama öz yeterlilik algılarının, programlama öğrenme isteklerinin ve programlama dersine çalışma alışkanlıklarının araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır.

- Öğrencilerin programlama öz yeterlilik algıları; cinsiyete, eğitim gördüğü bölüme, eğitim diline, programlama öğrenme isteğine, çalışırken çözümlü soruları tercih etme durumuna göre anlamlı farklılık göstermekte midir?
- Öğrencilerin programlama öğrenme isteği ile harf notları, cinsiyetleri, ders tekrarları arasında ilişki var mıdır?
- Öğrencilerin programlama çalışırken bilgisayar kullanma sıklıkları ile bölümleri, cinsiyetleri arasında ilişki var mıdır?

Ayrıca ölçme aracında yer alan sorular kullanılarak Apriori algoritması ile öğrencilerin programlama öz yeterlilik algıları, öğrenme istekleri ve çalışma alışkanlıkları ile ilgili birliktelik kuralları araştırılmıştır.

II. YÖNTEM

Bu araştırmada yer alan veriler 2016-2017 yıllarında FMV Işık Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Fen-Edebiyat Fakültesinde öğrenim gören ve Programlamaya Giriş dersini alan öğrencilerden toplanmıştır. Programlamaya Giriş dersi bütün bölümlerde 3 saat teorik anlatım ve 2 saat laboratuvarında uygulama geliştirme olmak üzere haftada 5 saat olacak şekilde işlenmektedir. Ders kapsamında öğrencilere Java dili ile temel programlama yapıları (değişkenler, seçim yapıları, döngü kalıpları, metotlar, diziler) gösterilirken nesne yönelimli yapılar (kurucu, sınıf, nesne kavramları) gösterilmemektedir. Bu ders ile öğrencilere 14 haftalık dönem sonunda temel programlama disiplininin kazandırılması amaçlanmaktadır.

A. ÇALIŞMA GRUBU

Programlamaya Giriş dersini alan öğrenciler okudukları bölüme ve eğitim dillerine göre üç farklı şekilde gruplandırılmıştır. Bilgisayar Mühendisliği ve Yazılım Mühendisliği bölümü öğrencilerine verilen Programlamaya Giriş dersinin kodu CSE111 olup eğitim dili İngilizcedir. Bu bölümler dışında kalan, Mühendislik Fakültesi veya Fen Edebiyat Fakültesinde öğrenim gören öğrencilere verilen Programlamaya Giriş dersinin İngilizce eğitim dilindeki kodu CSE101, Türkçe eğitim dilindeki kodu ise CSE101T'dir.

Tablo 2'de görüldüğü üzere çalışmaya katılanların 62'si (%32.5) kadın, 129'u (%67,5) erkektir. 158 kişi (%82.7) İngilizce dilinde eğitim görürken 33 kişi (%17.3) Türkçe dilinde eğitim görmektedir. Katılımcıların 29'u (%15.2) Bilgisayar Mühendisliği veya Yazılım Mühendisliği bölümünde öğrenim görürken, 162'si (%84.8) Mühendislik Fakültesi (Endüstri, Makine, Elektronik vb.) veya Fen Edebiyat Fakültesinde (Yönetim Bilişim, Matematik Müh. vb.) bulunan bölümlerde eğitim görmektedirler. Bu bilgilere ek olarak toplanan verilere göre, çalışmaya katılan öğrencilerin 121'i (%63.4) programlamaya giriş dersini ilk defa alırken, 70'i (%36.6) bu dersi tekrar almaktadır. Dönem sonunda ise çalışmaya katılan öğrencilerin 152'si (%79.6) dersi geçerken, 39'u (%20.4) dersten başarısız olmuştur.

Tablo 2. Öğrencilerin demografik bilgileri

Gruplar	Ders Kodu	Dil	Bölüm	Cinsiyet		
				Kadın	Erkek	Toplam
G1	CSE101	İngilizce	Müh./Fen Edebiyat	40	89	129
G2	CSE101T	Türkçe	Müh./Fen Edebiyat	13	20	33
G3	CSE111	İngilizce	Bilgisayar/Yazılım	9	20	29

B. VERİ TOPLAMA ARACI

Araştırmada veriler dört bölümden oluşan bir ölçme aracı ile toplanmıştır. Ölçme aracının birinci bölümünü öğrencilerin demografik özellikleri ile ilgili olan sorular oluşturmaktadır. Öğrencilerin ders çalışma alışkanlıkları ile ilgili olan sorular ikinci bölümde, programlama ile olan etkileşimleri ile ilgili olan sorular üçüncü bölümde bulunmaktadır. Dördüncü bölümde ise programlama özyeterlilik ölçeğinde yer alan sorular bulunmaktadır [13]. Araştırma verileri çevrimiçi olarak toplanmıştır.

Çalışmaya katılan öğrencilerin cinsiyet, bölüm, eğitim dili, programlamaya giriş dersinden aldıkları dönem sonu harf notları, dersi tekrarlama bilgileri demografik özellikler başlığı altında toplanmıştır. Öğrencilerin ders çalışma alışkanlıklarının ve programlama ile olan etkileşimlerinin incelendiği bölümlerde yer alan sorular literatürdeki benzer çalışmalardan yararlanılarak [14-18] araştırmacılar tarafından oluşturulmuş ve konuyla ilgili akademik çalışmaları bulunan uzmanların görüş ve önerileri alınmıştır. Bu bölümlerde yer alan sorulara Tablo 10 ve Tablo 11'de yer verilmiştir.

Bu çalışmada verinin toplandığı Programlamaya Giriş dersinde nesne yönelimli yapılar işlenmediği için Tek ve arkadaşları [10] tarafından geliştirilen programlama öz yeterlilik ölçeği kullanılmıştır. Ölçeğin

cronbach- α güvenilirlik katsayısı araştırmacı tarafından 0.86 olarak belirtilmiştir. Bu katsayıya göre ölçek yüksek derecede güvenilirdir [19]. Programlama z yeterlilik ölçeğinde öğrencilere olumlu (“Programlamayı ğrenebileceğime eminim.”) ve olumsuz (“Yeni bir programlama problemini çözmeye çalışırken başlangıçta başarılı olamazsam vazgeçerim.”) sorular sorulmuş ve cevapları için 5 seçenekli likert tipi lek (1-Hiç Tanımlamıyor, 2-çok az tanımlıyor, 3-Kısmen tanımlıyor, 4-Büyük ölçüde tanımlıyor, 5-çok iyi tanımlıyor) kullanılmıştır. Öğrencilerin puanları olumlu ifade içeren sorular için 1,2,3,4,5 şeklinde, olumsuz ifade içeren sorular için ise 5,4,3,2,1 şeklinde hesaplanmıştır.

C. VERİLERİN ANALİZİ

Çalışmada toplanan verilerin istatistiksel analizlerinde parametrik ve parametrik olmayan testlerden hangilerinin uygulanacağını belirlemek için verilere normallik testleri yapılmıştır. Programlama z yeterlilik ile ilgili analizlerde verilerin normal dağıldığı cinsiyet değişkeni için bağımsız iki rneklem T-testi yapılırken, örneklem sayısının uygun olmadığı bölüm değişkeni için ve verilerin normal dağılmadığı eğitim dili değişkeni için Mann Whitney U-testi kullanılmıştır. İki den fazla gruptan oluşan programlama öğrenme isteği değişkeninde normallik varsayımı karşılanmadığı için analizlerde Kruskal Wallis H testi kullanılmıştır. zml soruları tercih etme değişkenindeki beş grubun verileri normal dağılım gösterdiği için programlama öz yeterlilik ile olan ilişkisi tek yönlü varyans analizi ile incelenmiştir.

Programlama ğrenme isteği ile dönem sonu harf notu, cinsiyet ve ders tekrarları arasındaki ilişkiler ve programlama çalışırken bilgisayar kullanma sıklıkları ile bölüm ve cinsiyet değişkenleri arasındaki ilişkiler incelenirken veriler nominal ölçekli olduğu için Ki-Kare testi uygulanmıştır. Çalışmanın istatistiksel analiz aşamasında IBM SPSS programı kullanılırken [20], birliktelik kuralları oluşturulması aşamasında Apriori algoritması kullanılmıştır [21]. Verilerin analiz aşamalarında kullanılan testler ve birliktelik kuralları hakkında detaylı bilgilere aşağıdaki alt bölümlerde yer verilmiştir.

C.1. İstatistiksel Analiz

C.1.1. Bağımsız İki rneklem T-Testi

Bağımsız iki rneklem T-testi iki farklı grubun ortalamalarını karşılaştırmak için kullanılır. Grupların normal dağılım gösterdiği ve varyansların homojen olduğu varsayımlarından sonra Denklem 1 [22] kullanılarak T-test istatistiği hesaplanır. Formülde yer alan N_1 ve N_2 değişkenleri gruplarda bulunan gözlem sayısını, \bar{X}_1 ve \bar{X}_2 değişkenleri grupların ortalamalarını, S_1^2 ve S_2^2 değişkenleri ise grupların varyanslarını göstermektedir.

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{(N_1-1)S_1^2 + (N_2-1)S_2^2}{(N_1+N_2-2)} \cdot \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right)}} \quad (1)$$

T-test istatistiği ile karşılaştırılacak olan kritik değerin bulunması için serbestlik derecesine ihtiyaç duyulur. Serbestlik derecesi N_1 ve N_2 değerleri toplamından iki sayısının çıkartılması ile bulunur (N_1+N_2-2). Kritik değer, anlamlılık düzeyi ve serbestlik derecesi kullanılarak hazır t tablosu yardımı ile belirlenir. Daha sonra bu değer T-test istatistiği ile karşılaştırılır ve hipotezlerden hangisinin kabul edileceğine karar verilir.

C.1.2. Tek Yönlü Varyans Analizi

Tek yönlü varyans analizi bağımsız ikiden fazla grubun ortalamalarını karşılaştırmak için kullanılır. Grupların normal dağılım gösterdiği ve varyansların homojen olduğu varsayımlarında bulunulur. Bağımsız iki rneklem T-testinin ikiden fazla grup için uygulanan halidir. F-test istatistiği Tablo 3’te [23] belirtilen formüller kullanılarak hesaplanır. Formülde bulunan k değişkeni grup sayısını, N_k değişkeni k. grupta bulunan gözlem sayısını, X_{ij} değişkeni i. gruptaki j. gözlemi göstermektedir.

Tablo 3. Varyans analiz tablosu

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Karelerin Ort.	F Değeri
Gruplar Arası	$GAKT = \sum_{i=1}^k \left(\sum_{j=1}^{N_k} X_{ij} \right)^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_k} X_{ij} \right)^2}{N}$	k-1	GAKO= GAKT/k-1	GAKO/ GİKO
Gruplar İçi	$GİKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_k} X_{ij}^2 - \left[\sum_{i=1}^k \left(\sum_{j=1}^{N_k} X_{ij} \right)^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_k} X_{ij} \right)^2}{N} \right]$	N-k	GİKO= GİKT/N-k	

*SD=serbestlik derecesi, Ort.=ortalama, GAKT= Gruplar arası kareler toplamı, GİKT= Grup içi kareler toplamı, GAKO= Gruplar arası kareler ortalaması, GİKO= Grup içi kareler ortalaması

F-test istatistiği ile karşılaştırılacak olan kritik değerin bulunması için iki tane serbestlik derecesine ihtiyaç vardır. İlk serbestlik derecesi gruplar arası serbestlik derecesidir ve değeri grup sayısının bir eksiğidir (k-1). İkinci serbestlik derecesi ise grup içi serbestlik derecesidir ve değeri toplam gözlem sayısından grup sayısının çıkartılması ile bulunur (N-k). Kritik değer, anlamlılık düzeyi ve serbestlik dereceleri kullanılarak F tablosu yardımı ile belirlenir. Daha sonra bu değer F-test istatistiği ile karşılaştırılır ve hipotezlerden hangisinin kabul edileceğine karar verilir.

C.1.3. Mann Whitney U-Testi

Mann Whitney U-testi, bağımsız örneklem T-testi için istenilen varsayımların karşılanmadığı durumlarda kullanılan parametrik olmayan bir testtir. İki farklı grubun medyan değerlerini karşılaştırır. U-testi hesaplaması sırasında ilk olarak N_1 ve N_2 hacmine sahip iki grubun verileri tek bir dizide birleştirilir ve gözlemler küçükten büyüğe doğru sıralanır. Daha sonra her bir gözleme bir sıra numarası atanır. İki gruba ait sıra toplamları, R_1 ve R_2 , ayrı ayrı hesaplanır (Denklem 2) [23].

$$R_1 = \sum_{i=1}^{N_1} X_{1i} \quad ve \quad R_2 = \sum_{i=1}^{N_2} X_{2i} \quad (2)$$

Sıra toplamları arasındaki farkları incelemek için Denklem 3 [24] kullanılır:

$$U_1 = N_1 N_2 + \frac{N_1(N_1 + 1)}{2} - R_1 \quad ve \quad U_2 = N_1 N_2 + \frac{N_2(N_2 + 1)}{2} - R_2 \quad (3)$$

U_1 ve U_2 değerlerinden küçük olan U-test istatistiği olarak belirlenir. N_1 ve N_2 değerlerinin 8 ve daha büyük olduğu durumda U normal dağılıma yaklaşır [24]. U-test istatistiği Denklem 4 yardımıyla z-test istatistiğine dönüştürülür.

$$z = \frac{U - \mu_U}{\sigma_U}, \quad \mu_U = \frac{N_1 N_2}{2} \quad ve \quad \sigma_U^2 = \frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12} \quad (4)$$

Hesaplanan z-test istatistiğinin mutlak değeri alınır ve belirlenen anlamlılık düzeyindeki kritik değer ile karşılaştırılıp hipotezlerden hangisinin kabul edileceğine karar verilir.

C.1.4. Kruskal Wallis H Testi

Kruskal Wallis H testi, tek yönlü varyans analizinin varsayımlarının karşılanmadığı durumlarda kullanılan parametrik olmayan bir test olup Mann Whitney-U testinin ikiden fazla grup için uygulanan halidir. H testi hesaplamaları sırasında U-testinde olduğu gibi bütün gruplar tek bir dizide birleştirilir, gözlemler artan şekilde sıralanır ve her bir gözleme bir sıra numarası verilir. Bu işlemlerden sonra H test istatistiği Denklem 5 [24] yardımıyla hesaplanır.

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{N_j} - 3(N+1) \quad (5)$$

Denklemde yer alan k değişkeni toplam grup sayısını, N değişkeni bütün gruplarda yer alan gözlem sayılarının toplamı, N_j değişkeni j.grupta bulunan gözlemlerin sayısını, R_j değişkeni ise j. gruba ait gözlemlerin sıra numaraları toplamını göstermektedir. H test istatistiği ile karşılaştırılacak olan kritik değerin bulunması için gerekli olan serbestlik derecesinin değeri k-1'dir. Kritik değer, anlamlılık düzeyi ve serbestlik derecesi kullanılarak hazır Ki-Kare tablosu yardımı ile belirlenir. Daha sonra bu değer H test istatistiği ile karşılaştırılır ve hipotezlerden hangisinin kabul edileceğine karar verilir.

C.1.5. Ki-Kare Testi

Ki-Kare testi kategorik değişkenler arasındaki ilişkileri incelemek için kullanılır. İki kategoriye sahip iki değişkenin bağımsızlık analizleri yapılırken 2x2 çaprazlık tablosu kullanılır. Bu tablonun her bir hücresine değişkenin o kategorideki gözlem sayısı yerleştirilir ve Denklem 6 [23] yardımıyla Ki-Kare değeri hesaplanır.

$$\chi^2 = \sum \frac{(Gözlenen_{ij} - Beklenen_{ij})^2}{Beklenen_{ij}}, \quad Beklenen_{ij} = \frac{\text{satır}_i \text{sütun}_j}{N} \quad (6)$$

Beklenen değerler çaprazlık tablosunun i.satır toplamı ve j.sütun toplamı çarpımının toplam gözlem sayısına bölünmesiyle elde edilir. Kritik değeri bulmada kullanacağımız serbestlik derecesi ise satır ve sütun sayılarından bir çıkartılıp bu değerlerin birbirleriyle çarpılması sonucunda elde edilir ((satır-1) x (sütun-1)). Anlamlılık düzeyi ve serbestlik derecesi ile Ki-Kare tablosu kullanılarak kritik değer bulunur. Ki-Kare test istatistiği ile kritik değer karşılaştırılıp hipotezlerden hangisinin kabul edileceğine karar verilir.

C. 2. Birliktelik Kuralı

Birliktelik kuralları büyük veri setinden anlamlı ve yararlı ilişkileri çıkarmak için kullanılan veri madenciliği yöntemlerinden biridir [25]. Yaygın olarak pazar sepet analizlerinde müşterilerin satın alma alışkanlıklarının bulunmasında kullanılmakla beraber tıp, eğitim, finans gibi farklı alanlardaki problemlere de uygulanmaktadır. Birliktelik kurallarında, birlikte sıklıkla tekrarlanan öge kümeleri arasındaki ilişki $X \Rightarrow Y$ şeklinde gösterilir ve beraberlerinde destek ve güven değerlerini de içerirler.

Destek ve güven değerleri hesaplanırken destek sayısı adı verilen bir değer kullanılır. Destek sayısı (σ) belirli bir öge kümesini içeren işlemlerin sayısıdır. Destek değeri X ve Y ögelerinin birlikte bulunduğu işlem sayısının toplam işlem sayısına (N) oranı ile bulunur (Denklem 7) [26].

$$\text{Destek}(X \Rightarrow Y) = \frac{\sigma(X \cup Y)}{N} \quad (7)$$

Güven değeri ise X ve Y ögelerinin birlikte bulunduğu işlem sayısının X'i içeren işlem sayısına oranlanması ile hesaplanır (Denklem 8) [26]. Güven değerinin 100 olması, X ögesinin bulunduğu bütün kayıtlarda Y ögesinin de bulunduğu anlamına gelir.

$$\text{Güven}(X \Rightarrow Y) = \frac{\sigma(X \cup Y)}{\sigma(X)} \quad (8)$$

Elde edilen kuralların ilginçlik derecesinin tespitinde ise Lift değeri kullanılmaktadır (Denklem 9) [26]. Lift değerinin 1'den büyük olduğu durumlarda X ve Y arasında pozitif korelasyon, 1'den küçük olduğu durumlarda ise negatif korelasyon vardır, 1 değerine eşit olduğunda ise X ve Y birbirlerinden bağımsızdır [27].

$$\text{Lift}(X \Rightarrow Y) = \frac{\text{Güven}(X \Rightarrow Y)}{\text{Destek}(Y)} \quad (9)$$

Birliktelik kuralları çıkarımında en fazla bilinen ve kullanılan algoritma Agrawal ve Srikant tarafından geliştirilen Apriori Algoritmasıdır [21]. Bu algoritma uygulanmadan önce destek ve güven ölçütleri için eşik değerler belirlenir. İlk adımda öge kümesindeki her bir ögenin destek değeri hesaplanır ve destek eşik değeri ile karşılaştırılır. Eğer bulunan değer eşik değerden küçükse bu öge daha sonraki hesaplamalarda yer almaz. İkinci aşamada, ilk aşamada elde edilen yaygın tekli ögeler kullanılarak ikiyeşli öge kümeleri oluşturulur. Bu kümelerin de destek değerleri hesaplanır, eşik değerden büyük olanlar bir sonraki aşamada yeni kümelerin oluşturulması aşamasında yer alırlar. Bu süreç yeni kümeler oluşmayana kadar yani eşik değer altında kalmayana kadar devam eder. Daha sonra oluşturulan kuralların her biri için güven değerleri hesaplanır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. PROGRAMLAMA ÖZ YETERLİLİK BULGULARI

Öğrencilerin programlama öz yeterlilik algıları çeşitli değişkenler açısından incelenirken bölüm değişkeni dışındaki tüm analizlerde CSE101 ve CSE101T derslerinin verileri kullanılmış, bölüm değişkeni ile yapılan analizde ise Tablo 2'de belirtilen bütün grupların verileri kullanılmıştır.

Bu bölümdeki birinci alt problem “*Programlamaya giriş dersini alan öğrencilerin programlama öz yeterlilik algılarında cinsiyetlerine göre anlamlı bir farklılık var mıdır?*” olarak belirlenmiştir. Tablo 4 incelendiğinde cinsiyet değişkenine göre öğrencilerin programlama öz yeterlilik puanlarında anlamlı fark bulunmamıştır ($t(160)=1.398, p>.05$).

Tablo 4. Öğrencilerin programlama öz yeterlilik puanlarının cinsiyet değişkenine göre T-testi sonuçları

	Cinsiyet	N	Ortalama	Standart Sapma	sd	t	p
Programlama	Kadın	53	22,19	4,494	160	1,398	0,164
Öz Yeterlilik	Erkek	109	21,08	4,833			

*N=örneklem sayısı, sd=serbestlik derecesi

Bu bölümün ikinci alt problemi “*Programlamaya giriş dersini alan öğrencilerin programlama öz yeterlilik algılarında eğitim görülen bölüme göre anlamlı bir farklılık var mıdır?*” olarak belirlenmiştir. Tablo 5'teki sonuçlara göre Bilgisayar/Yazılım Mühendisliği öğrencileri ile programlamaya giriş dersini (Türkçe/İngilizce) alan diğer bölümlerin öğrencilerinin programlama öz yeterlilikleri arasında anlamlı bir farklılık vardır ($U=1714.50, Z=2.320, p=.02$).

191 öğrencinin programlama öz yeterlilik puanları küçükten büyüğe doğru sıralandığında, 29 Bilgisayar/Yazılım Mühendisliği bölümü öğrencilerine ilişkin sıralamaların ortalaması 117,88 olup bu sıralamaların toplamı 3418,50'dir. Diğer bölümlerde okuyan öğrencilerin programlama öz yeterlilik puanlarına karşılık gelen sıra puanlarının ortalaması 92,08 olup, toplamı ise 14917,50'dir. Sıra

ortalamlarına bakıldığında Bilgisayar/Yazılım Mühendisliği öğrencilerinin ortalaması diğer bölümlerin öğrencilerinden daha yüksektir. Başka bir deyişle Bilgisayar/Yazılım mühendisliği öğrencilerinin programlama öz yeterlilik puanları diğer bölümlerin öğrencilerinden yüksektir.

Tablo 5. Öğrencilerin programlama öz yeterlilik puanlarının bölüm değişkenine göre U-testi sonuçları

	Bölüm	N	Sıra Ortalaması	Sıra Toplamı	U değeri	p değeri
Programlama Öz Yeterlilik	Bilgisayar /Yazılım	29	117,88	3418,50	1714,500	0,020
	Diğer	162	92,08	14917,50		

*N=örneklem sayısı

Bu bölümün üçüncü alt problemi “Programlamaya giriş dersini alan öğrencilerin programlama öz yeterlilik algularında eğitim diline göre anlamlı bir farklılık var mıdır?” olarak belirlenmiştir. Tablo 6 incelendiğinde eğitim dili değişkenine göre öğrencilerin programlama öz yeterlilik puanlarında anlamlı bir fark bulunmamıştır (U=2063.00, Z=0.273, p=.785). İki grubun sıra ortalamaları birbirine yakın olmakla birlikte, Türkçe dilinde eğitim alan öğrencilerin programlama öz yeterlilik ortalamalarının daha yüksek olduğu görülmüştür.

Tablo 6. Öğrencilerin programlama öz yeterlilik puanlarının eğitim dili değişkenine göre U-testi sonuçları

	Eğitim Dili	N	Sıra Ortalaması	Sıra Toplamı	U değeri	p değeri
Programlama Öz Yeterlilik	İngilizce	129	80,99	10448,00	2063,000	0,785
	Türkçe	33	83,48	2755,00		

*N=örneklem sayısı

Bu bölümün dördüncü alt problemi “Programlamaya giriş dersini alan öğrencilerin programlama öz yeterlilik algularında programlama öğrenme isteklerine göre anlamlı bir farklılık var mıdır?” olarak belirlenmiştir. Tablo 7 incelendiğinde öğrencilerin programlama öz yeterlilik değerlerinin beş farklı öğrenme isteği grubunda farklılık gösterdiği görülmektedir ($\chi^2(4, N=162)=24.896, p<.05$).

Grupların sıra ortalamaları incelendiğinde öğrenme isteğini “Çok Fazla” şeklinde ifade eden grubun programlama öz yeterlilik algularının diğer gruplara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Çoklu karşılaştırmalar yapılarak hangi grupların birlerinden farklı olduğu incelendiğinde, “Hiç” ile “Çok Fazla” ve “Az” ile “Çok Fazla” programlama öğrenme isteği gruplarında farklılık olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 7. Öğrencilerin programlama öz yeterlilik puanlarının programlama öğrenme isteğine göre Kruskal Wallis H testi sonuçları

	Programlama Öğrenme İsteği	N	Sıra Ortalaması	SD	χ^2	p
Programlama Öz Yeterlilik	Hiç	12	54,08	4	24,896	,000
	Az	22	51,16			
	Orta	30	74,73			
	Fazla	39	81,83			
	Çok Fazla	59	101,61			

*N=örneklem sayısı, SD=serbestlik derecesi, χ^2 =Ki-Kare

Dördüncü alt probleme ek olarak “Programlamaya giriş dersini alan Bilgisayar/Yazılım Mühendisliği öğrencilerinin programlama öz yeterlilik algularında programlama öğrenme isteklerine göre anlamlı bir farklılık var mıdır?” sorusunun analizi yapılmıştır. Tablo 8’deki sonuçlar incelendiğinde öğrencilerin programlama öz yeterlilik puanları ile öğrenme isteği grupları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır

($\chi^2(2, N=29)=2.964, p>.05$). Bu durum Bilgisayar/Yazılım Mühendisliğinde okuyan öğrencilerin programlama öz yeterlilik algılarının yüksek olması ile açıklanabilir.

Tablo 8. Bilgisayar/yazılım müh. öğrencilerinin programlama öz yeterlilik puanlarının programlama öğrenme isteğine göre Kruskal Wallis H testi sonuçları

	Programlama Öğrenme İsteği	N	Sıra Ortalaması	SD	χ^2	p
Programlama Öz Yeterlilik	Hiç	0	0	2	2,964	,227
	Az	0	0			
	Orta	3	9,17			
	Fazla	4	11,13			
	Çok Fazla	22	16,50			

* N=örneklem sayısı, SD=serbestlik derecesi, χ^2 =Ki-Kare

Bu bölümün beşinci alt problemi “Programlamaya giriş dersini alan öğrencilerin programlama öz yeterlilik algularında çalışırken çözümlü soruları tercih etme durumuna göre anlamlı bir farklılık var mıdır?” olarak belirlenmiştir. Tablo 9 incelendiğinde öğrencilerin programlama öz yeterlilik değerlerinin beş farklı tercih grubunda farklılık göstermediği görülmektedir ($F(4,157)=0.359, p>.05$).

Tablo 9. Öğrencilerin programlama öz yeterlilik puanlarının çözümlü soruları tercih etme durumuna tek yönlü varyans analiz sonuçları

		SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	p
Programlama Öz Yeterlilik	Gruplar Arası	4	32,801	8,200	,359	,837
	Gruplar İçi	157	3583,199	22,823		
	Toplam	161	3626,000			

*SD=serbestlik derecesi

B. PROGRAMLAMA ÖĞRENME İSTEĞİ BULGULARI

Programlama öğrenme isteği ile ilgili yapılan analizlerde Bilgisayar/Yazılım Mühendisliği bölümü öğrencilerinin verileri kullanılmamıştır. Veri seti CSE101 ve CSE101T derslerine kayıtlı öğrencilerden oluşmaktadır.

Bu bölümdeki birinci alt problem “Programlamaya giriş dersini alan öğrencilerin programlama öğrenme isteği ile harf notları arasında ilişki var mıdır?” olarak belirlenmiştir. Analiz sırasında CC ve üstü harf notunu alan öğrenciler başarılı, CC harf notunun altındaki öğrenciler ise dersi tekrar edilmesi önerilenler olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Örneklem uygulanan Ki-Kare test sonuçlarına göre öğrencilerin programlama öğrenme istekleri ile harf notları arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ($\chi^2(4, N=162)=7.654, p=.105$).

Bu bölümün ikinci alt problemi “Programlamaya giriş dersini alan öğrencilerin programlama öğrenme isteği ile cinsiyetleri arasında ilişki var mıdır?” olarak belirlenmiştir. Analiz sırasında çaprazlık tablosunda 1’den küçük frekans değerine sahip olan bir hücre bulunmuştur (kadın öğrencilerden hiçbiri programlama öğrenmeyi ne kadar istiyorsunuz sorusuna “Hiç” yanıtını vermemiştir). Ki-Kare testinin varsayımını gerçekleyebilmek için programlama öğrenme isteği verileri 3 farklı grup (az istekli, orta istekli, çok istekli) olacak şekilde yeniden düzenlenmiştir [28]. Tekrarlanan test sonuçlarında cinsiyet ile programlama öğrenme isteği arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ($\chi^2(2, N=162)=5.218, p=.074$).

Bu bölümün üçüncü alt problemi “Programlamaya giriş dersini alan öğrencilerin programlama öğrenme isteği ile ders tekrarları arasında ilişki var mıdır?” olarak belirlenmiştir. Test sonuçlarına göre dersi ilk kez alan ve tekrarlayan öğrencilerin programlama öğrenme istekleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ($\chi^2(4, N=162)=4.333, p=.363$).

C. PROGRAMLAMA ÇALIŞIRKEN BİLGİSAYAR KULLANMA SIKLIĞI

Bu bölümündeki birinci alt problem “Programlamaya giriş dersini alan öğrencilerin programlama çalışırken bilgisayar kullanma sıklıkları ile bölümleri arasında ilişki var mıdır?” olarak belirlenmiştir. Analiz sırasında Tablo 2’de yer alan bütün öğrencilerin verilerine Ki-Kare testi uygulanmıştır. Çaprazlık tablosu incelendiğinde 5’ten küçük frekans değerine sahip olan hücrelerin verinin %20’sinden büyük olduğu görülmüştür. Ki-Kare testinin varsayımını gerçekleyebilmek için bilgisayar kullanma sıklığı verileri 3 farklı grup (sık sık, bazen, seyrek kullanım) olacak şekilde yeniden düzenlenmiştir [28]. Yeni gruplamayla testler tekrarlanmış ve öğrencilerin programlamaya çalışırken bilgisayar kullanma sıklıkları ile eğitim gördükleri bölüm arasında ilişki bulunmamıştır ($\chi^2(2, N=191)=1.514, p=.469$).

Bu bölümündeki ikinci alt problem “Programlamaya giriş dersini alan öğrencilerin programlama çalışırken bilgisayar kullanma sıklıkları ile cinsiyetleri arasında ilişki var mıdır?” olarak belirlenmiştir. Analiz sırasında Bilgisayar/Yazılım Mühendisliği dışındaki bölümlerde okuyan öğrencilerin verileri kullanılmıştır. Örneklemeye uygulanan Ki-Kare test sonuçlarına göre kadın ve erkek öğrencilerin programlama öğrenirken bilgisayar kullanım sıklıkları arasında bir ilişki bulunmamıştır ($\chi^2(5, N=162)=3.353, p=.646$).

D. DİĞER BULGULAR

Bu bölümde öğrencilerin ölçme aracında yer alan programlama ile olan etkileşimler ve ders çalışma alışkanlıkları bölümlerinde bulunan sorulara vermiş oldukları yanıtlar incelenmektedir. Tablo 10’da öğrencilerin gruplar bazında sorulan sorulara vermiş oldukları yanıtlar, CSE101 dersine kayıtlı öğrenciler için G1 satırı ile CSE101T dersine kayıtlı öğrenciler için G2 satırı ile CSE111 dersine kayıtlı öğrenciler için ise G3 satırı ile gösterilmektedir.

Tablo 10. Programlamaya ilişkin görüşlerin gruplara göre dağılımı

İfadeler	Gruplar	Kesinlikle	Katılıyor	Kısmen	Kısmen	Katılmıyor	Kesinlikle
		Katılıyor	Katılıyor	Katılıyor	Katılmıyor	Katılmıyor	Katılmıyor
		%	%	%	%	%	%
Programlamayı öğrenmek için İngilizce'ye hakim olmak gereklidir.	G1	19,4	22,5	21,7	13,2	15,5	7,7
	G2	15,1	27,3	39,4	12,1	6,1	0,0
	G3	20,7	44,8	20,7	3,5	10,3	0,0
İngilizce gerektirdiği için programlamayı öğrenmek daha zordur.	G1	8,5	10,1	32,6	9,3	24,0	15,5
	G2	6,1	15,1	27,3	18,2	24,2	9,1
	G3	17,2	10,4	17,2	13,8	24,2	17,2
Matematik altyapısı iyi olan kişiler iyi programcı olurlar.	G1	19,4	24,0	27,9	15,5	9,3	3,9
	G2	12,1	36,3	27,3	12,1	6,1	6,1
	G3	34,4	27,6	17,2	3,5	13,8	3,5

Tablo 10. (devam) Programlamaya ilişkin görüşlerin gruplara göre dağılımı

İfadeler	Gruplar	Kesinlikle	Katlıyorum	Kısmen	Katlıyorum	Kısmen	Katılmıyorum	Kesinlikle
		%	%	%	%	%	%	
Matematik gerektirdiği için programlamayı öğrenmek daha zordur.	G1	3,1	10,0	31,0	21,7	23,3	10,9	
	G2	9,1	6,1	39,4	15,1	24,2	6,1	
	G3	6,9	13,8	31,0	20,7	13,8	13,8	
Programlama bilgisi ileride iş hayatında benim işime yarayabilir.	G1	31,8	22,5	25,6	5,4	5,4	9,3	
	G2	36,4	27,3	15,1	12,1	6,1	3,0	
	G3	65,5	24,1	3,5	6,9	0,0	0,0	
Programlamayı öğrenmenin en iyi yolu mümkün olduğu kadar fazla program yazmaktır.	G1	32,6	39,5	22,5	3,1	0,8	1,5	
	G2	45,5	24,2	18,2	3,0	6,1	3,0	
	G3	51,7	31,0	10,3	3,5	0,0	3,5	
Derslerde/laboratuvarda yazılan programları izleyerek/not alarak programlamayı öğreniyorum.	G1	18,6	32,6	36,4	4,6	7,0	0,8	
	G2	21,2	42,5	33,3	0,0	0,0	3,0	
	G3	44,8	27,6	10,3	13,8	0,0	3,5	
Derslerde/laboratuvarda çözülen problemleri bilgisayarda kodlayarak programlamayı öğreniyorum.	G1	18,6	40,3	27,2	5,4	5,4	3,1	
	G2	18,2	39,4	24,2	9,1	6,1	3,0	
	G3	37,9	31,0	13,8	13,8	0,0	3,5	
Arkadaşlarımla beraber ikili veya küçük gruplar halinde bilgisayarda program yazarak programlamayı öğreniyorum.	G1	13,2	30,2	26,4	7,7	11,6	10,9	
	G2	18,2	21,2	27,3	12,1	15,1	6,1	
	G3	20,7	20,7	17,2	13,8	6,9	20,7	
Kendi başıma program yazarak programlamayı öğreniyorum.	G1	18,6	20,9	32,6	9,3	11,6	7,0	
	G2	21,2	30,3	33,3	6,1	9,1	0,0	
	G3	24,1	37,9	13,8	17,2	3,5	3,5	

*G1= CSE101, G2= CSE101T, G3= CSE111

Tabloda yer alan *programlama öğrenmek için İngilizce'ye hakim olmak gerektiği* ifadesine Grup 1'de yer alan öğrencilerin %63,6'sı, Grup 2'de yer alan öğrencilerin %81,8'i ve Grup 3'te yer alan öğrencilerin %86,2'si katılmaktadır. Burada dikkat çekici olan sonuç Türkçe dilinde programlama dersi alan öğrencilerin yer aldığı Grup 2'deki ifadeye katılma oranının yüksek olmasıdır. Programlama dillerinin teknik dilinin İngilizce olması sebebiyle öğrenciler dersi Türkçe dilinde görseller bile kullanılan terimleri anlamak ve güncel kaynakları takip etmek için İngilizce dilini bilmeleri gerektiğini düşünmektedir. *İngilizce gerektirdiği için programlamayı öğrenmek daha zordur* ifadesine Grup 1'de yer alan öğrencilerin %51,2'si katılırken, Grup 2'de yer alan öğrencilerin %51,5'i ve Grup 3'te yer alan öğrencilerin %55,2'si katılmamaktadır. Bu ifadeye katılıp katılmama oranlarının birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir.

Matematik altyapısı iyi olan kişiler iyi programcı olurlar ifadesine bütün gruplar yüksek oranlarla (G1: 71,3; G2: 75,7; G3: 79,2) katılmaktadırlar. *Matematik gerektirdiği için programlamayı öğrenmenin zor olduğu* ifadesine Grup 1'de yer alan öğrencilerin %55,9'u katılmazken, Grup 2'de yer alan öğrencilerin %54,6'sı ve Grup 3'te yer alan öğrencilerin %51,7'si katılmaktadır. Bu ifadenin katılıp katılmama oranlarına bakıldığında cevaplarda bir çoğunluğun sağlanamadığı görülmüştür.

Programlama bilgisi ileride iş hayatında benim işime yarayabilir ifadesine Bilgisayar/Yazılım Mühendisliği dışındaki bölümlerde okuyan öğrencilerin (162 kişi) %79,63'ü katılmaktadır. Bu

öğrenciler asıl bölümleri farklı olmasına rağmen ders kapsamında öğrendikleri programlama bilgisinin iş hayatlarında kendilerine artı bir değer katacağı inancındadır.

Bütün gruplar, *Programlama öğrenmenin en iyi yolu mümkün olduğu kadar fazla program yazmaktır* ifadesine %85 üzerinde oranlarla (G1: 94,6; G2: 87,9; G3: 93) katılmaktadırlar. Programlama öğrenme yöntemlerini anlamak için sorulan sorularda öğrenciler, *derslerde/laboratuvarlarda yazılan programları izleyerek/not alarak* (G1: 87,6; G2: 97; G3: 82,7) ve *derslerde/laboratuvarlarda çözülen problemleri bilgisayarda kodlayarak* (G1: 86,1; G2: 81,8; G3: 82,7) programlamayı öğrendiklerini ifade etmişlerdir. Çalışmada yer alan bütün gruplar bu iki ifadeye %80'nin üstünde oranlarla katılmaktadırlar.

Öğrenciler, *arkadaşlarıyla beraber ikili veya küçük gruplar halinde bilgisayarda program yazarak* (G1: 69,8; G2: 66,7; G3: 58,6) veya *kendi başlarına program yazarak* programlamayı öğrendiklerini (G1: 72,1; G2: 84,8; G3: 75,8) belirtmişlerdir. Son ifadeye bütün gruplarda katılma oranı %70'in üstündedir.

Tablo 11'de öğrencilerin programlama öğrenirken kullanılan kaynaklar ile ilgili sorulara vermiş oldukları yanıtlar gruplar bazında gösterilmiştir.

Tablo 11. Programlama öğrenirken bilgisayar ve ders/laboratuvar notlarını kullanma sıklıklarının gruplara göre dağılımı

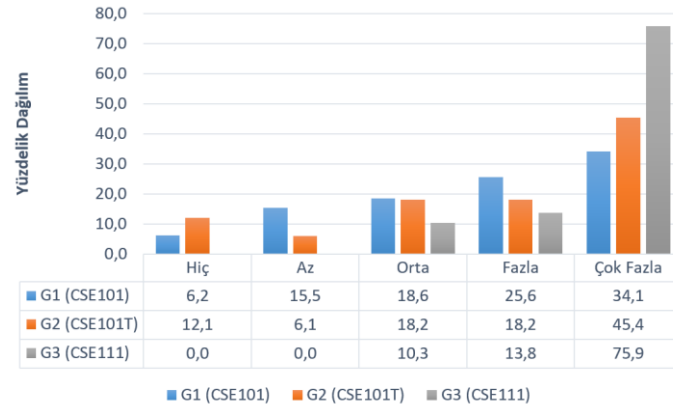
İfadeler	Gruplar	Gruplar					
		Hiç	Çok az	Az	Zaman zaman	Çoğu zaman	Her zaman
		%	%	%	%	%	%
Programlamayı öğrenirken bilgisayarı hangi sıklıkla kullanıyorsunuz.	G1	5,4	19,5	27,9	24,0	11,6	11,6
	G2	3,0	12,1	30,3	24,3	12,1	18,2
	G3	3,4	20,7	20,7	20,7	20,7	13,8
Programlamayı öğrenirken ders/laboratuvar notlarını hangi sıklıkla kullanıyorsunuz.	G1	3,9	4,7	23,2	15,5	23,2	29,5
	G2	3,0	3,0	27,3	24,2	15,2	27,3
	G3	6,9	17,2	20,7	27,6	10,4	17,2

*G1= CSE101, G2= CSE101T, G3= CSE111

Programlamayı öğrenirken hangi sıklıkla bilgisayar kullanıldığı sorusuna Grup 1'deki öğrencilerin yaklaşık olarak %53'ü hiç, çok az, az seçeneklerinden biri ile cevap verirken geri kalan %47'si zaman zaman, çoğu zaman, her zaman seçeneklerinden biri ile cevap vermiştir. Bu durum Grup 2 ve Grup 3'te %45 (hiç, çok az, az) ve %55 (zaman zaman, çoğu zaman, her zaman) şeklinde oluşmuştur. Oranlar arasında çok fark olmadığı için öğrencilerin yarısı kadarının bilgisayarı kullanmadan programlamayı öğrenmeye çalıştıkları görülmektedir.

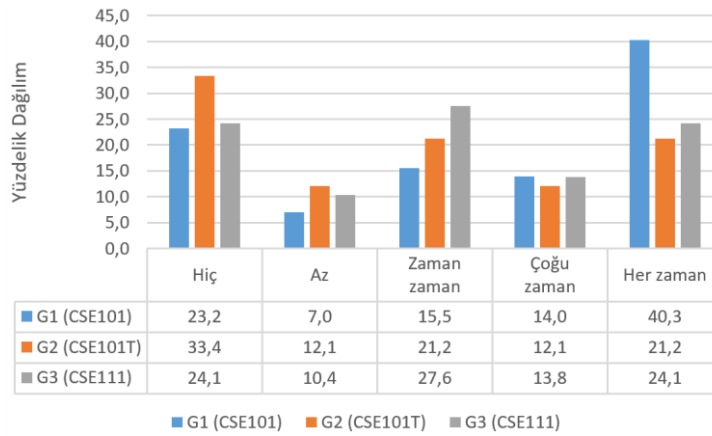
Programlamayı öğrenirken ders/laboratuvar notlarını hangi sıklıkla kullanıyorsunuz sorusuna zaman zaman, çoğu zaman, her zaman seçeneklerinden biri ile cevap verenlerin oranı Grup 1'de %68,2 olurken bu oran Grup 2'de %66,7 ve Grup 3'te %55,2 şeklindedir. Bilgisayar/Yazılım Mühendisliği bölümü öğrencilerinden oluşan Grup 3'teki oran diğer gruplara göre daha düşüktür.

Ankette yer alan *programlama öğrenmeyi ne kadar istiyorsunuz* sorusuna ders bazında öğrencilerin verdikleri cevaplar Şekil 1'de gösterilmiştir. Bilgisayar/Yazılım Mühendisliği öğrencilerinin bulunduğu Grup 3'ün "Çok Fazla" yanıtını verme oranı %75,9 olurken, geri kalan öğrencilerde aynı yanıtı verme oranı İngilizce dilinde eğitim gören Grup 1 için %34,1 ve Türkçe dilinde eğitim gören Grup 2 için %45,4'tür. Türkçe dilinde eğitim gören grubun "Çok Fazla" yanıtını verme oranı İngilizce grubundan daha yüksek olmakla birlikte "Çok Fazla" ve "Fazla" yanıtları birlikte incelendiğinde, Grup 1 ve Grup 2 için yakın oranların elde edildiği görülür (G1: %59,7; G2: %63,6). Bu soruya Bilgisayar/Yazılım Mühendisliği öğrencilerinden "Az" ve "Hiç" yanıtını veren olmamıştır.



Şekil 1.Ders bazında programlama öğrenme isteği dağılımı

Programlama çalışırken çözümlü soruları çözümsüz sorulara tercih ederim sorusuna ders bazında öğrencilerin verdikleri cevaplar Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu soruya en yüksek oranla “hiç” cevabını veren grup Türkçe dilinde eğitim görmektedir. Bölümü Bilgisayar/Yazılım Mühendisliği olmayıp İngilizce dilinde eğitim gören öğrencilerin büyük çoğunluğu (%40,3) ve Türkçe dilinde eğitim görenlerin beşte biri (%21,2) çalışırken her zaman çözümü bilinen soruları tercih etmektedir. Bu oran Bilgisayar/Yazılım Mühendisliğinde yaklaşık olarak dörtte biri kadardır (%24,1).



Şekil 2.Ders bazında çözümlü soruları tercih etme dağılımı

E. APRİORİ ALGORİTMASI İLE BİRLİKTELİK KURALI ÇIKARIMLARI

Apriori algoritması ile ölçme aracında yer alan bölümler (demografik bilgiler, ders çalışma alışkanlıkları, programlama ile olan etkileşimler, programlama öz yeterlilik algıları) arasındaki birliktelikler belirlenmeye çalışılmıştır. Birliktelik kuralları programlamaya giriş dersini alan bütün öğrencilerin verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Buna göre en yüksek güven değerine sahip 5 kural Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Apriori algoritması ile elde edilen kurallar

Kural	f	G %	D %	L
Programlama Öğrenme İsteği= Çok Fazla, İş Hayatında Gerekli=Kesinlikle Katılıyorum, Geçme/Kalma Durumu=Geçti⇒ Programlama Öz Yeterliliği=Yüksek	37/37	100	19	1,91
Ders İlk/Tekrar=İlk, İş Hayatında Gerekli=Kesinlikle Katılıyorum, Geçme/Kalma Durumu=Geçti⇒Programlama Öz Yeterliliği=Yüksek	30/32	94	16	1,79
Programlama Öğrenme İsteği=Çok Fazla, Öğrenmek İçin Çok Pratik Yap=Kesinlikle Katılıyorum, Programlama Öz Yeterliliği=Yüksek ⇒ İş Hayatında Gerekli=Kesinlikle Katılıyorum	30/32	94	16	2,49
Programlama Öğrenme İsteği=Çok Fazla, Geçme/Kalma Durumu=Geçti⇒Programlama Öz Yeterliliği=Yüksek	42/45	93	22	1,78
İş Hayatında Gerekli=Kesinlikle Katılıyorum, Geçme/Kalma Durumu=Geçti ⇒Programlama Öz Yeterliliği=Yüksek	41/44	93	22	1,78

* f: Frekans, G: Güven, D: Destek, L: Lift

İlk kurala göre “Programlamayı Öğrenmeyi Ne Kadar İstiyorsunuz?” sorusuna çok fazla cevabını veren, “Programlama bilgisi ileride iş hayatında benim işime yarayabilir.” sorusuna kesinlikle katılıyorum cevabını veren ve dersten başarılı bir şekilde (CC ve üstü) geçen 37 öğrencinin tamamının programlama öz yeterliliği yüksektir. Bu kuralın güven değeri %100 olduğu için kesin kural olarak adlandırılır [29].

İkinci kuralda ise dersi ilk defa alan, programlama bilgisinin ileride iş hayatında kendisine faydalı olacağını düşünen ve dersten başarı (CC ve üstü) ile geçen 32 öğrencinin 30’unun (%94) programlama öz yeterliliğinin yüksek olduğu görülmektedir.

Üçüncü kuralda ise programla öğrenmeyi çok fazla isteyen, programlamayı öğrenmek için çok fazla pratik yapmak gerektiğini düşünen ve programlama öz yeterliliği yüksek olan öğrencilerin %94’ü programlamanın iş hayatında gerekli olduğu görüşündedir. Tablo 12’de yer alan tüm kuralların Lift değerleri 1’den büyük olmakla beraber üçüncü kural en yüksek Lift değerine sahiptir.

IV. SONUC

Bu çalışmada Mühendislik ve Fen Edebiyat Fakültesinde öğrenim gören ve Programlamaya Giriş dersini alan öğrencilerin, programlama öz yeterlilik algıları, programlama öğrenme istekleri ve programlama dersi çalışma alışkanlıkları farklı değişkenlere göre incelenmiş ve bu kavramlar arasındaki birliktelik kuralları çıkarılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre Bilgisayar/Yazılım Mühendisliği bölümleri dışındaki bölümlerde öğrenim gören öğrencilerin programlama öz yeterlilik puanları cinsiyete, eğitim diline, çalışırken çözümlü soruları tercih etme durumuna göre değişmemektedir. Literatürde programlama öz yeterlilik algısının cinsiyete göre anlamlı farklılık gösterdiğini belirten çalışmalar olmakla birlikte bu çalışmada olduğu gibi cinsiyete göre farklılaşmadığı sonucunu destekleyen çalışmalar da bulunmaktadır [1, 5, 8]. Programlama özyeterlilik puanlarının eğitim diline göre farklılık göstermemesi Türkçe dilinde eğitim gören öğrencilerin İngilizce dilinde eğitim görenler kadar programlama konusunda kendilerini yeterli hissettikleri şeklinde yorumlanabilir.

Çalışmanın bir diğer bulgusu öğrencilerin programlama öz yeterlilik algılarının programlama öğrenme isteklerine göre farklılık göstermesidir. Programlama öğrenmeyi çok fazla isteyen öğrencilerin programlama öz yeterlilik puanlarının diğerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum programlama öğrenmeyi çok fazla isteyen öğrencilerin programlama ile ilgili karşılarına çıkan zorluklarda yılmadan, vazgeçmeden sorunu çözmeye çalıştıklarını göstermektedir.

Ayrıca, Bilgisayar/Yazılım mühendisliği öğrencileri ile diğer bölümlerin öğrencilerinin programlama öz yeterlilik puanlarının istatistiksel açıdan farklı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte kendilerine meslek olarak Bilgisayar/Yazılım mühendisliğini seçen öğrencilerin programlama öz yeterlilik puanları diğer bölümlerin öğrencilerinden yüksektir. Elde edilen bu sonuç literatürdeki diğer çalışmalarla [1,6,8] da benzerlik göstermektedir.

Çalışmamızda öğrencilerin programlama öğrenme istekleri ile harf notları, cinsiyetleri ve ders tekrarları arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Öğrencilerin programlama çalışırken bilgisayar kullanma sıklıkları ile bölümleri ve cinsiyetleri arasında bir ilişki tespit edilmemiştir.

Çalışmaya katılan öğrenciler programlamayı öğrenmek için İngilizceye hakim olmak gerektiği görüşündedirler. İlt'er'in [14] elektrik-elektronik mühendisleri ile yabancı dilde eğitim üzerine yapmış olduğu çalışmasında da, katılımcıların %41,5'i yabancı dil bilmeden alanda ilerlemenin mümkün olamayacağı görüşünde olduklarını belirtmişlerdir.

Öğrenciler iyi bir programcı olmak için iyi bir matematik altyapısına sahip olmak gerektiği görüşündedirler. Bilgisayar biliminin tarihine bakıldığında da temeli oluşturan kişilerin matematikçiler olduğu görülmektedir [30]. Gomes ve arkadaşları [15] programlama dersinden başarısız olan öğrencilerin matematikteki temel eksikliklerini tespit etmek ve bu eksikliklerin onların programlama becerileri üzerindeki etkilerini analiz etmek için yaptıkları çalışmada, programlama becerileri eksik olan öğrencilerin temel matematiksel kavramlarda da eksiklikleri olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Bilgisayar/Yazılım Mühendisliği dışındaki bölümlerde okuyup programlama dersini alan öğrenciler öğrendikleri bilgilerin iş hayatında kendilerine fayda sağlayacağı inancındadırlar. Öğrenciler farklı disiplinlere ait bilgiler ile kendilerini donatmaları gerektiğinin farkındadırlar.

Çalışmaya katılan bütün gruplar iyi bir programcı olmak için çok fazla pratik yapmak gerektiği konusunda hemfikirdir. Gomes ve Mendes [16] programlama eğitiminde yaşanan zorluklardan biri olarak öğrencilerin doğru çalışma yöntemini bilmemesini gösterir. Öğrencilerin bazılarının olabildiğince fazla programlama problemi çözmek yerine ders kitabını okuyarak programlamayı öğreneceğini düşündüğünden bahseder. Bizim çalışmamıza katılan öğrenciler ise programlamayı ezberleyerek değil pratik yaparak öğrenebileceklerinin farkındadırlar.

Öğrencilerin kendi başlarına veya gruplar halinde programlama öğrenme şekillerine karşı gösterdikleri olumlu görüşler Tan ve arkadaşlarının [17] yapmış oldukları çalışmanın sonuçlarıyla da örtüşmektedir. Bu çalışmada öğrenciler hocaları ve arkadaşlarıyla istişare ederek, tartışarak ve tek başlarına çalışarak programlamayı daha etkin olarak öğrendiklerini belirtmişlerdir.

Çalışmadan elde edilen bir başka sonuç da bölümlerine bakılmaksızın çalışmaya katılan öğrencilerin yarısı kadarının bilgisayarı kullanmadan programlamayı öğrenmeye çalıştıklarını belirtmesidir. Öğrencilerin bilgisayarı kullanmadan programlamayı öğrenmeye çalışmalarının bir nedeni olarak yazılan kodları derlemekte kullanılan editörün programlamaya yeni başlayan kişiler için yeterince kullanıcı dostu ve anlaşılır olmaması gösterilebilir.

Okudukları bölümden bağımsız olarak ankete katılan tüm öğrencilerin %65'i programlama çalışırken çözümünü bildiği soruları tekrar çözmeye çalışmaktadır. Böylelikle bir hata yaptıklarında kolaylıkla hatanın nerede olduğunu görebilmektedirler, kendilerini güvende hissetmektedirler. Tan ve arkadaşlarının [17] yaptıkları çalışmada lisans öğrencilerinin çoğunluğu çözümleri mevcut olan sorularla çalışmanın, programlamayı öğrenmelerine yardımcı olabileceği görüşünde hemfikirdir. Bu durumu değiştirmek ve öğrencileri çözümlerini bilmedikleri programlama problemleri ile uğraşmaya

teşvik etmek için onlara sık sık kısa sınavlar yapılabilir veya küçük ölçekli programlama projeleri ödev olarak verilebilir.

Apriori algoritması ile çıkarılan birliktelik kuralları incelendiğinde ise kesin kural olarak, programlama öğrenmek konusunda çok fazla istekli olan, programlama öğrenmenin iş hayatında kendisine fayda sağlayacağı görüşünde olan ve programlama dersinden başarı ile geçen (CC ve üstü) öğrencilerin programlama öz yeterlilik seviyesi de yüksektir sonucuna ulaşılmıştır. Bu noktadan hareketle bir öneri olarak, programlama bilgisinin profesyonel hayatta nasıl faydalı olacağı farklı alanlardan başarı/kariyer hikayeleri kullanılarak anlatılıp öğrencilerin programlama öğrenme konusundaki istekleri artırılabilir ve programlama öz yeterlilik seviyeleri yükseltilebilir.

Çalışmanın sadece bir üniversitede yapılmış olması, öğrencilerin sadece Java ile programlamaya giriş dersini almış olmaları, Bilgisayar ve Yazılım Mühendisliği öğrencilerinin ve Türkçe dilinde eğitim alan öğrencilerin diğerlerine göre daha az sayıda olması bu çalışmanın sonuçları ile ilgili genel çıkarımlar yapmamızı kısıtlamaktadır.

Sonuçların genelleştirilebilmesi bu çalışmanın birden fazla üniversitede (devlet, vakıf) daha geniş katılımlı öğrenci gruplarıyla (ulusal ve uluslararası öğrenciler) belki birkaç dönem tekrarlanması ile mümkün olabilecektir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Altun ve S. G. Mazman, “Programlamaya ilişkin öz yeterlilik algısı ölçeğinin Türkçe formunun geçerlilik ve güvenilirlik çalışması,” *Journal of Measurement and Evaluation in Education and Psychology*, c. 3, ss. 297-308, 2012.
- [2] A. Bandura, *Social Foundations of Thought and Action: A Social Cognitive Theory*, New Jersey, USA: Prentice Hall Yayıncılık, 1986.
- [3] N. E. Betz ve G. Hackett, “The relationship of mathematics self-efficacy expectations to the selection of science-based college majors,” *Journal of Vocational Behavior*, c. 23, s. 3, ss. 329–345, 1983.
- [4] C. A. Murphy, D. Coover ve S. V. Owen, “Development and validation of the computer self-efficacy scale,” *Educational and Psychological Measurement*, c. 49, s. 4, ss. 893–899, 1989.
- [5] V. Ramalingam ve S. Wiedenbeck, “Development and validation of scores on a computer programming self-efficacy scale and group analyses of novice programmer self-efficacy,” *Journal of Educational Computing Research*, c. 19, s. 4, ss. 367-381, 1998.
- [6] P. Askar ve D. Davenport, “An investigation of factors related to self-efficacy for Java programming among engineering students,” *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, c. 8, s. 1, ss. 26-32, 2009.
- [7] H. Çiğdem ve O. G. Yıldırım, “Predictors of C# programming language self efficacy among vocational college students,” *International Journal on New Trends in Education and Their Implications*, c. 5, s. 3, ss. 145-153, 2014.
- [8] Ö. Korkmaz ve H. Altun, “Adapting computer programming self-efficacy scale and engineering students’ self-efficacy perceptions,” *Participatory Educational Research*, c. 1, s. 1, ss. 20–31, 2014.

- [9] Ö. Özyurt ve H. Özyurt, "A study for determining computer programming students' attitudes towards programming and their programming self-efficacy," *Eğitimde Kuram ve Uygulama*, c. 11, s. 1, ss. 51-67, 2015.
- [10] F. B. Tek, K. S. Benli ve E. Deveci, "Implicit theories and self-efficacy in an introductory programming course," *IEEE Transactions on Education*, c. 61, s. 3, ss. 218-225, 2018.
- [11] M.-J. Tsai, C.-Y. Wang ve P.-F. Hsu, "Developing the computer programming self-efficacy scale for computer literacy education," *Journal of Educational Computing Research*, c. 56, s. 8, ss. 1345–1360, 2019.
- [12] J. Kittur, "Measuring the programming self-efficacy of electrical and electronics engineering students," *IEEE Transactions on Education*, c. 63, s. 3, ss. 216-223, 2020.
- [13] F. B. Tek ve K. S. Benli. (2021, 24 Ocak). *Programlama özyeterlilik ölçeği*. [Online]. Erişim: <https://github.com/btekgit/MindsetForProgramming>
- [14] B. G. İltter, "Mühendis Bakış Açısıyla Yabancı Dilde Eğitim," *IV. Elektrik Elektronik Bilgisayar Biyomedikal Mühendislikleri Eğitimi Sempozyumu*, Eskişehir, Türkiye, 2009.
- [15] A. Gomes, L. Carmo, E. Bigotte ve A. Mendes, "Mathematics and programming problem solving," *In 3rd E-Learning Conference – Computer Science Education*, Coimbra, Portugal, 2006.
- [16] A. Gomes ve A. J. Mendes, "Learning to program - difficulties and solutions," *International conference on Engineering Education*, Coimbra, Portugal, 2007.
- [17] P. Tan, C. Ting ve S. Ling, "Learning Difficulties in Programming Courses: Undergraduates' Perspective and Perception," *2009 International Conference on Computer Technology and Development*, Kota Kinabalu, 2009.
- [18] M. Başer, "Bilgisayar programlamaya karşı tutum ölçeği geliştirme çalışması," *The Journal of Academic Social Science Studies*, c. 6, s. 6, ss. 199-215, 2013.
- [19] S. Kılıç, "Cronbach's alpha reliability coefficient," *Journal of Mood Disorders*, c. 6, s. 1, ss. 47-48, 2016.
- [20] S. Landau ve B. Everitt, *A Handbook of Statistical Analyses Using SPSS*, 1.baskı, USA: Chapman and Hall/CRC Yayıncılık, 2003.
- [21] R. Agrawal ve R. Srikant, "Fast algorithms for mining association rules in large databases," *In Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases*, Santiago de Chile, Chile 1994, ss. 478-499.
- [22] R. G. Lomax ve D. L. Hahs-Vaughn, *An Introduction to Statistical Concepts*, 3.baskı, New York, USA: Routledge Yayıncılık, 2012.
- [23] M. Dikmen, "Veri toplama ve veri analiz yöntemleri: WPF ve Silverlight ile uygulama geliştirme," Yüksek lisans tezi, Bilgisayar Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2011.
- [24] M. R. Spiegel ve L. J. Stephens, *Schaum's Outline of Theory and Problems of Statistics*, 4.baskı, New York, USA: McGraw-Hill Yayıncılık, 2008.
- [25] Y. Ateş ve M. Karabatak, "Nicel birliktelik kuralları için çoklu minimum destek değeri," *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 29, s. 2, ss. 57-65, 2017.

- [26] S. S. Jambhorkar ve V. S. Jondhale, *Data Mining Technique: Fundamental Concept and Statistical Analysis*, Horizon Books Yayıncılık, 2015.
- [27] N. Hussein, A. Alashqur ve B. Sowan, "Using the interestingness measure lift to generate association rule," *Journal of Advanced Computer Science & Technology*, c. 4, s. 1, ss. 156-162, 2015.
- [28] S.Kılıç, "Chi-square Test," *Journal of Mood Disorders*, c. 6, s. 3, ss. 180-182, 2016.
- [29] F. C. Özçakır ve A. Y. Çamurcu, "Birliktelik kuralı yöntemi için bir veri madenciliği yazılımı tasarımı ve uygulaması," *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 6, s. 12, ss. 21-37, 2007.
- [30] İ. Yusubov, "Bilgisayar mühendisliği eğitiminde matematik altyapı ve tarihe başvurunun önemi hakkında," *I. Elektrik-Elektronik Bilgisayar Mühendislikleri Eğitimi Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 2003.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Oltalama Saldırıları Farkındalık Tatbikatı Örneği

 Yenal ARSLAN^{a,*},

^a*Sosyal Güvenlik Kurumu, Ankara, TÜRKİYE*

* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: yarslan@sgk.gov.tr*

DOI:10.29130/dubited.832862

ÖZET

Kullanıcılar bilgi güvenliği zincirinde en zayıf halka olarak görülmektedir. Kurumlarda bilgi güvenliğini sağlamaya yönelik pek çok sistem kurulsa da bunlar tam bir güvenlik sağlayamamakta, bazı saldırıların kullanıcılara ulaşmasını engelleyememektedir. Bu nedenle son kullanıcı seviyesine inmeden kurumsal bir bilgi güvenliğinden bahsedilemez. Kullanıcılara yönelik saldırıların başında oltalama saldırıları gelmektedir. Bu çalışmanın amacı, kullanıcıların bilgi güvenliği farkındalık düzeylerini tespit etmeye yönelik bir oltalama tatbikatının geliştirilmesi ve doğru sonuçlar elde etmek için oltalama tatbikatlarında dikkat edilmesi gereken hususların belirlenmesidir.

Anahtar Kelimeler: *Bilgi güvenliği, Kullanıcı farkındalığı, Sosyal mühendislik, Oltalama*

Phishing Attacks Awareness Exercise Example

ABSTRACT

Users are seen as the weakest link in the information security chain. While many systems are installed to provide information security in institutions, they cannot provide full security and cannot prevent some attacks from reaching users. For this reason, enterprise information security can not be mentioned without going down to the end-user level. The most common attack type against end-users is phishing attacks. The purpose of this study is to develop an phishing experiment to determine the users' awareness level of information security and to determine the points that should be considered in case of phishing experiments to obtain accurate results.

Keywords: *Information security, User awareness, Social engineering, phishing*

I. GİRİŞ

Sosyal mühendislik, bir hedefin belirli bilgilerini açığa çıkarmak için veya gayri meşru sebeplerle bir eylemde bulunmaya yönelik kullanılan tüm teknikleri ifade eder. Oltalama saldırıları sosyal mühendisliğin bir türü olup potansiyel mağdurların kimlik bilgileri, banka ve kredi kartı bilgileri gibi hassas bilgileri açığa çıkarmaya ikna etmek için yapılır [1]. Ayrıca, belirli bir kimliğe bürünerek bir hedeften bilgi elde etmek amacıyla kullanılan ölçeklenebilir aldatma eylemi olarak da tanımlanabilir [2]. Oltalama saldırılarında balıkçılıkta olduğu gibi hedefleri yakalamak için yem kullanılır. Saldırı genellikle bir banka veya sosyal ağlar gibi güvenilir meşru bir kaynak gibi görünen, aslında saldırganların hedeflerine ulaşmak için kullandığı güvenilir olmayan kaynaklardan gelen sahte e-postalar ile başlar ve kişinin zararlı yazılım indireceği ya da istenen bilgileri girebileceği sahte bir web sitesine yönlendirilmesi biçiminde devam eder [2]. "Oltalama" kelimesi ilk olarak 2 Ocak 1996'da bir haber sitesinde, bir grup bilgisayar korsanı tarafından kullanıcıların kimlik bilgilerinin çalınmasını ve o zamandan beri oltalama ölçeğini ve karmaşıklığını açıklamak için kullanılmıştır [3].

L. De Kimpe ve arkadaşları, kullanıcıların oltalama hedefi olmaları konusunda aşağıda belirtilen 4 tane hipotez ortaya atmışlar ve yaptıkları çalışmada hipotezlerini ispatlamaya çalışmışlardır. Birinci hipotez dijital dosyaları sıklıkla kullanan, kopyalayan veya paylaşan kişilerin saldırı hedefi olma olasılığı yüksektir. İkinci hipotez internette ve sosyal medyada, kendine ve yaşantısına dair çokça paylaşım yapanların saldırı hedefi olma olasılığı yüksektir. Üçüncü hipotez sosyal ağ sitelerini daha sık kullanan kişilerin, hedef alınma olasılığı yüksektir. Dördüncü hipotez daha sık internetten alışveriş yapan kullanıcılarının, saldırı hedefi olma olasılığı yüksektir [2].

Molinaro ve Bolton yaptıkları araştırmada Microsoft'un 2014 yılında yayımladığı bir raporu referans göstererek oltalama saldırılarının dünya üzerinde yıllık etkisinin yaklaşık 2,4 milyar dolar olduğunu ifade etmişlerdir [4]. Bir diğer örnek ise 2014 yılında Target şirketine yapılan ve 110 milyon tüketicinin kredi kartlarının ve kişisel bilgilerinin ifşa edilmesine yol açan oltalama saldırısı verilebilir [5]. Oltalama saldırılarını önleme çalışma grubu tarafından 2016'da 1,2 milyondan fazla oltalama saldırısı tespit ederek 2015'e göre %65 artışla oltalama probleminin büyümeye devam ettiği anlaşılmıştır. Koray ve Arkadaşları yaptıkları çalışmada oltalama saldırılarının özellikle gelişmekte olan ülkeleri hedef aldığını, Çin'deki bilgisayarların %47,09, Çin'in ardından sırasıyla %42,88 ve %38,98 oranında Türkiye ve Tayvandaki bilgisayarların oltalama saldırılarına maruz kaldığını vurgulamışlardır [6]. Ek olarak, Verizon 2017 raporunda, oltalama saldırılarının %95'inin sonunda bir zararlı yazılım kurulumunun olduğu ve e-posta eklerinin bahsedilen bu kötü amaçlı yazılımlar için en çok kullanılan teslimat aracı olduğunu belirtmiştir [4]. Tespit edilen oltalama saldırıların %90'ı e-posta kullanılarak gerçekleştirilmiştir [7]. Ancak en sık hedeflenen ortam e-posta olsa da literatürde anlık mesajlaşma uygulamaları, mobil uygulamalar, sosyal ve sesli medya gibi başka hedefler de bulunmaktadır [8].

Oltalama saldırı tehdidine yanıt olarak, oltalama önleme sistemleri geliştirilmiştir. Oltalama önleme sistemleri yeni bir araştırma alanı olmayıp uzun yıllardır üzerinde çalışılan bir konudur. Genel olarak liste tabanlı ve makine öğrenimi tabanlı olarak ikiye ayrılabilirler [9]. Ancak saldırganlar mevcut savunma sistemlerini alt etmek için sürekli yeni ve değişik saldırı tipleri geliştirmektedirler. Özellikle sıfırinci gün saldırıları konusunda birçok oltalama önleme sistemi çaresiz kalmaktadır [3]. Oltalama saldırıları için saldırganlar bazı teknikler uygular. Mesela, İnternet'teki popüler ve yasal sitelerin tamamen benzer tasarımına sahip sahte web siteleri oluşturarak hedefledikleri kullanıcılar için bu web sitelerini çekici hale getirirler [6]. Neredeyse gerçeğinden ayıramayacak kadar yakın benzetimlerle ortaya konulan oltalama saldırılarını yalnızca içerik olarak değil aynı zamanda teknik olarak da gerçeğinden ayırmak zordur. Phishlabs'ın son raporlarına göre 2018'in üçüncü çeyreğinde oltalama saldırı web sitelerinin % 49'unun SSL (Secure Sockets Layer- Güvenli Yuva Katmanı) sertifikaları kullandığını göstermektedir [9]. Oltalama saldırılarını tespit etmede güçlük yaşanmasının başlıca nedeni, standart siber güvenlik sistemlerini aşmak yerine bu saldırının özellikle insanların güvenlik farkındalığı eksiklerinden yararlanan bir saldırı tipi olmasıdır [8].

Genellikle sosyal mühendislik, insan unsuruna odaklanan saldırganlar tarafından en yaygın olarak kullanılan tekniktir. Ayrıca sosyal mühendislik saldırganların hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olmak, onlardan bilgi almak veya saldırganına bir şekilde fayda sağlayacak bir eylemi gerçekleştirmek için insanları aldatma veya kandırma sanatı olarak tanımlanmaktadır [5].

Bununla birlikte, Makine Öğrenimi ve veri madenciliği tekniklerini kullanan birkaç oltalama önleme sisteminin umut verici doğruluk oranlarına ulaştığı literatürde görülmüştür [3]. Wei ve arkadaşları, makine öğrenmesi kullanarak oltalama URL (Uniform Resource Loader - Tek Düzen Kaynak Bulucu) lerini tespit eden bir sistem geliştirmiştir [9]. Mao ve arkadaşları, 2018 de sahte web sayfalarını gerçeğinden ayırmak için CSS çerçevelerini karşılaştıran bir teknik geliştirmişlerdir [1].

Oltalama saldırılarının çok büyük finansal kayıplara sebep olmasının yanı sıra, bu saldırıya uğrayan firma ya da kurumların itibarları da zedelenebilir. İtibarın zedelenmesi riski bu gibi durumda finansal kayıplardan çok daha önemlidir [5]. Kullanıcılar, internet ve üçüncü uygulama kullanımları aracılığıyla kurumsal ağlarda açık bir arka kapı oluştururlar. Bu güvenlik açığı, kullanıcıların ev ve diğer ticari ağlara katılan mobil sistemleriyle beraber daha da artmaktadır [10].

Sosyal etkinin oltalama saldırılarındaki önemini göz önünde bulundurmak gerekir. Sosyal etki, gerçek veya hayali olan dış baskının neden olduğu tutum veya davranış değişikliğini ifade eder. En yaygın olarak kabul edilen ve kullanılan sosyal etki çerçevesi otorite, tutarlılık, eğilim, karşılıklılık, kıtlık ve sosyal kanıt olmak üzere altı ilkedenden oluşur. Bu altı prensip için oltalama e-posta örnekleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Bu prensiplere ek olarak, oltalama hedefinin yaşı, cinsiyeti ve bilgisayar kullanım sıklığıda ciddi oranda oltalama duyarlılığını etkilemektedir [11].

Tablo 1. Sosyal etki çerçevesi

PRENSİPLER	E-POSTA KONUSU	ÖRNEK YAZI
Otorite	Yasal Konu	“İhlal Bildirimi aldınız”
Tutarlılık	Hayırseverlik Bağışı	“Daha önceki bağışlarımız için teşekkür ederiz”
Eğilim	Anket İstekleri	“Selam, Katılmak için davet edildiğinizi size bildirmek isteriz.”
Karşılıklılık	Bağlılık Çeki	“Tebrikler, 50 TL hediye çeki kazandınız”
Kıtlık	Rekabet	“Kazanma şansın var”
Sosyal Kanıt	İyileştirilmiş Hizmet	“Kullanıcıların %70’i güncelleme yaptı”
-	Şifre Sıfırlama	“[Kullanıcı adı] hesabınızın şifresini sıfırlamak için aşağıdaki bağlantıya tıklayın.”

Parsons ve arkadaşları sosyal etki çerçevesi kullanılarak oltalama e-postalarının diğer e-postalardan neden daha etkili olduğunu değerlendirmek için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, bazı insanların saldırılara daha duyarlı olduğu bireysel farklılıklar analiz edilerek değerlendirilmiştir. Çerçeve de belirtilen bazı tekniklerin oltalama e-postalarında daha az yaygın olduğundan, insanların bu e-postalara bağımsızlık geliştirecek kadar maruz kalmamış olabileceklerini ifade etmişlerdir [11]. Buradan da saldırganların her zaman yeni ikna yöntemleri geliştirdikleri ve kullanıcı farkındalığını yeni tehditlere göre sürekli güncellemek gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Silic ve Back 2016 yılında yapmış oldukları çalışmada efektif eğitim ve deneylerin çalışanların farkındalığını artırdığını ve bu farkındalığın bilgi güvenliğini sağlamada en temel konulardan biri olduğunu Fortune 500 listesindeki 11 farklı şirketin genel müdürleri ile yapmış oldukları görüşmelerden çıkarmışlardır [5].

Dodge ve Ferguson, 2006 yılında yapmış oldukları çalışmada ortalama testlerinin, her ne kadar miktarını ölçmek güç olsa da farkındalığı artırmada önemli bir araç olduğunu belirtmişlerdir[10].

Mohebzada ve arkadaşları 2012 yılında 10.000 üniversite çalışanı ve öğrencisi üzerinde ortalama deneyi yapmışlar ve sonuçlarını yaptıkları çalışmada ortaya koymuşlardır [12].

II. METODOLOJİ

Yapılan çalışmada organizasyonlara güvenlik zincirinin en zayıf halkası olan “insan” faktörü ile ortalama saldırıları kullanılarak gelebilecek olan riskler ve organizasyonların buna ne kadar hazır olduğunun görülmesi hedeflenmiştir.

Saldırganlar güvenlik sistemlerini hedef olarak seçmek yerine en zayıf halka olan insan faktörü üzerine yoğunlaşmakta ve bir sisteme sızmak için sıradan bir kullanıcının bilgilerini ele geçirdikten sonra hak yükselterek ilerlemektedirler. Ortalama saldırıları ile direkt kişilerin kendilerinden bilgilerini almaya çalışmakta ya da web uygulama açıkları üzerinden sistemlere ve kurumsal bilgilere erişim sağlamaya çalışmaktadırlar. Genellikle kullanıcı güvenliği adına kurum ve kuruluşlarca ilk etapta yetki kısıtlamaları uygulanmaya ve anti virüs yazılımları sağlanmaya çalışılmaktadır. Ancak son kullanıcı seviyesine inmeden kurumsal bir bilgi güvenliğinden bahsedilemez. Kurumsal bilgi güvenliği politikasının etkili olabilmesi için politikanın son kullanıcılar tarafından tam olarak anlaşılması önemlidir. Tatbikatlar hem kullanıcı farkındalığını doğru olarak ölçmekte hem de farkındalığı arttırmakta oldukça etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir.

Yapılan çalışmada 33.000 çalışanı ve 400 taşra birimi bulunan büyük bir Kamu Kurumu ile tatbikatlar gerçekleştirilmiştir. Tatbikatlar yapılırken sahte web sayfaları hazırlanmış, farklı senaryolarda sahte e-postalar kurum çalışanlarına gönderilmiştir. Bununla beraber 20 ayrı yere USB (Universal SerialBus – Evrensel Seri Veriyolu) bellekler bırakılarak çalışanların buldukları USB belleklere karşı tutumları değerlendirilmiştir. Tatbikat sonucu istatistikler detaylı olarak karşılaştırılmıştır. 2 ayrı fazda 7 farklı senaryo tablo 2’de gösterilmiş, üç farklı personel statüsüne ayrı ayrı ortalama testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Senaryo tablosu

Faz	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4
Faz 1	Toplam 548 teknik personele “VPN erişim duyurusu” e-postası gönderilmiştir (Sahte Web Sitesi ve E-posta Senaryosu)	Toplam 5000 personele “Avantaj Paketi Duyurusu” e-postası gönderilmiştir (Sahte Web Sitesi ve E-posta Senaryosu)	Toplam 70 yönetici personele “Gönderi takip + Ekli dosyada Makro çalıştırma” e-postası gönderilmiştir (Sahte Dosya İndirilmesi ve E-posta Senaryosu)	-
Faz 2	Toplam 500 teknik personele “Bilgi güncelleme duyurusu” e-postası gönderilmiştir (Sahte Web Sitesi ve E-posta Senaryosu)	Toplam 5000 personele “Bilgi güncelleme duyurusu” e-postası gönderilmiştir (Sahte Web Sitesi ve E-posta Senaryosu)	Toplam 70 yönetici personele “Siparişiniz Onaylandı” e-postası gönderilmiştir (Sahte Web Sitesi ve E-posta Senaryosu)	Toplam 20 adet USB bellek rastgele bırakılmıştır (USB Bellek Senaryosu)

A. GERÇEKLEŞTİRİLEN SENARYOLAR

A. 1. Sahte Web Sitesi ve E-Posta Senaryosu

Sahte web sitesinin adresi gerçek hayatta görülen saldırılar gibi kurum adına çok benzer seçilmiştir. Tatbikat için kullanılan alan adı üzerinden e-posta gönderilerek kullanıcıların siteye erişebilmesi sağlanmıştır. Sahte web sitesi, kurum uzaktan erişim servisinin arayüzüne benzer olarak tasarlanmıştır. Sitenin güvenli olmadığı tarayıcıda görülebilmektedir. Açılış sayfasında kullanıcı bilgilerinin girilebileceği kullanıcı adı ve parola alanı bulunmaktadır. Parola giren kişilerin doğru girip girmediği kontrol edilmiş ancak parolalar kayıt altına alınmamıştır. Hatalı parola girilse bile tekrar parola istenmemiş ve içerideki sayfaya yönlendirme yapılmıştır. Yapılan geri dönüşlerden bilinçli yanlış parola denemesi yapan kullanıcılar olduğu görülmüştür. Bu aşamada kullanılan parolaların karmaşıklık seviyesi de analiz edilmeye çalışılmış ancak kurumda uygulanan mevcut güvenlik politikaları nedeniyle parola oluşturmanın belirli standartları olduğundan bu konuda anlamlı bir sonuç elde edilememiştir.

Yapılan bu çalışmada senaryolar hazırlanırken teknik detaylar, görsel sunum, mesajın dili ve içeriği gibi üç oltalama ipucu kategorisi göz önünde bulundurulmuş ve personelden bu ipuçlarını yakalaması beklenmiştir. Teknik kategoride; görünen adlar kolayca taklit edilebilir olması, gönderenin gerçek e-posta adresini gizleyebilir olması, metnin arkasındaki gerçek URL'yi gizleyerek metin ayrıca başka bir bağlantı gibi görünebilir olması, dosya eklerinin ve özellikle de yürütülebilir dosyanın varlığının olması gibi ipuçları kullanılmıştır. Görsel sunum kategorisinde; çok az marka ve ayırmaç kullanılması, genel olarak zayıf biçimlendirme ve tasarım kullanılması gibi ipuçları verilmiştir. Mesajın dili ve içeriği kategorisinde; birden çok yazım veya dil bilgisi hatası içeren e-postalar kullanılarak ipuçları verilmiştir. Kullanıcıların isteğe hızlı bir şekilde uymasını sağlamaya çalışmak için genellikle zaman baskısı veya kurumsal otorite emirleri kullanılmıştır. Gerçek tekliflerde olamayacak kadar iyi teklifler sunulmuş (%60 indirim gibi) ve içerikte kişisel bilgi talep edilerek ipuçları verilmiştir. Kullanıcının bu ipuçlarını yakalaması, oltalama saldırısını tanımlaması ve siber güvenlik birimine iletmesi beklenmiştir.

A. 2. Sahte Dosya İndirilmesi ve E-Posta Senaryosu

A Kurumu için sahte web sitesinin adresi gerçek hayat saldırılarına benzer olarak gerçekçi bir adres seçilmiştir. Sahte alan adı üzerinden tatbikat için e-posta gönderilmiş ve kullanıcıların e-posta içeriğindeki bağlantıya tıklayarak ekteki dosyayı indirmeleri teşvik edilmiştir. İletilen e-postanın bağlantısında zararlı makro kodu içeren excel dosyası vardır. Kullanıcılardan bu dosyayı indirerek zararlı makroyu etkinleştirmeleri beklenmiştir.

Zararlı makro kodu powershellyükü (payload) kullanılarak Empire aracı ile oluşturulmuştur [13]. Empire, PowerShell ve Python kullanan oldukça pratik ve gelişmiş özellikleri olan bir araçtır.

A. 3. USB Bellek Senaryosu

A kurumu için hazırlanan bu senaryoda oltalama amaçlı USB bellekler hazırlanmıştır. Hazırlanan USB bellekler kurum içerisinde belirlenen 4 ayrı yerleşkeye bırakılarak kullanıcıların tanımadıkları bir belleğin içindeki dosyaları açıp açmadıkları tespit edilmeye çalışılmıştır. USB belleklerin içine liste.xlsx görünür adlı çalıştırılabilir bir dosya (dosyanın gerçek adı liste.xlsx.exe'dir) konulmuştur. Dosya çalıştırıldığında arka planda çalışan Windows komutları hedefteki bilgisayarda tanımlı IP adresleri, MAC adresi, kullanıcı dizini, kullanılan DNS adresi ve bilgisayar kullanıcı adı bilgisini merkezi bir veri tabanı sunucusu üzerine kopyalamıştır. Bu sayede kimlerin USB bellekleri alarak dosyayı çalıştırmış olduğu bilgisine erişilmiştir. Zararlı uygulama 20 adet USB cihazına kopyalanmıştır.

B. TATBİKATIN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu makalede belirtilen çalışmaya benzer şekilde Orunsolu ve arkadaşları da yaptıkları çalışmada cinsiyet, akademik yeterlilik ve bilgisayar bilgisi kullanıcıların ortalama saldırılarını fark etmelerinde bir etken olduğunu belirtmişlerdir [14]. Flores ve arkadaşlarının, 2013 yılında 92 katılımcıya yaptıkları genel genel ortalama atağında %8.7 oranında katılımcıların ortalama takıldığı görülmüşlerdir[15].

Gerçekleştirilen sosyal mühendislik tatbikatında altı farklı senaryo üzerinden sahte elektronik postalar sahte site adreslerinden gönderilmiştir. Sitelere erişen kullanıcılar daire başkanları, bilişim merkez personeli ve taşra personeline ait bilgilere göre sonuçlar girilen kullanıcı adı ve parolaların doğruluklarına göre değerlendirilmiştir. Ayrıca indirilen makro içeren dosyaların kimler tarafından çalıştırıldığına göre de değerlendirilmiştir.

Kaç kullanıcının e-postayı gördüğü tespiti için e-posta gövdesi içine bir adet gif uzantılı dosya eklenmiş ve bu dosyanın yüklenip yüklenmediği yazılım ile kontrol edilerek kimlerin e-postayı gördüğü ve yine yazılım ile kimlerin e-postadaki bağlantıyı tıkladığı tespit edilebilmektedir. A Kurumu tarafından e-posta hesaplarının düzenli kullanıldığı bilindiğinden sonuçlar kurum özelinde detaylı değerlendirilmiştir.

B. 1. Bilişim Merkez Personeli (Faz 1 - Senaryo 1)

Tablo 3’de gösterilen tatbikat sonucunda, Faz 1 içerisinde gerçekleştirilen 1. senaryo ile A kurumunun Bilişim Merkez personeline 548 e-posta gönderilmiştir. Gönderilen e-posta 87 kişi tarafından açılmış, 81 kişiye e-postadaki bağlantıya tıklamıştır. Toplamda kullanıcı adı ve parola kısmına 106 kez veri girilmiş ve bunların 6 tanesinin doğru olduğu tespit edilmiştir.

Tablo3.Faz 1- senaryo 1 tatbikat sonucu

Faz 1 - Senaryo 1	
Oltalama E-postası Gönderilen Personel Sayısı	548
E-postayı Açan Personel Sayısı	87
E-postadaki Bağlantıya Tıklayan Personel Sayısı	81
Toplam Doldurulan Form Sayısı	106
Doğru Girilen Form Sayısı (Ortalama Başarısı %)	6, %1.1

B. 2. Taşra Personeli (Faz 1 - Senaryo 2)

Tatbikatın 1. Faz 2. senaryosu kapsamında A Kurumunun taşra personeline tatbikat için kullanılan alan adı üzerinden sahte e-posta gönderilmiş ve kullanıcıların siteye erişebilmesi sağlanmıştır.

Tablo 4’de bulunan tatbikat sonuçlarına bakıldığında taşra personeline toplamda 5000 adet e-posta gönderilmiştir. Bu e-postaların 1007 tanesi görüntülenmiş ve 953 kişi e-posta içindeki bağlantıya tıklamıştır. Kullanıcı adı ve parola kısmına 1484 adet veri girilmiş ve bunların 310 tanesinin doğru olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.Faz 1- senaryo 2 tatbikat sonucu

Faz 1 - Senaryo 2	
Oltalama E-postası Gönderilen Personel Sayısı	5000
E-postayı Açan Personel Sayısı	1007
E-postadaki Bağlantıya Tıklayan Personel Sayısı	953
Toplam Doldurulan Form Sayısı	1484
Doğru Girilen Form Sayısı (Ortalama Başarısı %)	310, %6.2

B. 3. Özel Yetkili Kullanıcılar ve Yöneticiler (Faz 1 - Senaryo 3)

Tatbikatta 1. Faz 3. senaryo ile A Kurumunda yönetici kademesindeki Daire Başkanlarına ve üst seviye yöneticilere e-posta gönderilmiştir.

Tablo 5’de gösterilen tatbikat sonuçlarına bakıldığında yöneticilerin de farkındalık düzeyinin zayıf olduğu görülmüştür. Toplam 70 yöneticiden 53’ü e-postayı görmüş ve 48’i ilgili bağlantıdan dosyayı indirmiş ve 21 kişi ise zararlı makroyu aktif etmiştir.

Tablo 5. Faz 1- senaryo 3 tatbikat sonucu

Faz 1 - Senaryo 3	
Oltalama E-postası Gönderilen Personel Sayısı	70
E-postayı Açan Personel Sayısı	53
E-postadaki Dosyayı İndiren Personel Sayısı	48
Zararlı Makroyu Aktifleştiren Personel Sayısı (Oltalama Başarısı %)	21, %29.6

B. 4. Bilişim Merkez personeli (Faz 2 - Senaryo 1)

Tablo 6’da gösterilen tatbikat sonucunda 2. Faz 1. senaryo ile gerçekleştirilen ortalama çalışmasına göre A kurumunun Bilişim Merkez personeline 500 e-posta gönderilmiştir. Gönderilen e-postalardan 270 tanesi görüntülenmiş, 145 kişi bağlantıya tıklamıştır. Toplamda kullanıcı adı ve parola kısmına 72 veri girilmiş ve bunların 60 tanesinin doğru olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6. Faz 2- senaryo 1 tatbikat sonucu

Faz 2 - Senaryo 1	
Oltalama E-postası Gönderilen Personel Sayısı	500
E-postayı Açan Personel Sayısı	270
E-postadaki Bağlantıya Tıklayan Personel Sayısı	145
Toplam Doldurulan Form Sayısı	72
Doğru Girilen Form Sayısı (Oltalama Başarısı %)	60, %12

B. 5. Taşra Personeli (Faz 2 - Senaryo 2)

2. Faz 2. senaryo kapsamında A Kurumunun taşra personeline tatbikat için kullanılan alan adı üzerinden sahte e-posta gönderilmiş ve kullanıcıların siteye erişebilmesi sağlanmıştır.

Tablo 7’de gösterilen tatbikat sonuçlarına bakıldığında taşra personeline toplamda 5000 adet e-posta gönderilmiştir. Bu e-postaların 3242 tanesi görüntülenmiş ve 1911 kişi e-posta içindeki bağlantıya tıklamıştır. Kullanıcı bilgilerini giren sayısı 1071 olmuş ve bunların 865 tanesinin doğru olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 7. Faz 2- senaryo 2 tatbikat sonucu

Faz 2 - Senaryo 2	
Oltalama E-postası Gönderilen Personel Sayısı	5000
E-postayı Açan Personel Sayısı	3242
E-postadaki Bağlantıya Tıklayan Personel Sayısı	1911
Toplam Doldurulan Form Sayısı	1071
Doğru Girilen Form Sayısı (Oltalama Başarısı %)	865, %17.3

B. 6. Özel Yetkili Kullanıcılar ve Yöneticiler (Faz 2 - Senaryo 3)

Tatbikatta 2. Faz 3. senaryo ile A Kurumunda yönetici kademesindeki Daire Başkanlarına ve üstseviye yöneticilere e-posta gönderilmiştir.

Tablo 8’de bulunan tatbikat sonuçlarına bakıldığında yöneticilerin de farkındalık düzeyinin birinci faza göre geliştiği görülmüştür. Toplam 70 yöneticiden 42’si e-postayı görmüş, 25 tanesi bağlantıya giriş yapmış ve hiçbirisi kullanıcı ismi/parola bilgilerini girmemiştir.

Tablo 8.Faz 2- senaryo 3 tatbikat sonucu

Faz 2 - Senaryo 3	
Oltalama E-postası Gönderilen Personel Sayısı	70
E-postayı Açan Personel Sayısı	42
E-postadaki Bağlantıya Tıklayan Personel Sayısı	25
Toplam Doldurulan Form Sayısı	0
Doğru Girilen Form Sayısı (Oltalama Başarısı %)	0, %0

B. 7. USB Bellek Senaryosu Tatbikat Sonucu (Faz 2 - Senaryo 4)

A Kurumunun 4 ayrı yerleşkesine rastgelen bırakılan 20 adet USB bellekle alakalı “Kaç kişinin USB bellekleri alarak bilgisayarına taktığı” konusunda kesin bir rakama ulaşamamıştır. Bunun yanı sıra toplamda 3 kişi USB belleğini bilgisayarına takarak liste. xlsx. exe dosyasını toplamda 6 kere çalıştırmışlardır. Bu da yüzdesel olarak yaklaşık %15’lik bir oranda ortalama çalışmasının başarıya ulaştığını göstermektedir. Tatbikat sonucu tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9.Faz 2 – senaryo 4 tatbikat sonucu

Faz 2 - Senaryo 4	
A Kurumuna Rastgele Bırakılan USB Sayısı	20
USB Belleği Bilgisayara Takan Personel Sayısı	3
USB deki Dosyanın Çalıştırılma Sayısı	6
Oltalama Çalışmasının Başarı Yüzdesi	% 15

III. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu makaleye konu olan çalışmada Kurumun birimler ve rol bazında çalışanlarının ortalama saldırılarına karşı farkındalığı ölçülmüş ve literatürde yapılmış olan çalışmalarla kıyaslanmıştır. Bununla beraber ortalama tatbikatı yapılırken dikkat edilmesi gereken konular ortaya konularak bu makaleyi okuyarak ortalama saldırıları ile ilgili sosyal mühendislik deneyi yapmak isteyenlere fikir vermeye çalışılmıştır. Buna göre; Güvenlik sistemleri e-posta adres aldatmacalarını tespit edebildiğinden gönderilen e-postanın ve yönlendirilen bağlantı adresinin kurumsal bir adres olmaması daha doğru olacaktır. Saldırganın elinde sadece e-posta adreslerinden oluşan bir liste olduğu varsayımı ile hareket edilmelidir. Kişiselleştirilmiş e-posta saldırılarının çok daha etkili olduğu bir gerçek olsa da ortalama saldırıları çoğunlukla genele hitap edecek şekilde olmaktadır. Gönderilecek e-postanın konusunun ilgi çekici ve aynı zamanda gündemde olması, ayrıca tüm hedef kitleyi ilgilendirmesine dikkat edilmelidir. Sonuçların doğru değerlendirilebilmesi için gönderilen tüm e-postalarda bağlantıların kişiye özel olması sağlanmalıdır. Yapılan tatbikatta kullanıcı bilgisi talep edilecek ise kullanıcıların doğru bilgi girip girmediği kontrol edilmelidir. Ancak kullanıcı yanlış bilgi girdiğinde saldırıların bunu bilemeyeceği göz önünde bulundurularak senaryo hazırlanmalıdır. Yapılan tatbikatta

zararlı bir dosya indirilmesi isteniyorsa tüm hedef kitlenin bu dosyayı indirmek ve bilgisayarında çalıştırmak için yetkili olması sağlanmalıdır. Merkez ve taşrada bilgi sistemleri ile ilgili yetkili personele tatbikat ile ilgili bilgi verilmesi ve bu kişiler tarafından genel duyuru yapılmasının önüne geçilmesi gerekir. E-postaya cevap verebilecekler için cevap adresi gerçek bir adres verilebilir. Değerlendirmede kullanılacak yaş, cinsiyet, görev, birim gibi kullanıcılara ait bilgiler alınmalıdır. Elektronik postayı, okuyan ve e-postaya tıklayan kişi sayısının belirlenebilmesi faydalı olacaktır.

Oltalama saldırıları, kullanıcıların güvenlik açıklarından yararlanır, bu nedenle sistemlerin ve kullanıcıların korunması için bazı ek destek sistemlerine ihtiyaç vardır. Koruma mekanizmaları iki ana gruba ayrılır. Bunlardan ilki kullanıcıların farkındalığını artırmak ve ikincisi Şekil 1'de gösterildiği gibi bazı ek programlar kullanmaktır. Tüm bunlara ek olarak, oltalama saldırılarında sürekli yeni yöntemler/ türler üretildiği için ağların oltalama tespitini yapan güvenlik yöneticisi tarafından tek bir yaklaşım yerine hibrit modellerin kullanılması gerekliliği çok önemlidir [6].



Şekil 1.Oltalama tespiti[6]

Bu zayıflıkların ışığında, oltalama saldırılarıyla mücadele etmek için basit liste tabanlı yöntemlerden makine öğrenimi yaklaşımına kadar birçok uygulama geliştirilmiştir [3].

Tatbikat sonuçlarından görüldüğü üzere kurumlarda kullanıcıların bilgi güvenliği farkındalığı oldukça düşüktür. Sadece kişilerin e-posta adreslerine sahip bir saldırganın kişilerin bilgilerini ele geçirebileceği görülmüştür. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da kişilerin bunun bir saldırı olduğunu fark edemediğinden çalınan bilgilerin uzun süre sömürülebileceği gerçeğidir.

Bunun haricinde Kurumda sosyal mühendislik saldırıları ile başarı elde edilmiş olup, taşra personelinin daha az şüphe duyup kullanıcı adı, parola bilgilerini sahte web sayfalarına girme oranının daha fazla olduğu görülmüştür. Fakat yönetici pozisyonunda bulunan kişiler taşra personeline göre biraz daha dikkatli olsa da sonuç yine başarılı olmuş ve yöneticilerin kullanıcı adı, parola bilgisinin elde edilmesi haricinde zararlı dosya etkinleştirdiği gözlemlenmiştir.

Bilgi güvenliği farkındalık çalışmaları en üst yöneticiden başlayarak tüm çalışanları ve kuruma hizmet veren üçüncü tarafları kapsayacak şekilde yapılmalı ve bir çalışanın işe başlamasından ya da bir firma ile sözleşme imzalanmasından itibaren başlayacak şekilde kişiler sürecin içine dâhil edilmelidir. Sahip

oldukları bilgiler ve yetkiler nedeniyle saldırganların hedefindeki kişiler olan yöneticilere yönelik özel farkındalık çalışmaları yapılmalıdır. Doğru tasarlanan, iyi uygulanan ve sürekliliği sağlanan farkındalık faaliyetleri etkili bir güvenlik önlemi olacaktır.

IV. KAYNAKLAR

- [1] J. Mao, J. Bian, W. Tian, S. Zhu, T. Wei, A. Live ve Z. Liang, “Detecting phishing web sites via aggregation analysis of pagelayouts,” *ProcediaComputerScience*, c. 129, ss. 224–230, 2018.
- [2] L. De Kimpe, M. Walrave, W. Hardyns, L. Pauwels ve K. Ponnet, “You’ve got mail! Explaining individual differences in becoming a phishing target,” *Telematicsand Informatics*, c. 35, s. 5, ss. 1277–1287, 2018.
- [3] A. A. Orunsolu, A. S. Sodiya ve A. T. Akinwale, “A predictive model for phishing detection,” *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, Basımda.
- [4] K. A. Molinaro ve M. L. Bolton, “Evaluating the applicability of the double system lens model to the analysis of phishing email judgments,” *Computers and Security*, c. 77, ss. 128–137, 2018.
- [5] M. Silic ve A. Back, “The dark side of social networking sites: Understanding phishing risks,” *Computers in Human Behavior*, c. 60, ss. 35-43, 2016.
- [6] O. Koray, E. Buber, O. Demir ve B. Diri, “Machine learning based phishing detection from URLs,” *Expert Systems With Applications*, c. 117, ss. 345–357, 2019.
- [7] A. Ferreira ve S. Teles, “Persuasion: How phishing emails can influence users and bypass security measures,” *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, c. 125, ss. 19–31, 2019.
- [8] A. Aleroud ve L. Zhou, “Phishing environments, techniques, and countermeasures: A survey,” *Comput. Secur.*, c. 68, ss. 160–196, 2017.
- [9] W. Wei, Q. Ke, J. Nowak, M. Korytkowski, R. Scherer ve M. Woźniak, “Accurate and fast URL phishing detector: A convolutional neural network approach,” *Comput. Networks*, c. 178, 2020.
- [10] R. C. Dodge ve A. J. Ferguson, “Using phishing for user email security awareness,” *IFIP Int. Fed. Inf. Process.*, c. 201, ss. 454–459, 2006.
- [11] K. Parsons, M. Butavicius, P. Delfabbro ve M. Lillie, “Predicting susceptibility to social influence in phishing emails,” *International Journal of Human Computer Studies*, c. 128, ss. 17–26, 2019.
- [12] J. G. Mohebzada, A. E. Zarka, A. H. Bhojani ve A. Darwish, “Phishing in a University Community Two large scale phishing experiments,” *2012 International Conference on Innovations in Information Technology*, 2012, ss. 249-254.
- [13] Ö. H. Durmuş, Kernel Blog. (2019, 1 Temmuz), *Post exploitation: empire kullanımı*. [Online]. Erişim: <https://kernelblog.org/2019/07/post-exploitationempire-kullanimi/>
- [14] A. Oransulu, A. Sodiya, A. Akinwale ve B. Olajuwon, “An anti-phishing kit scheme for secure web transactions,” *In the Proceedings of 3rd ICISSP Conference*, Porto Potrugal, Scitepress, 2017, ss.15-24.


[15] W. RochaFlores, H. Holm, G. Svensson ve G. Ericsson, “Using phishing experiments and scenario-based surveys to understand security behaviours in practice,” *Inf. Manag. Comput. Secur.*, c. 22, s. 4, ss. 393–406, 2014.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

ÇYTHYE-2018 Yönetmeliğine göre I-Enkesitli Eğilme Elemanları için Yardımcı Abaklar

 Mehmet Bakır BOZKURT^{a,*}

^a*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, TÜRKİYE*

* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: mehmet.bozkurt@cbu.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.820330

ÖZET

Türkiye’de çelik yapıların tasarımı 2016 yılından itibaren Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları (ÇYTHYE) yönetmeliği kullanılarak yapılmaktadır. Bu yönetmelik yapısal çelik elemanlarını öncelikle maruz kaldığı iç kuvvetlere göre sınıflandırıp daha sonra bu elemanların boyutlandırılması için ayrı ayrı formüller tanımlamaktadır. Karmaşık formüller münferit çelik elemanların el hesabı ile boyutlandırılması için kullanılabilir görünmesine rağmen, karmaşık yapı sistemlerinin tasarımları için bilgisayar yazılımlarının kullanılması kaçınılmazdır. Bu çalışma güçlü eksenleri etrafında eğilme momentine maruz kalan S235, S275 ve S355 malzeme sınıflarından teşkil edilmiş hadde I-enkesitli profiller için ÇYTHYE yönetmeliğinde tanımlanan yük ve dayanım katsayıları ile tasarım (YDKT) esaslarına göre hazırlanmış yardımcı abaklar sunmaktadır. Güçlü eksenleri etrafında eğilme momentine maruz kalan çelik profillerin basınç başlığında yanal yer değiştirmelerinin ve enkesit burulmasının önlediği noktalar arasındaki eleman uzunluğu, L_b ’ye göre tasarım eğilme momenti dayanımlarının değişimlerini veren bu abaklar sayesinde yapısal tasarım mühendisleri hızlı ve etkin bir şekilde eğilme elemanlarını boyutlandırabileceklerdir.

Anahtar Kelimeler: ÇYTHYE, Çelik, Yönetmelik, Eğilme elemanı, Abak.

Supplementary Nomograms for Rolled I-Shaped Flexural Members based on SDCCSS-2018

ABSTRACT

In Turkey, design of the steel structures has been conducted by using Specification for Design, Calculation and Construction of Steel Structures (SDCCSS) since 2016. This specification first classifies the structural steel members according to their internal forces, and then defines separate formulas to design of these elements. Although the complicated formulas seem to be useful for the design of the individual steel elements by using hand calculation, it is inevitable to use computer software for the design of complex building systems. This study presents supplementary nomograms for the rolled I-shaped flexural members made of S235, S275, and S355 material classes designed based on load and resistance factor design (LRFD) defined in SDCCSS under bending moments about their strong axis. Structural design engineers are able to quickly and efficiently design of the flexural members which are under bending moments about their strong axis thanks to these nomograms indicating variation of the design flexural strength according to L_b , which is the length of the two points restrained against lateral displacement and torsional movement of the section flange under compression.

Keywords: SDCCSS, Steel, Specification, Flexural member, Nomogram

I. GİRİŞ

Ekonomik ve güvenli yapı tasarımı için çelik yapılar bir seri tasarım kuralları içeren yönetmeliklere göre boyutlandırılırlar. Çelik yapıların tasarımı için ilk yönetmelik Amerika Birleşik Devletleri'nde 1923 yılında [1] ve Avrupa'da 1932 yılında [2] yayınlanmasına rağmen Türkiye'de 1980 yılında [3] yayınlanmıştır. Günümüze kadar gerçekleşen birçok bilimsel çalışma ışığında yönetmelikler belli aralıklarla güncellenerek yapısal tasarım mühendislerinin hizmetine sunulmuştur. Günümüzde güncel olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde "Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-16" [4], Avrupa'da "Eurocode 3: Design of steel structures (EN 1993)" [5], Kanada'da "Design of Steel Structures, CSA S16:19" [6], Japonya'da "Standard Specifications for Steel and Composite Structures, JSCE-2007" [7] ve Türkiye'de "Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar, ÇYTHYE-2018 [8] kullanılmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa ülkeleri tarafından kullanılan bu uluslararası çelik yapı tasarım yönetmeliklerinin yanı sıra yapısal elemanların veya birleşimlerin boyutlandırılmasında ihtiyaç duyulan birçok abak ve tablolarda yapısal tasarım mühendislerinin hizmetine sunulmak üzere yönetmelik komiteleri, kamu veya özel sektör tarafından hazırlanmıştır. AISC 360-16 [4] ile uyumlu "Steel Construction Manual" [9] ve Eurocode 3 [5] ile uyumlu "Steel Building Design: Design Data" [10], "Joints in Steel Construction: Simple Joints To Eurocode 3" [11] ve "Joints in Steel Construction: Moment-Resisting Joints To Eurocode 3" [12] yapısal tasarım mühendisleri tarafından sıklıkla kullanılan en önemli yardımcı dokümanlardır. Ülkemizde ÇYTHYE-2018 [8] ile uyumlu olarak hazırlanmış "Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Uygulama Kılavuzu" [13] dokümanı sadece yapısal elemanların ve birleşimlerinin maruz kaldıkları iç kuvvetlere dayalı tasarım kurallarının özetini ve sayısal uygulamalarını sunmasına rağmen yapısal eleman veya birleşimlerin boyutlandırılmasını kolaylaştıracak abak ve tablolar içermemektedir.

Bu çalışma, 2020 yılında Bozkurt [14] tarafından hazırlanan "Basınç Elemanları için Yardımcı Abaklar" isimli çalışmanın devamı niteliğindedir. Bu kapsamda ÇYTHYE-2018'de [8] tanımlanan YDKT esaslarına göre uygulamada en çok kullanılan S235, S275 ve S355 malzeme sınıflarından teşkil edilmiş HEA, HEB, IPE ve IPN elemanlarının güçlü eksenleri etrafında tasarım eğilme dayanımlarının profillerin basınç başlığında yanal yerdeğiştirmelerinin ve enkesit burulmasının önlendiği noktalar arasındaki uzaklık, L_b 'ye göre değişimlerini gösteren abaklar hazırlanıp yapısal tasarım mühendislerinin hizmetine sunulmuştur. Bu abaklar sayesinde el hesapları ve bilgisayar yazılımlarına ihtiyaç duyulmadan hızlı ve etkin bir şekilde eğilme elemanlarının boyutlandırılması sağlanmış olacaktır.

II. EĞİLME MOMENTİNE MARUZ KALAN ÇELİK ELEMANLARIN TAŞIMA KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ

Eğilme momenti altında kiriş elemanların boyutlandırılmasını genellikle kiriş açıklığı boyunca en yüksek izin verilen eğilme momenti gerilmesi ve izin verilen düşey deplasman miktarı belirler. Kesme kuvvetinin kesit boyutlandırılmasına etkisi sadece kısa açıklıklı kirişlerde ve ağır yüklemelere maruz kalan kirişlerde hakimdir [15]. Bu çalışma sadece eğilme momenti göz önüne alınarak kiriş elemanların taşıma kapasitesini belirlemektedir. Nihai boyutlandırma için ÇYTHYE-2018'de [8] tanımlanan kesme kuvveti tasarım kriterleri ve düşey deplasman kriterleri birlikte göz önüne alınmalıdır.

Güçlü eksenleri etrafında eğilme momentine maruz kalan I-enkesitli eğilme elemanlarının boyutlandırılmasını akma, lokal burkulma ve yanal burulmalı burkulma sınır durumları belirler.

Eğilme momenti altında kiriş elemanının taşıyabileceği en yüksek karakteristik eğilme momenti dayanımı plastik eğilme momentine eşittir ve aşağıda tanımlanan Denklem (1) ile hesaplanır.

$$M_n = M_p = F_y W_{px} \quad (1)$$

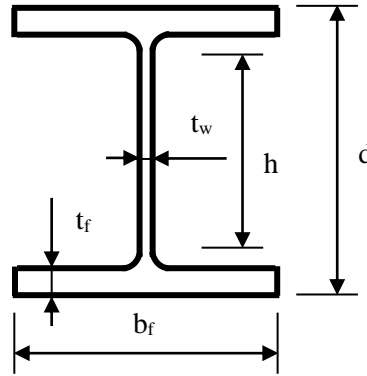
Burada, M_n karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_p plastik eğilme momenti, F_y yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi ve W_{px} x-ekseni etrafında plastik mukavemet momentidir.

Güçlü eksenleri etrafında eğilme momentine maruz kalan I-enkesitli eğilme elemanlarının lokal burkulma sınır durumlarını belirleyebilmek için öncelikli olarak kesit sınıflandırılması yapılır. ÇYTHYE-2018 [8] eğilme elemanlarını enkesit parçalarının genişlik/kalınlık oranlarına göre kompakt, kompakt olmayan ve narin enkesit olarak üç gruba ayırır. Kesit sınıflandırılması hadde I-enkesitli eğilme elemanlarının başlık ve gövde enkesit parçaları için ayrı ayrı yapılır.

A. ENKESİT PARÇALARININ SINIFLANDIRILMASI

Eğilme momentine maruz kalan kiriş elemanların kesit sınıflandırılması enkesiti oluşturan her bir enkesit parçasının genişlik/kalınlık oranına, akma dayanımlarına ve elastisite modülüne bağlıdır.

Bu çalışma kapsamında incelenen I-enkesitli profillerin enkesit görünüşleri ve ebatlarına karşılık gelen sembolleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1-I-enkesitli profillerin enkesit görünüşleri

A. 1. Kompakt Enkesitler

Başlık enkesit parçası için:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_{pf} = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2)$$

Gövde enkesit parçası için:

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} \leq \lambda_{pw} = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3)$$

Yukarıdaki koşulları karşılan enkesitler kompakt enkesitler olarak isimlendirilir. Kompakt enkesitlerde, lokal burkulma göçmeleri kiriş elemanının plastik moment kapasitesini aştıktan sonraki bölgede (plastik bölgede) gerçekleşir.

A. 2. Kompakt Olmayan Enkesitler

Başlık enkesit parçası için:

$$\lambda_{pf} = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_{rf} = 1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4)$$

Gövde enkesit parçası için:

$$\lambda_{pw} = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \lambda_w = \frac{h}{t_w} \leq \lambda_{rw} = 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (5)$$

Yukarıdaki koşulları karşılan enkesitler kompakt olmayan enkesitler olarak isimlendirilir. Kompakt olmayan enkesitlerde, lokal burkulma göçmeleri kiriş elemanının elastik ve plastik moment kapasitesi arasındaki bölgede (elastik olmayan bölgede) gerçekleşir.

A. 3. Narin Kesitler

Başlık enkesit parçası için:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} > \lambda_{rf} = 1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (6)$$

Gövde enkesit parçası için:

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} > \lambda_{rw} = 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (7)$$

Yukarıdaki koşulları karşılan enkesitler narin enkesitler olarak isimlendirilir. Narin enkesitlerde, lokal burkulma göçmeleri kiriş elemanının elastik moment kapasitesine ulaşmadan önceki bölgede (elastik bölgede) gerçekleşir.

Burada, E yapısal çelik elastisite modülü (200 GPa), b_f ve t_f Şekil 1’de gösterildiği gibi enkesit başlık parçasının sırasıyla genişliği ve kalınlığı, h ve t_w enkesit gövde parçasının sırasıyla yüksekliği ve kalınlığıdır. λ_f başlık enkesit parçası için genişlik/kalınlık oranı, λ_{pf} ve λ_{rf} başlık enkesit parçası için ve λ_{pw} ve λ_{rw} gövde enkesit parçası için sırasıyla kompakt ve kompakt olmayan narinlik sınırlarıdır.

B. TASARIM EĞİLME MOMENTİ DAYANIMI

S275 malzeme sınıfından teşkil edilen HEA260, HEA280, HEA300 profillerinin ve S355 malzeme sınıfından teşkil edilen HEA180, HEA200, HEA220, HEA240, HEA260, HEA280, HEA300, HEA320, HEA340 profillerinin başlıkları kompakt olmayan enkesit sınıfına girerken bu çalışma kapsamında incelenecek diğer tüm HEA, HEB, IPE ve IPN profilleri kompakt enkesit sınıfına girmektedir. Güçlü eksenleri etrafında eğilme momentine maruz kalan, kompakt gövde ve kompakt olmayan başlık enkesit parçalarına sahip hadde I-enkesitli profillerin lokal burkulma sınır durumları aşağıda gösterilen Denklem (8) ile hesaplanır.

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \quad (8)$$

Burada, W_{ex} -ekseni etrafında elastik mukavemet momenti, M_r değeri ilk akmanın başladığı andaki elastik eğilme momenti kapasitesidir ve aşağıdaki formül kullanılarak elde edilir.

$$M_r = 0.7F_y W_{ex} \quad (9)$$

ÇYTHYE-2018 [8] I-enkesitli profillerin başlık enkesit parçalarındaki en yüksek basınç artık gerilme değerini akma dayanımının %30 olarak kabul eder. Dolayısıyla eğilme momenti altındaki ilk akmalar yapısal çelik malzemenin akma dayanımının %70'ine ulaştığı anda meydana gelir ve böylelikle M_r değeri $0.70F_y W_{ex}$ formülü ile hesaplanır.

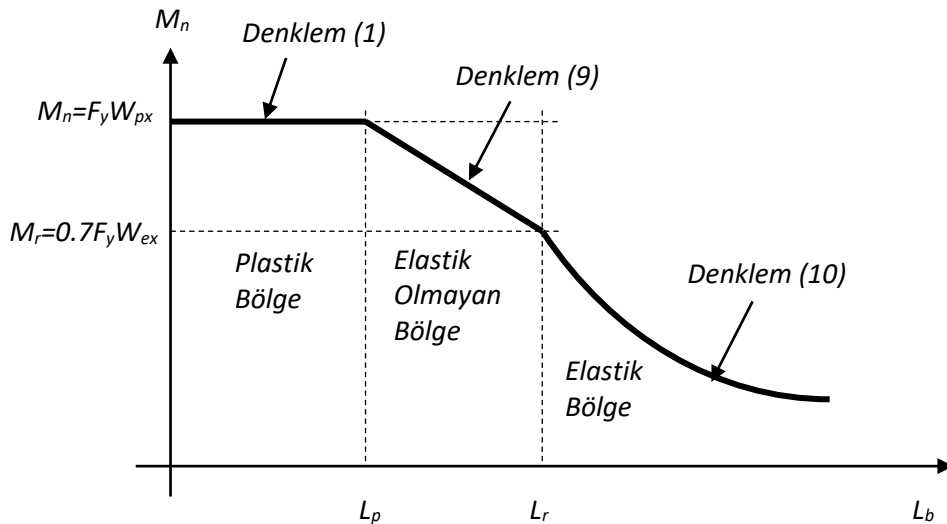
Güçlü eksenleri etrafında eğilme momentine maruz kalan hadde I-enkesitli profillerin karakteristik eğilme momenti dayanımları basınç başlığında yanal yerdeğıştirmelerinin ve enkesit burulmasının önlendiğı noktalar arasındaki uzaklık, L_b değeri arttıkça plastik eğilme momenti değerine ulaşmadan yanal burulmalı burkulma göçmesi nedeni ile taşıma kapasitesini kaybedebilirler. Aşağıda verilen denklemler ve Şekil 2 güçlü eksenleri etrafında hadde I-enkesitli profillerin yanal burulmalı burkulma sınır durumlarının L_b 'ye göre nasıl hesaplanmasını gerektiğini göstermektedir.

- Eğer $L_b \leq L_p$ ise yanal burulmalı burkulma göçmesi meydana gelmez ve M_n değeri M_p değerine ulaşır.
- Eğer $L_p < L_b \leq L_r$ ise

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (10)$$

- Eğer $L_b > L_r$ ise

$$M_n = \left[\frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{i_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{W_{ex} h_0} \left(\frac{L_b}{i_{ts}} \right)^2} \right] W_{ex} \leq M_p \quad (11)$$



Şekil2. Güçlü eksenleri etrafında eğilme momentine maruz kalan hadde I-enkesitli profillerin eğilme momenti taşıma kapasitelerinin L_b 'ye göre değışimi ($C_b=1$) [13].

Burada, L_p ve L_r sırasıyla akma sınır durumu ve elastik olmayan yanal burulmalı burkulma sınır durumu için sınır uzunluklardır ve Denklem 12 ve Denklem 13 kullanılarak hesaplanır. C_b moment düzeltme katsayısıdır ve Denklem 15 kullanılarak hesaplanır. Ayrıca h_0 enkesit başlıklarının ağırlık

merkezleri arasındaki uzaklık, J burulma sabiti, c çift simetri eksenli I-enkesitlerde 1.0'a eşit bir katsayı ve i_{ts} ise etkinalet yarıçapıdır ve Denklem 14 kullanılarak hesaplanır.

$$L_p = 1.76i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (12)$$

$$L_r = 1.95i_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{Jc}{W_{ex}h_0} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{W_{ex}h_0}\right)^2 + 6.76\left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}} \quad (13)$$

$$i_{ts} = \sqrt{\frac{\sqrt{I_y C_w}}{W_{ex}}} \quad (14)$$

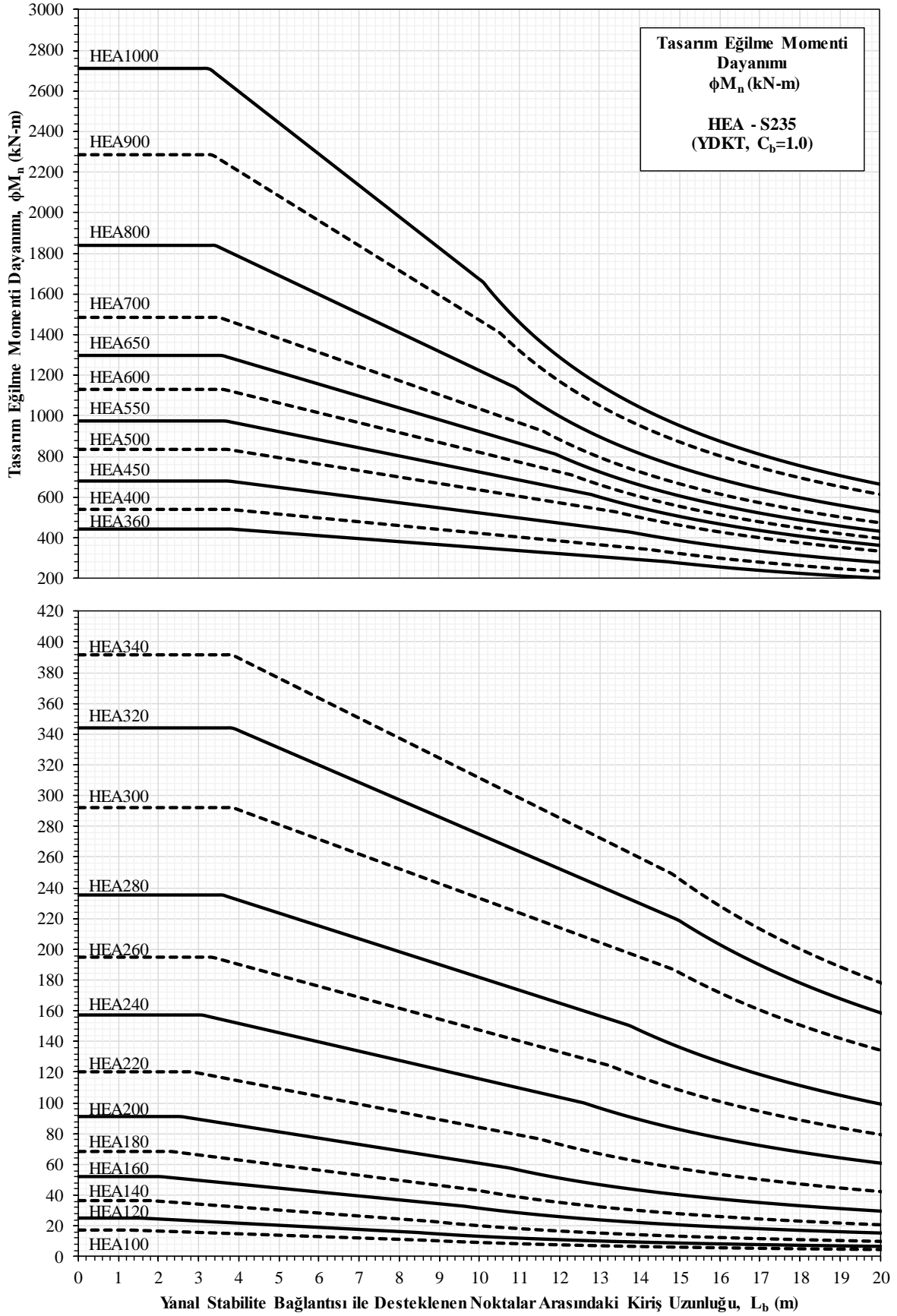
$$C_b = \frac{12.5M_{maks}}{2.5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (15)$$

Burada, C_w çarpılma sabiti, M_{maks} , M_A , M_B ve M_C yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki kiriş uzunluğu boyunca sırasıyla en büyük, kiriş uzunluğunun 1/4, 1/2 ve 3/4 noktasındaki eğilme momentlerinin mutlak değerleridir.

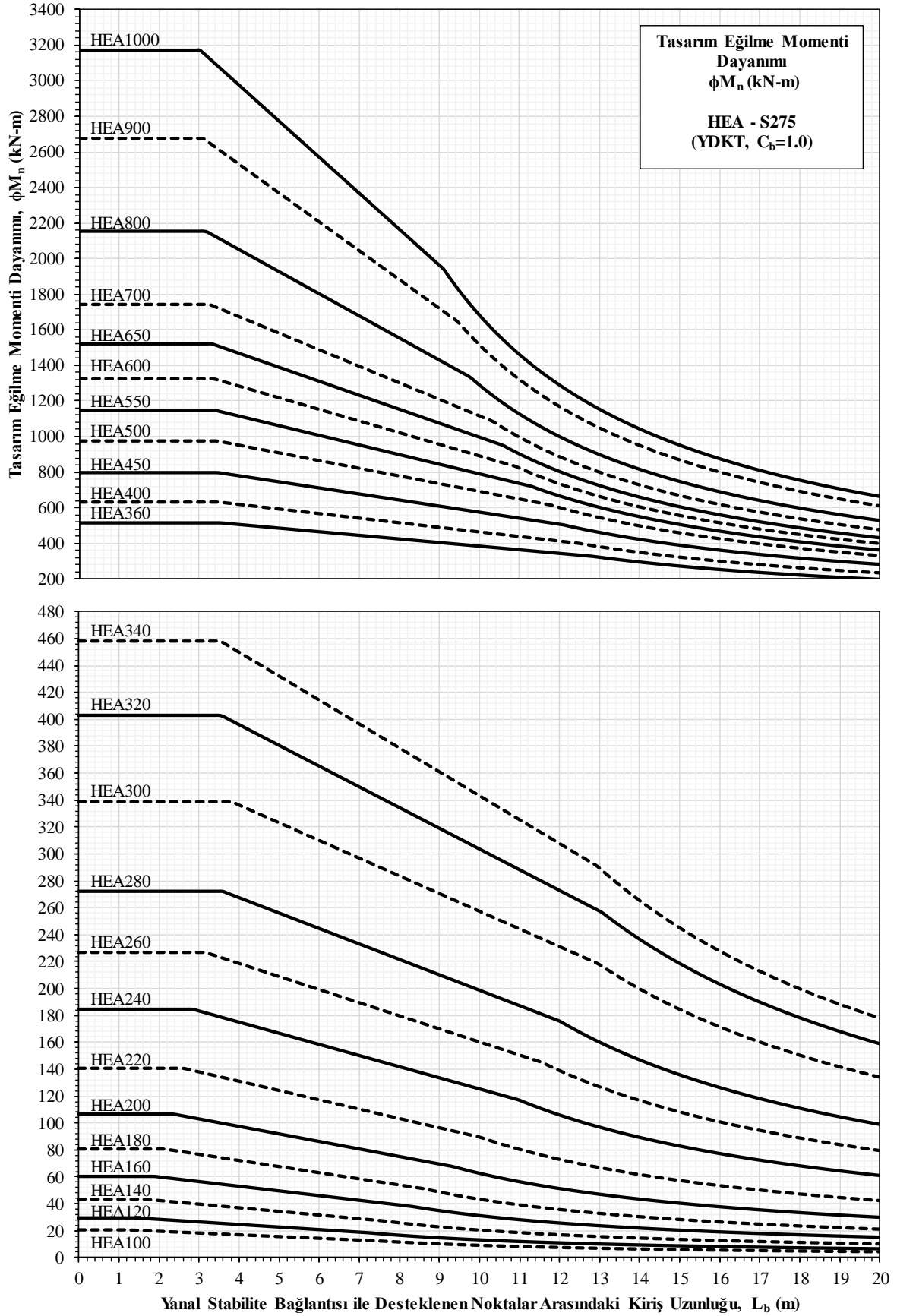
Tasarım eğilme momenti dayanımları karakteristik dayanımın 0.9 ile çarpılması ile ve güvenli eğilme momenti dayanımları ise karakteristik dayanımın 1.67'ye bölünmesi ile elde edilir.

C_b değeri yanal mesnetler arasında kiriş açıklığı boyunca moment değişiminin eğilme momenti taşıma kapasitesine etkisini göz önüne alan katsayıdır. C_b değeri arttıkça yanal burulmalı burkulma dayanıma dayanan eğilme momenti taşıma kapasitesi de artar. Yanal burulmalı burkulma dayanımı açısından en olumsuz durum eğilme momentinin yanal mesnetler arasında sabit olduğu durumdur. Bu durumda, eğilme momentine maruz kalan kiriş elemanı yanal mesnetler arasındaki tüm uzunluk boyunca en yüksek eğilme momentine ve dolayısıyla enkesitin basınç başlığı ise yanal mesnetler arasındaki tüm uzunluk boyunca en yüksek basınç gerilmesine maruz kalacaktır. Eğer yanal mesnetler boyunca bir moment değişimi mevcutsa basınç başlığının sadece bir noktasında en yüksek basınç gerilmesi meydana gelir ve bu noktanın dışındaki diğer tüm bölgelerde basınç gerilmesi düşer. Başlık elemanındaki daha düşük basınç gerilmesi yanal burulmalı burkulma dayanımını artırır [16]. Bu çalışmada en kritik eğilme momenti taşıma kapasitesi belirlendiği için eğilme momentinin yanal mesnetler arasında sabit olduğu kabul edilerek C_b değeri 1.0 olarak göz önüne alınmıştır.

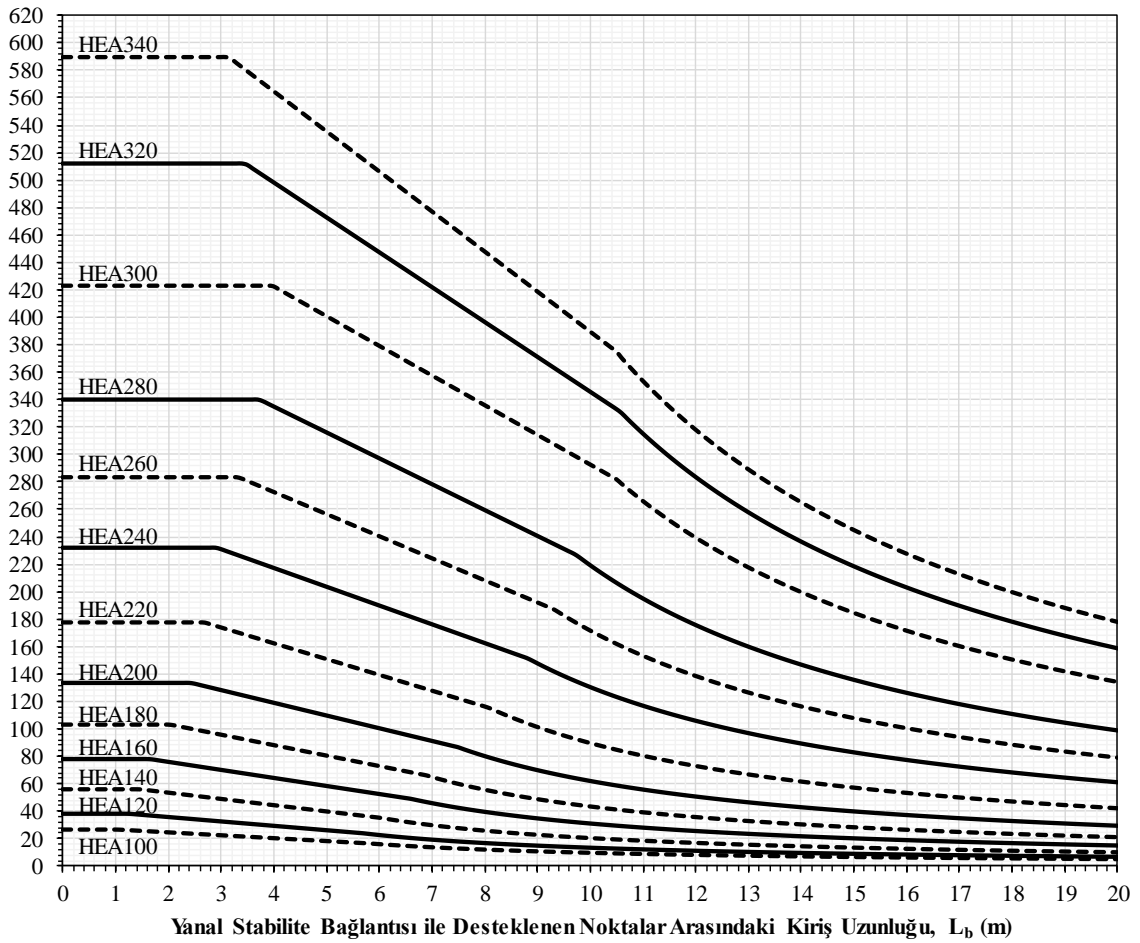
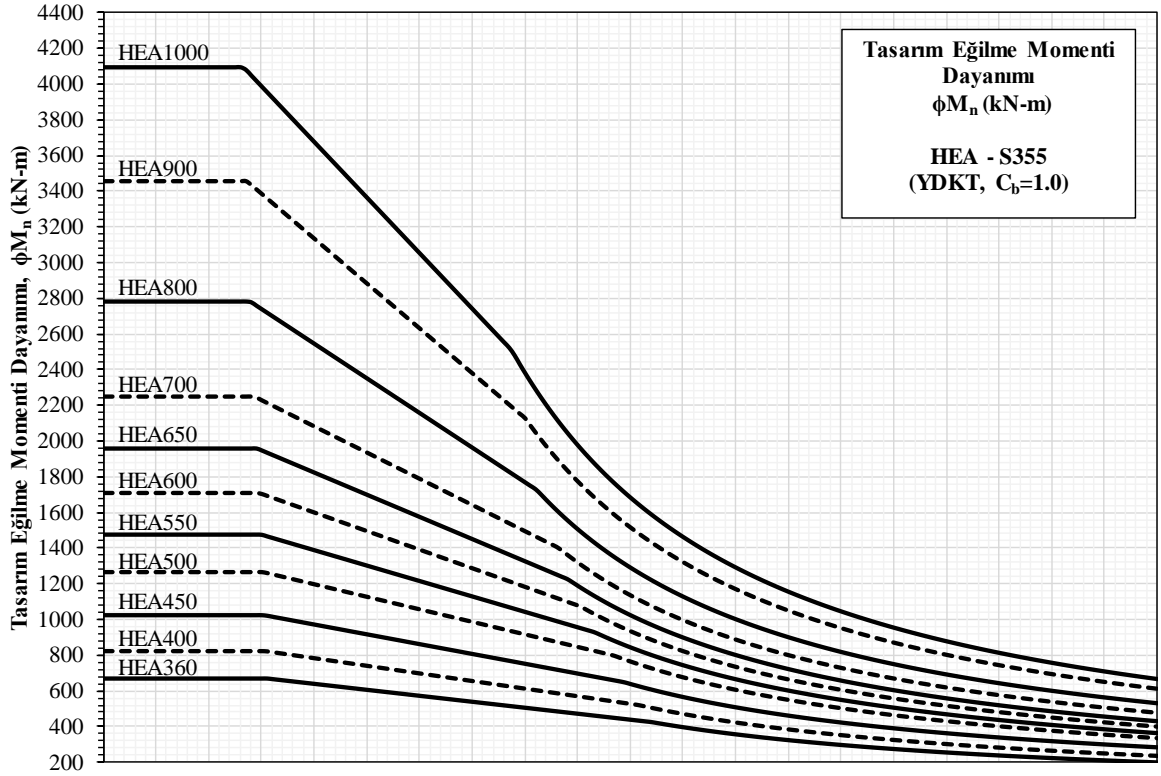
Yukarıda tanımlanan tüm denklemler göz önüne alınarak S235, S275 ve S355 malzeme sınıflarından teşkil edilmiş HEA profillerinin ÇYTHYE-2018'de [8] tanımlanan YDKT esaslarına göre güçlü eksen etrafındaki tasarım eğilme momentinin L_b 'ye göre değişimleri sırasıyla Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de, HEB profillerinin Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de, IPE profillerinin Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de, IPN profillerinin ise Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'de verilmiştir.



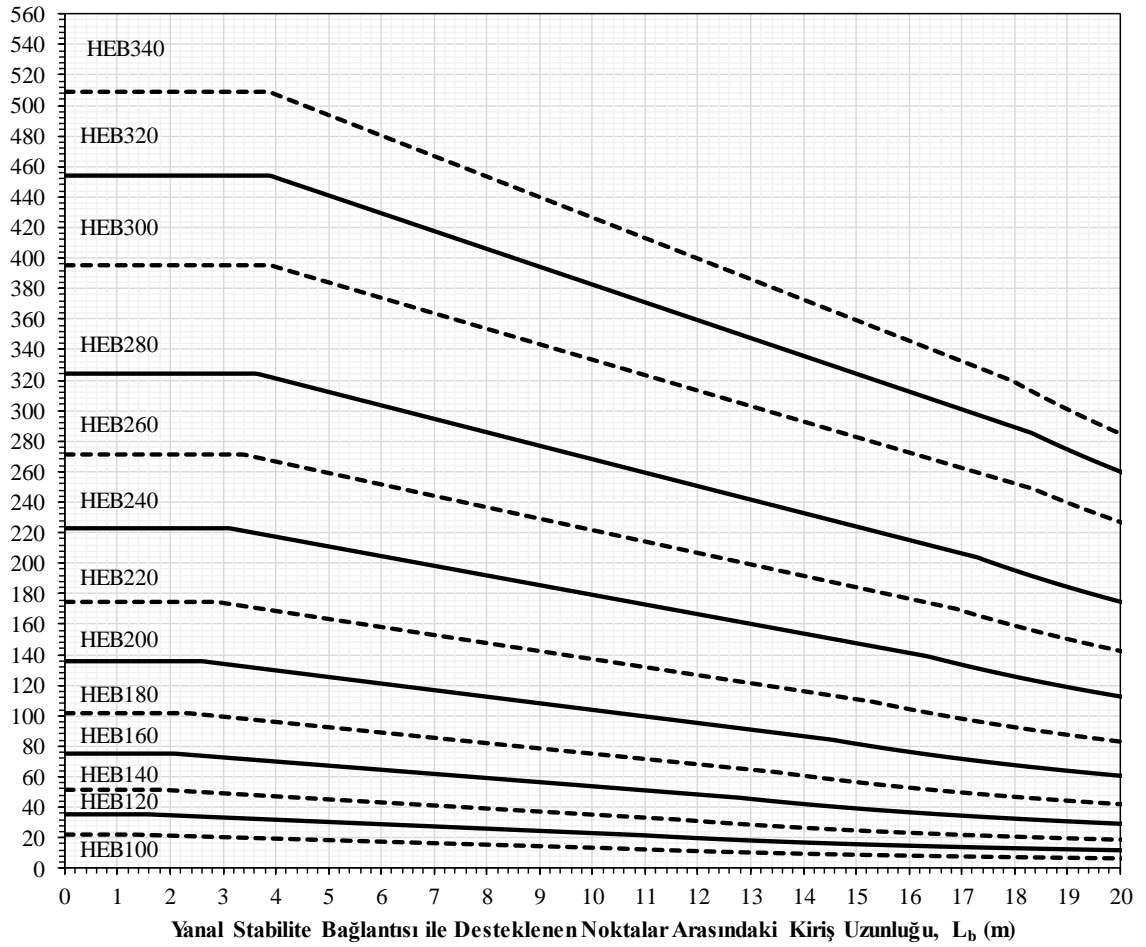
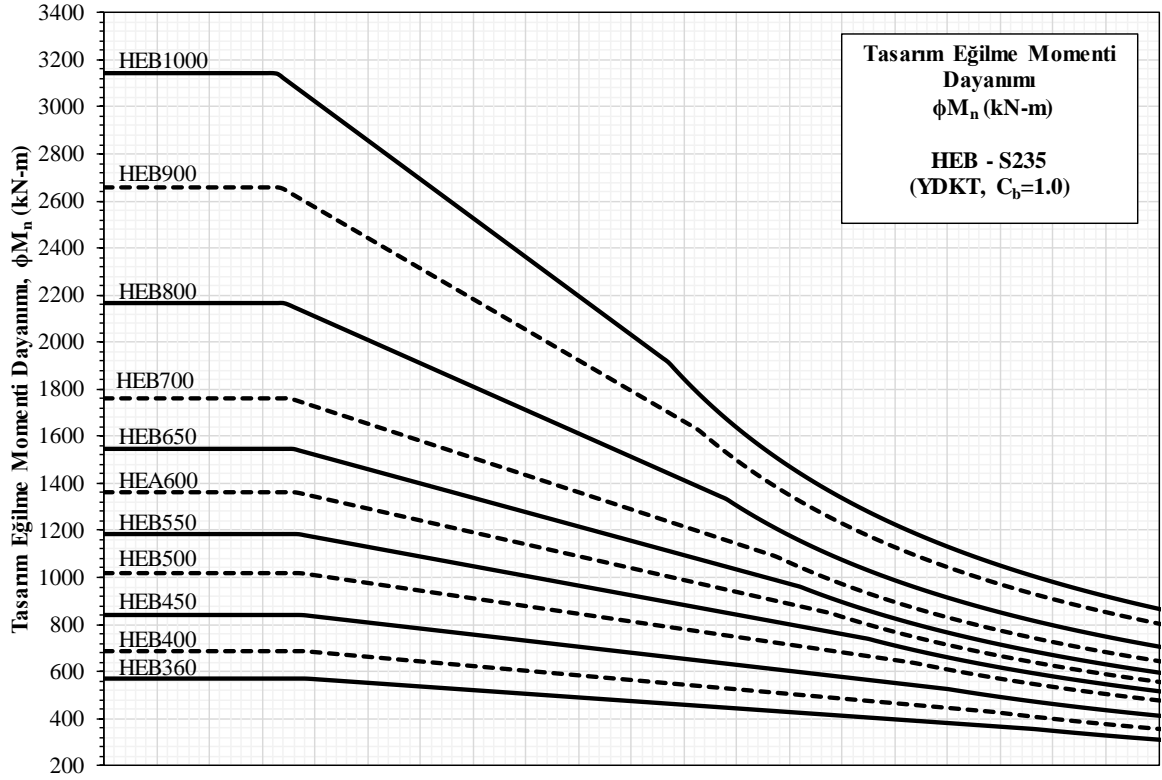
Şekil 3. S235 malzeme ve HEA enkesitlerine ait tasarım eğilme momenti dayanımları



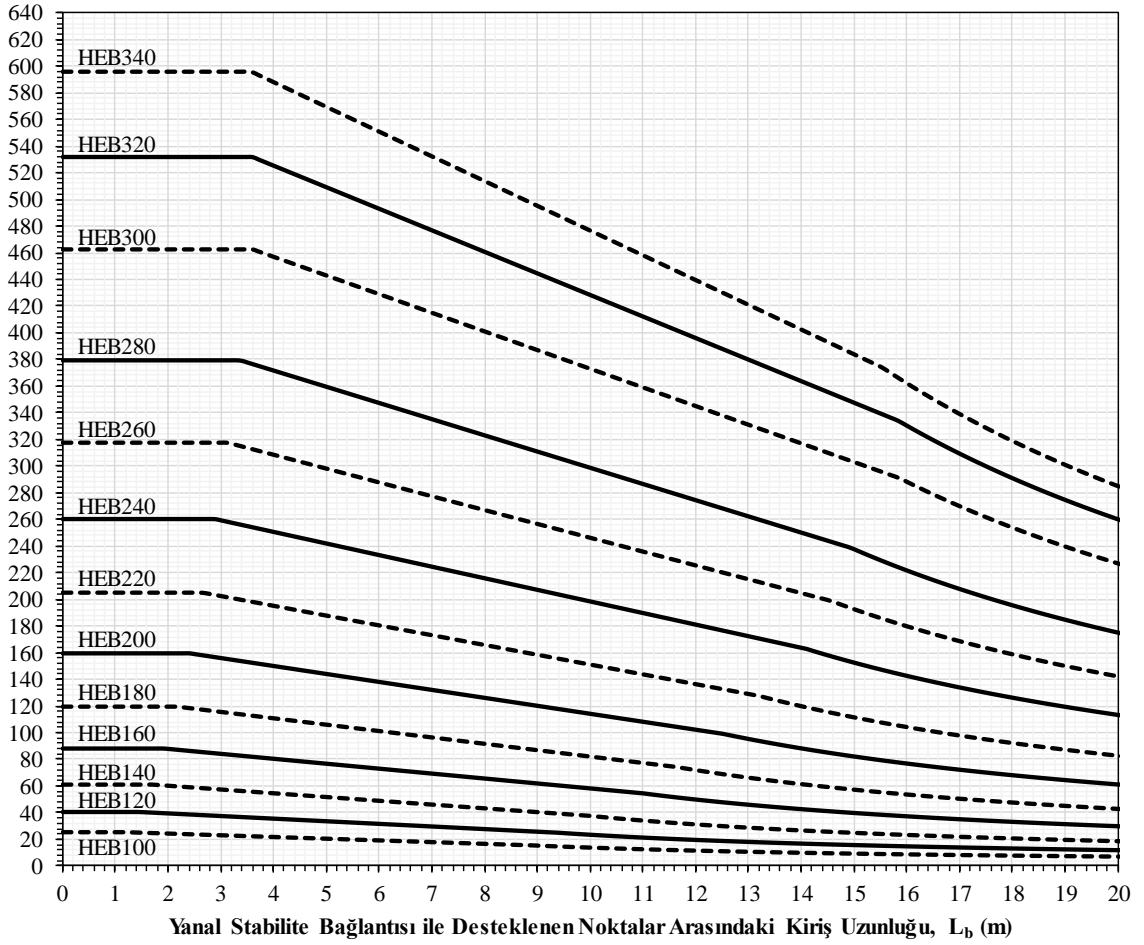
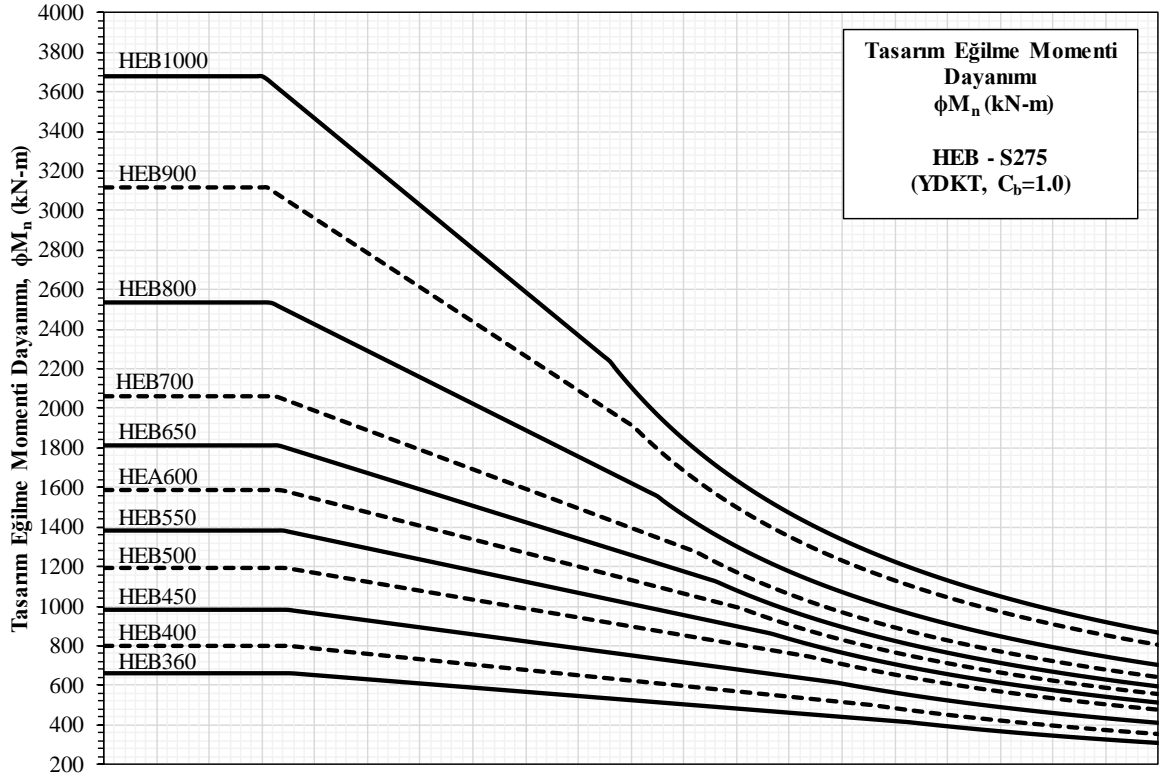
Şekil 4. S275 malzeme ve HEA enkesilerine ait tasarım eğilme momenti dayanımları



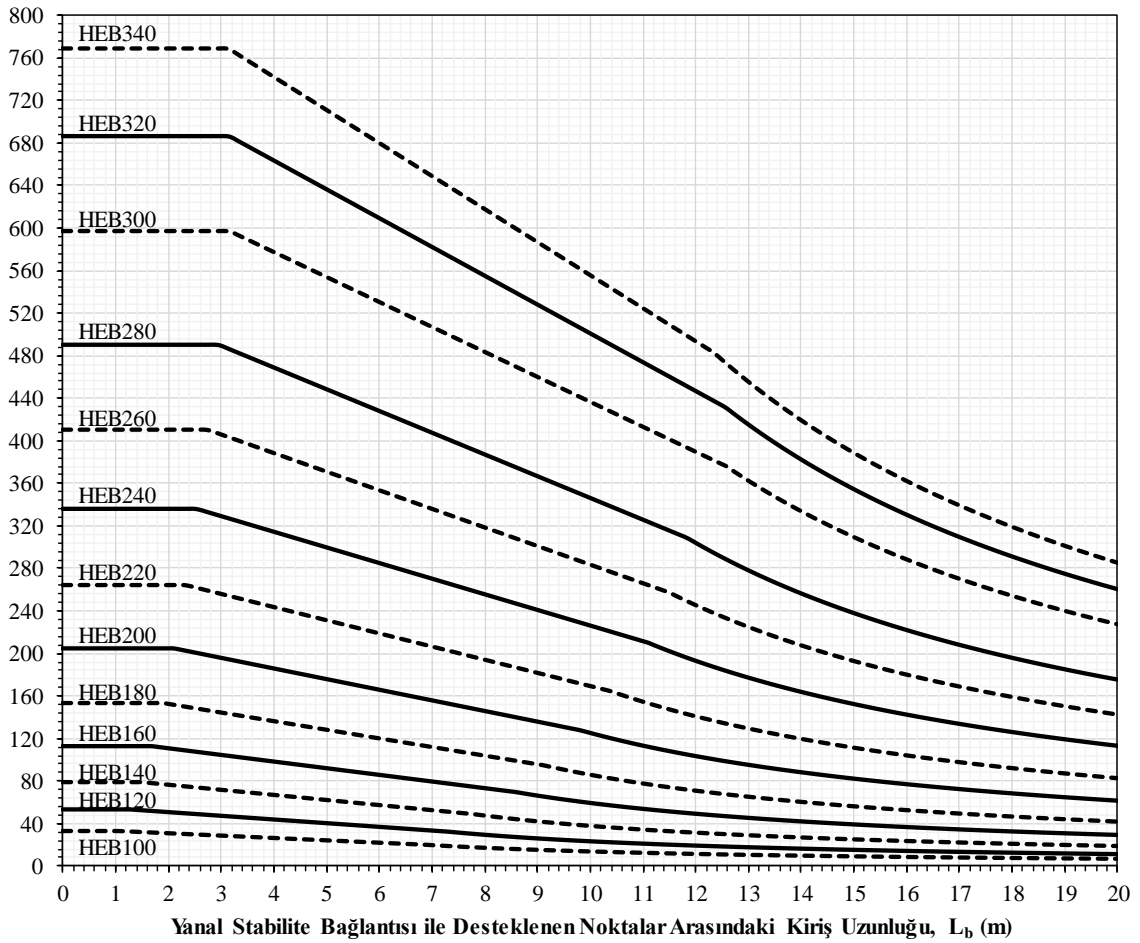
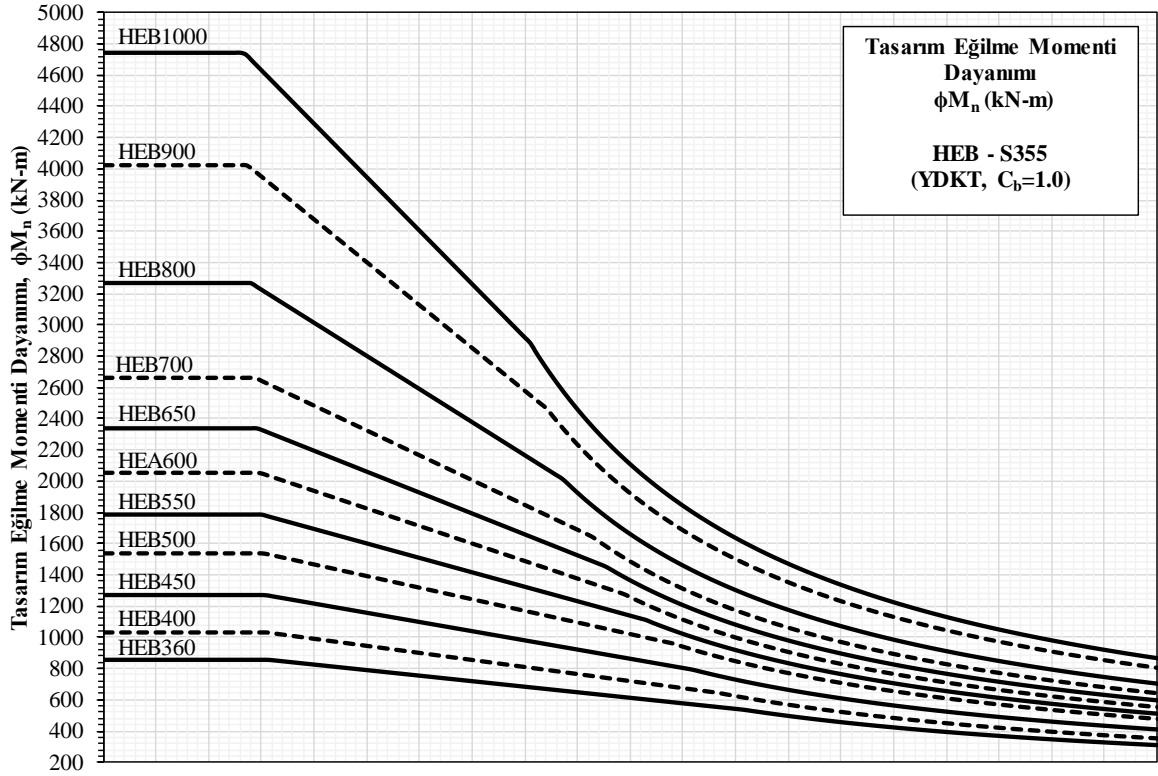
Şekil 5. S355 malzeme ve HEA enkesitlerine ait tasarım eğilme momenti dayanımları



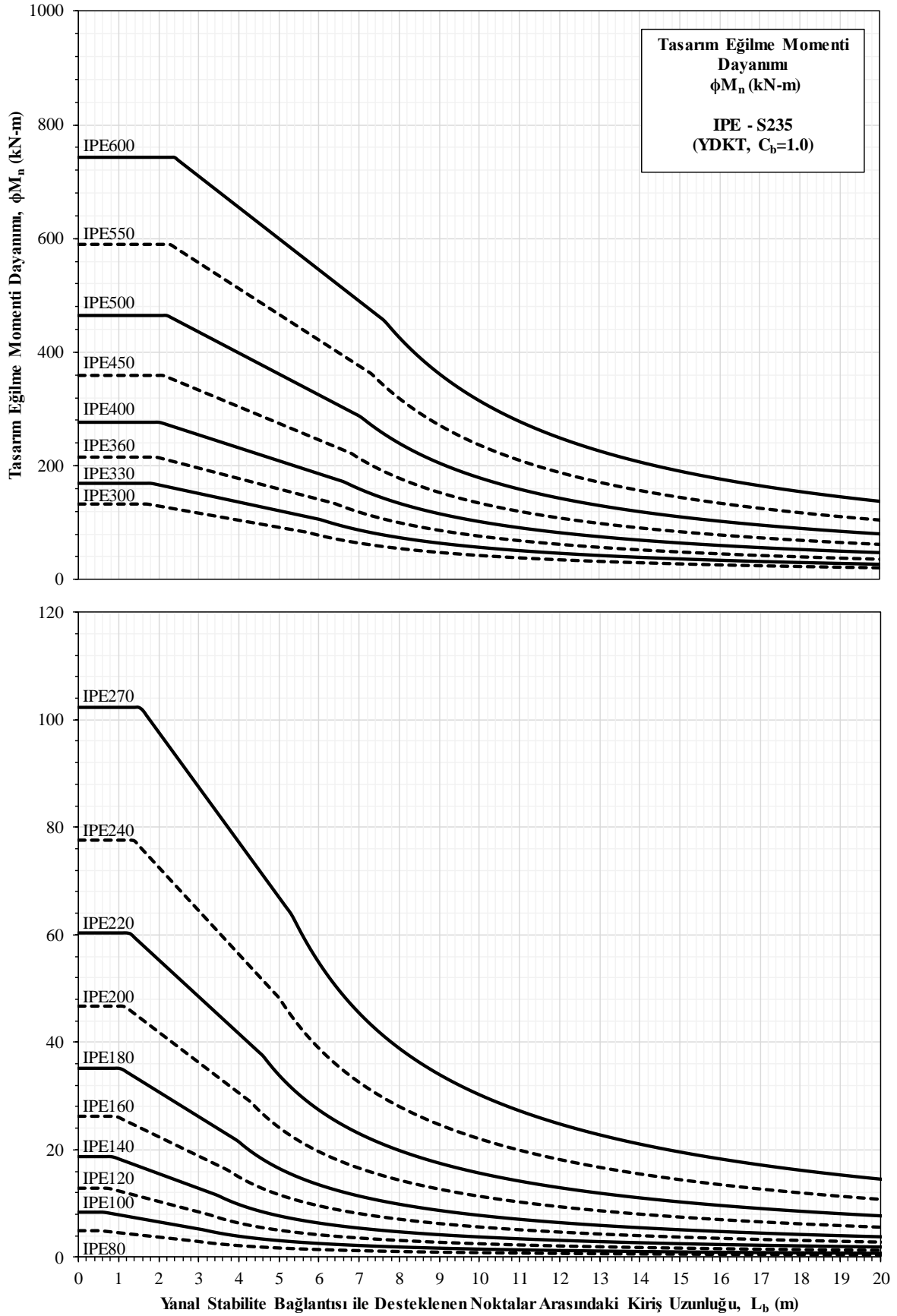
Şekil 6. S235 malzeme ve HEB enkesitlerine ait tasarım eğilme momenti dayanımları



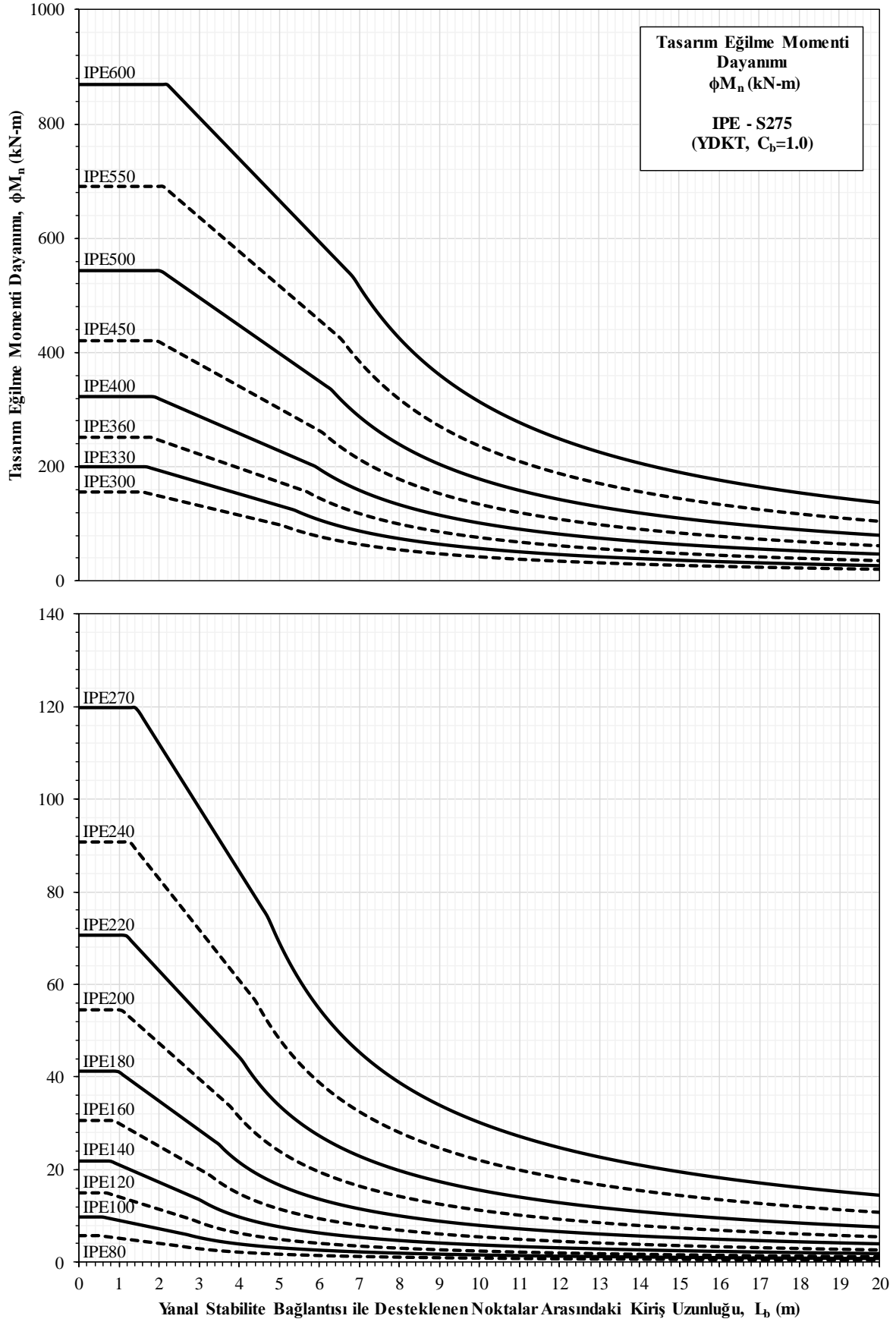
Şekil 7. S275 malzeme ve HEB enkesitlerine ait tasarım eğilme momenti dayanımları



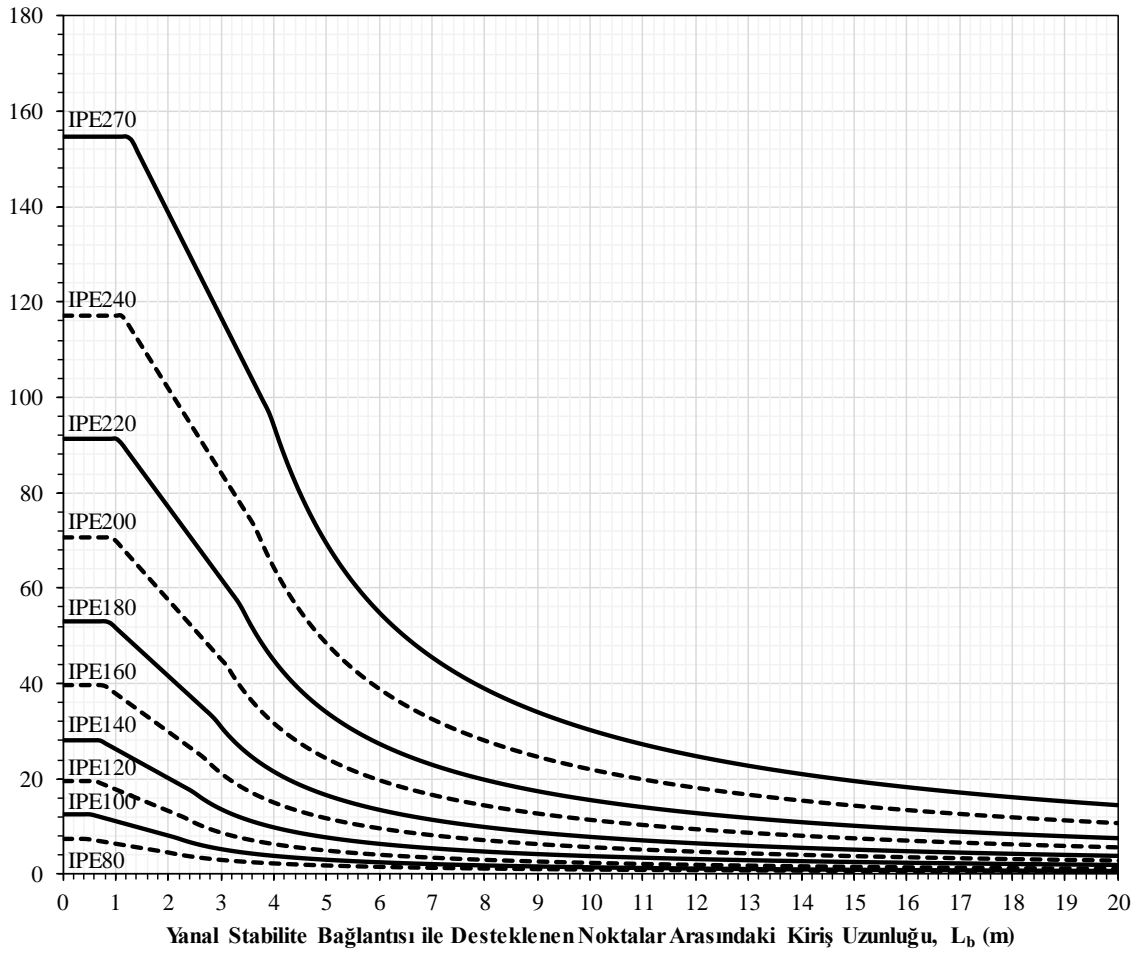
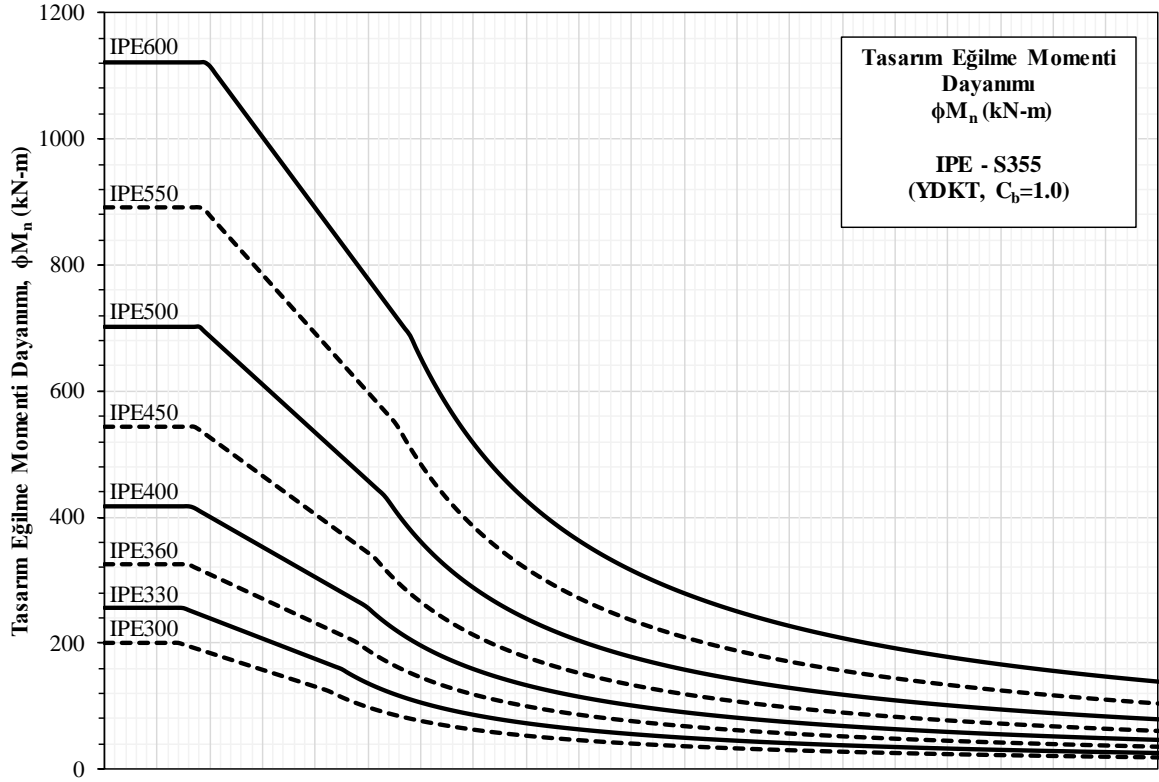
Şekil 8. S355 malzeme ve HEB enkesilerine ait tasarım eğilme momenti dayanımları



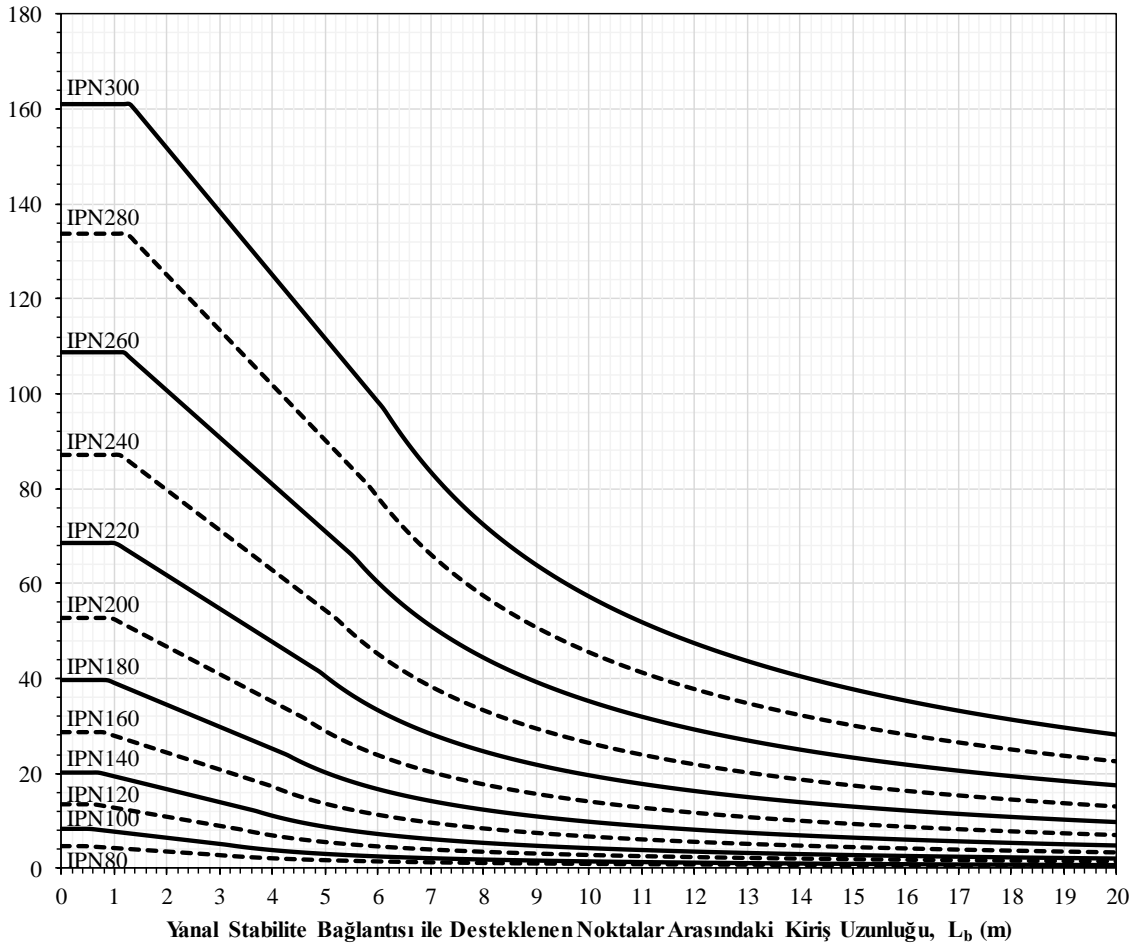
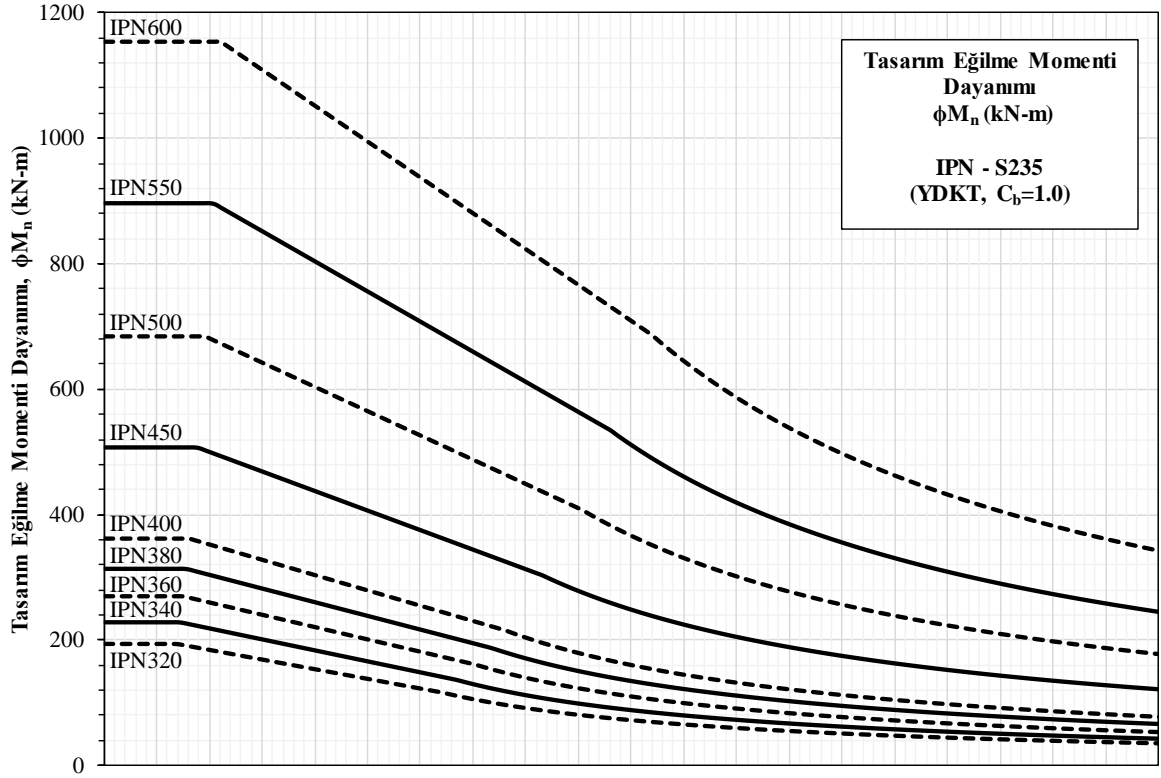
Şekil 9. S235 malzeme ve IPE enkesitlerine ait tasarım eğilme momenti dayanımları



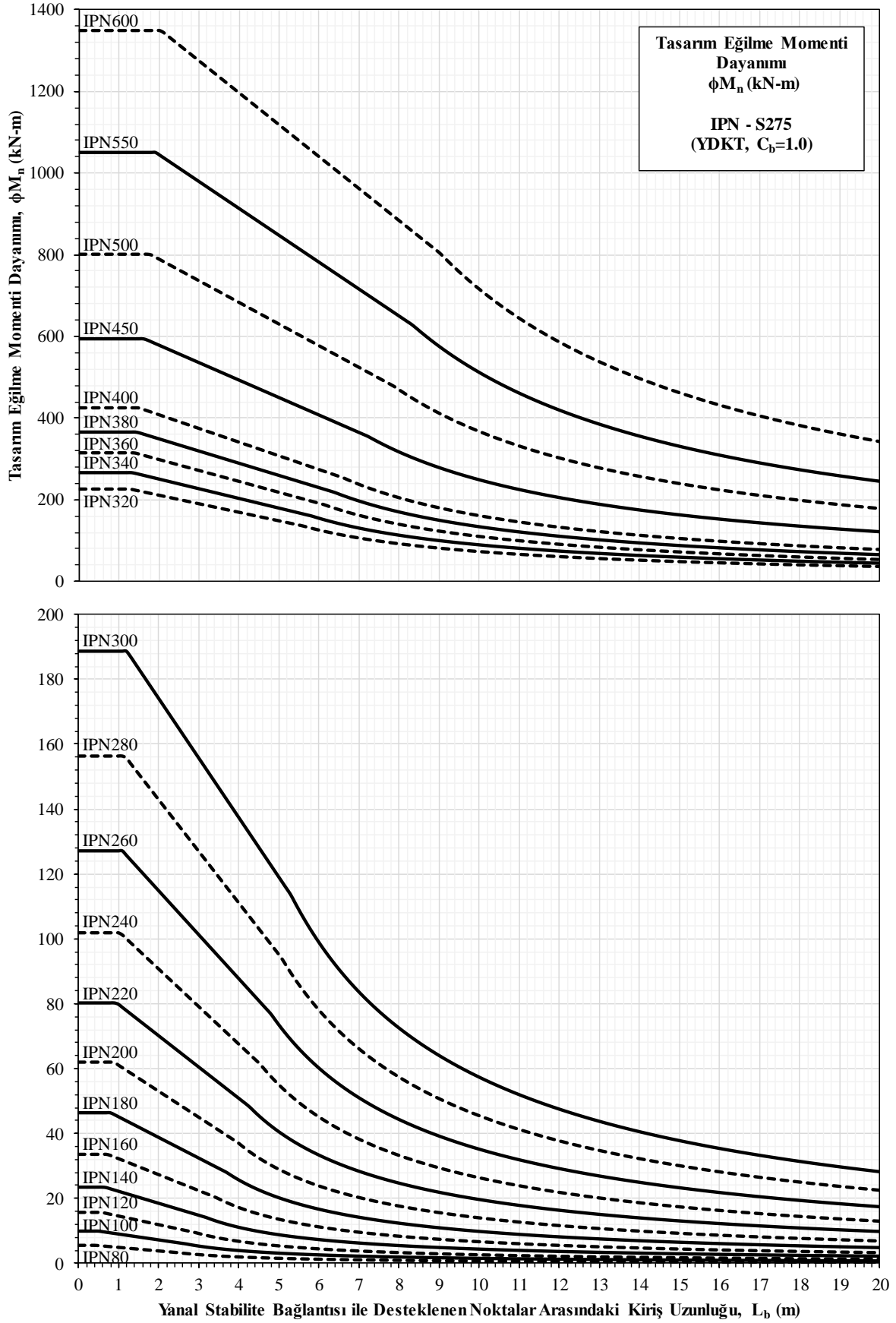
Şekil 10. S275 malzeme ve IPE enkesilerine ait tasarım eğilme momenti dayanımları



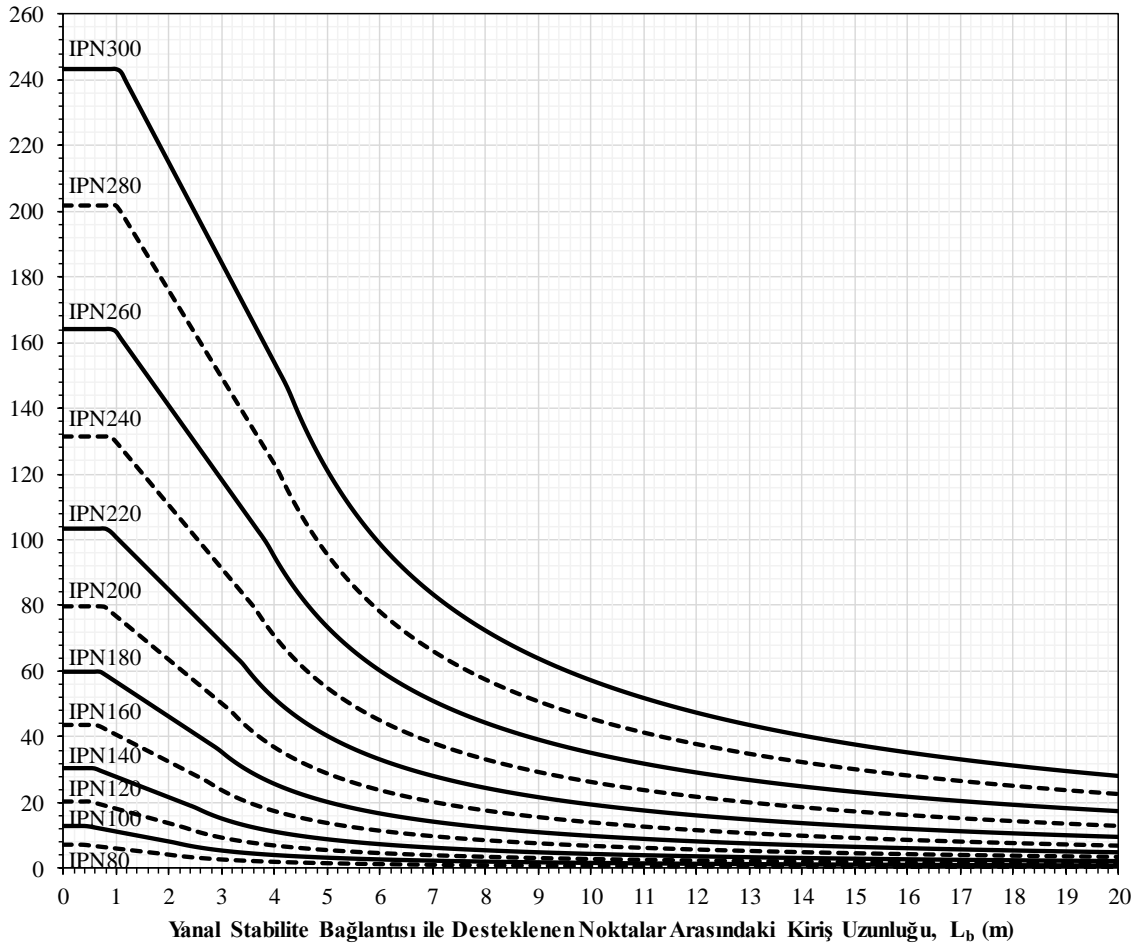
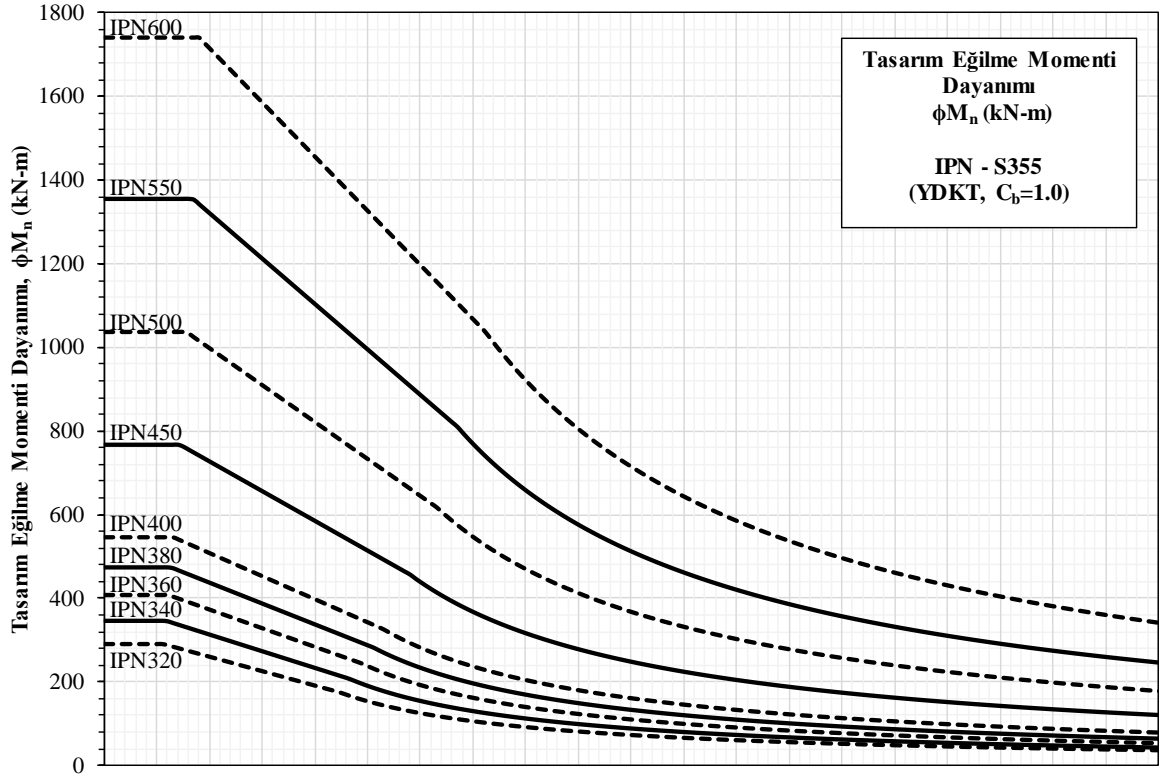
Şekil 11. S355 malzeme ve IPE enkesilerine ait tasarım eğilme momenti dayanımları



Şekil 12. S235 malzeme ve IPN enkesitlerine ait tasarım eğilme momenti dayanımları



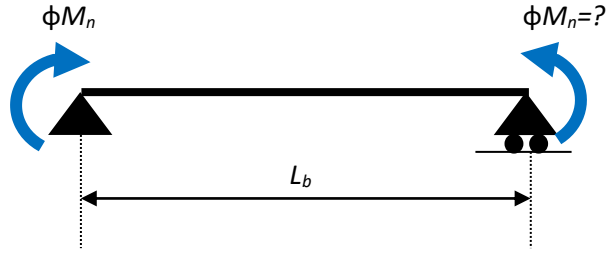
Şekil 13. S275 malzeme ve IPN enkesitlerine ait tasarım eğilme momenti dayanımları



Şekil 14. S355 malzeme ve IPN enkesilerine ait tasarım eğilme momenti dayanımları

III. SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde, eğilme elemanları için sunulan abakların nasıl kullanıldığı ve bu abaklar kullanılarak elde edilen sonuçların ÇYTHYE-2018'de [8] tanımlanan ilgili formüller kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırması gerçekleştirilmiştir. Bu amaç için aşağıda tanımlanan farklı malzeme sınıflarına (S275 ve S355), farklı enkesitlere (HEA300 ve IPE500) ve farklı L_b değerlerine (3000 ve 6000 mm)sahip iki ucu basit mesnetli (mafsallı) eğilme elemanlarının sabit eğilme momenti altında ($C_b=1$) YDKT tasarım esaslarına göre tasarım eğilme momenti dayanımları iki farklı yöntemle göre de belirlenmiş ve sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 15. Sayısal uygulama için kullanılan eğilme elemanı

A. SAYISAL UYGULAMA 1

Yanal mesnetler arası mesafesi 3000 mm olan ve uzunluğu boyunca sabit eğilme momentine maruz kalan S275 malzeme sınıfından ve HEA300 profilinden teşkil edilen kiriş elemanının tasarım eğilme momenti dayanımını hesaplayınız.

A. 1. ÇYTHYE-2018'de [8] Tanımlanan Formüllerin Kullanılması ile Tasarım Eğilme Momenti Dayanımının Belirlenmesi

Eğilme momentine maruz kalan kiriş elemanının kompakt, kompakt olmayan veya narin enkesit sınıfına ait olduğunu belirleyebilmek için Denklem (2~7) kullanılarak kesit sınıflandırılması yapılır.

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{2 \times 14} = 10.7 \leq \lambda_r = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 10.2 \text{ Kompakt olmayan başlık} \quad (15)$$

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{208}{8.5} = 24.5 \leq \lambda_r = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 101.4 \text{ Kompakt gövde} \quad (16)$$

Kompakt olmayan enkesit parçasına sahip olduğu için eğilme momentine maruz kalan S275 malzeme sınıfından teşkil edilen HEA300 profilin başlık elemanında basınç yükü altında lokal burkulma gerçekleşebilir. Dolayısıyla tasarım eğilme momenti dayanımının tayininde Denklem (8)'de verilen lokal burkulma sınır durumu göz önüne alınmalıdır.

$$M_{n1} = M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ex}) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \quad (17)$$

Lokal burkulma sınır durumunun belirlenmesi için öncelikli olarak plastik eğilme momenti dayanımı, M_p ve elastik olmayan eğilme momenti dayanımı, M_r değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

$$M_p = F_y W_{px} = 275 \times 1.383 \times 10^6 \times 10^{-6} = 380.3 \text{ kNm} \quad (18)$$

$$M_r = 0.7F_y W_{ex} = 0.7 \times 275 \times 1.26 \times 10^6 \times 10^{-6} = 242.6 \text{ kNm} \quad (19)$$

$$M_{n1} = 380.3 - (380.3 - 242.6) \left(\frac{10.7 - 10.2}{24.0 - 10.2} \right) = 376.5 \text{ kNm} \quad (20)$$

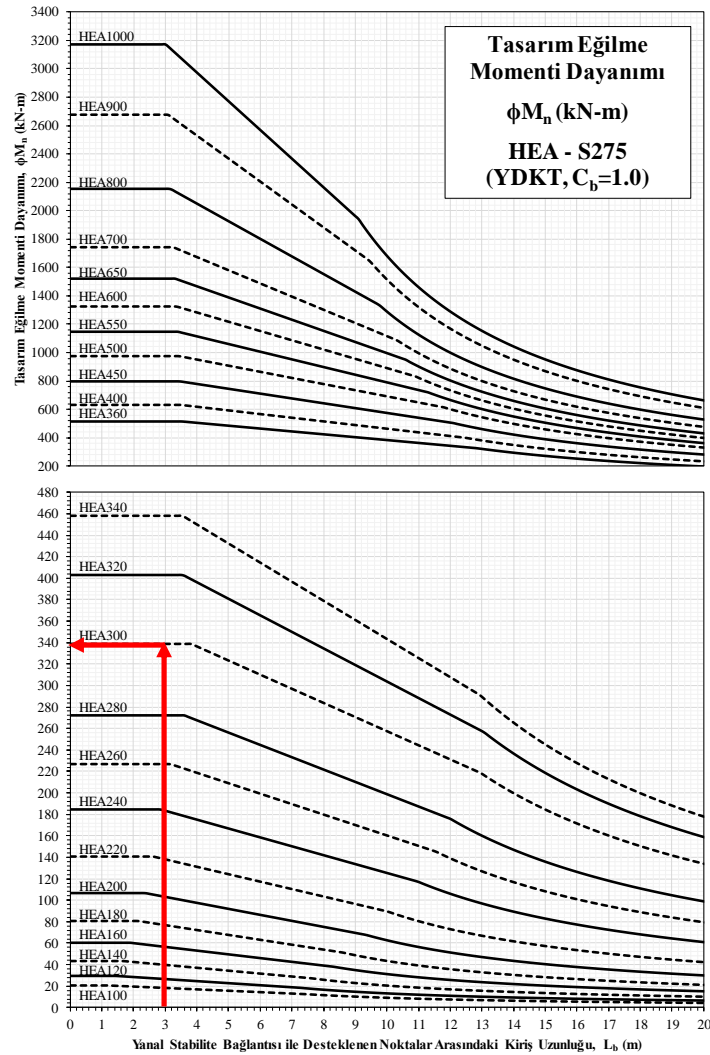
Eğilme elemanının yanal burulmalı burkulma tahkiki için öncelikli olarak plastik, L_p sınır uzunluğu belirlenir.

$$L_p = 1.76i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 74.9 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 3555 \text{ mm} \quad (21)$$

$L_b=3000 \text{ mm} \leq L_p=3555\text{mm}$ olduğu için yanal burulmalı burkulma gerçekleşmez. Dolayısıyla tasarım eğilme momenti kapasitesi,

$$\phi M_n = 0.9 \times M_{n1} = 338.8 \text{ kNm} \quad (22)$$

A. 2. Önerilen Abakların Kullanılması ile Tasarım Eğilme Dayanımının Belirlenmesi



Şekil 16. Sayısal uygulama için kullanılan abak

Şekil 4’de verilen abak kullanılarak $L_b=3000$ mm değeri için S275 malzeme sınıfından teşkil edilen HEA300 profilinin tasarım eğilme momenti dayanımı $\phi M_n=340$ kNm değeri okunur. ÇYTHYE-2018’de [8] tanımlanan formüller ile elde edilen değer arasındaki fark %0.3 olarak hesaplanır.

B. SAYISAL UYGULAMA 2

Yanal mesnetler arası mesafesi 6000 mm olan ve uzunluğu boyunca sabit eğilme momentine maruz kalan S355 malzeme sınıfından ve IPE300 profilinden teşkil edilen kiriş elemanının tasarım eğilme momenti dayanımını hesaplayınız.

B. 1. ÇYTHYE-2018’de [8] Tanımlanan Formüllerin Kullanılması ile Tasarım Eğilme Momenti Dayanımının Belirlenmesi

Eğilme momentine maruz kalan kiriş elemanının kompakt, kompakt olmayan veya narin enkesit sınıfına ait olduğunu belirleyebilmek için Denklem (2~7) kullanılarak kesit sınıflandırılması yapılır.

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{200}{2 \times 16} = 6.3 \leq \lambda_r = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.0 \quad \text{Kompakt başlık} \quad (23)$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{426}{10.2} = 41.8 \leq \lambda_r = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.2 \quad \text{Kompakt gövde} \quad (24)$$

Eğilme momentine maruz kalan S355 malzeme sınıfından teşkil edilen IPE500 profili kompakt olduğu için eğilme momenti altında lokal burkulma oluşması beklenmez. Dolayısıyla tasarım eğilme momenti dayanımının tayininde Denklem (8)’de verilen lokal burkulma sınır durumu göz önüne alınmayacaktır.

Eğilme elemanının yanal burulmalı burkulma tahkiki için öncelikli olarak plastik, L_p ve elastik olmayan, L_r sınır uzunlukları belirlenir.

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 43.1 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 1801 \text{ mm} \quad (25)$$

$$i_{ts} = \sqrt{\frac{I_y C_w}{W_{ex}}} = \sqrt{\frac{\sqrt{2.142 \times 10^7 \times 1.249 \times 10^{12}}}{1.928 \times 10^6}} = 51.8 \text{ mm} \quad (26)$$

$$L_r = 1.95 i_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{W_{ex} h_0} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{W_{ex} h_0}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}} = 5347 \text{ mm} \quad (27)$$

$L_b = 6000 \text{ mm} \geq L_r = 5347 \text{ mm}$ olduğu için eğilme elemanın eğilme momenti sınır durumunu elastik yanal burulmalı burkulma dayanımı belirleyecektir.

$$M_n = \left[\frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{i_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{W_{ex} h_0} \left(\frac{L_b}{i_{ts}}\right)^2} \right] W_{ex} \leq M_p \quad (28)$$

$$M_p = F_y W_{px} = 355 \times 2.194 \times 10^6 \times 10^{-6} = 778.9 \text{ kNm} \quad (29)$$

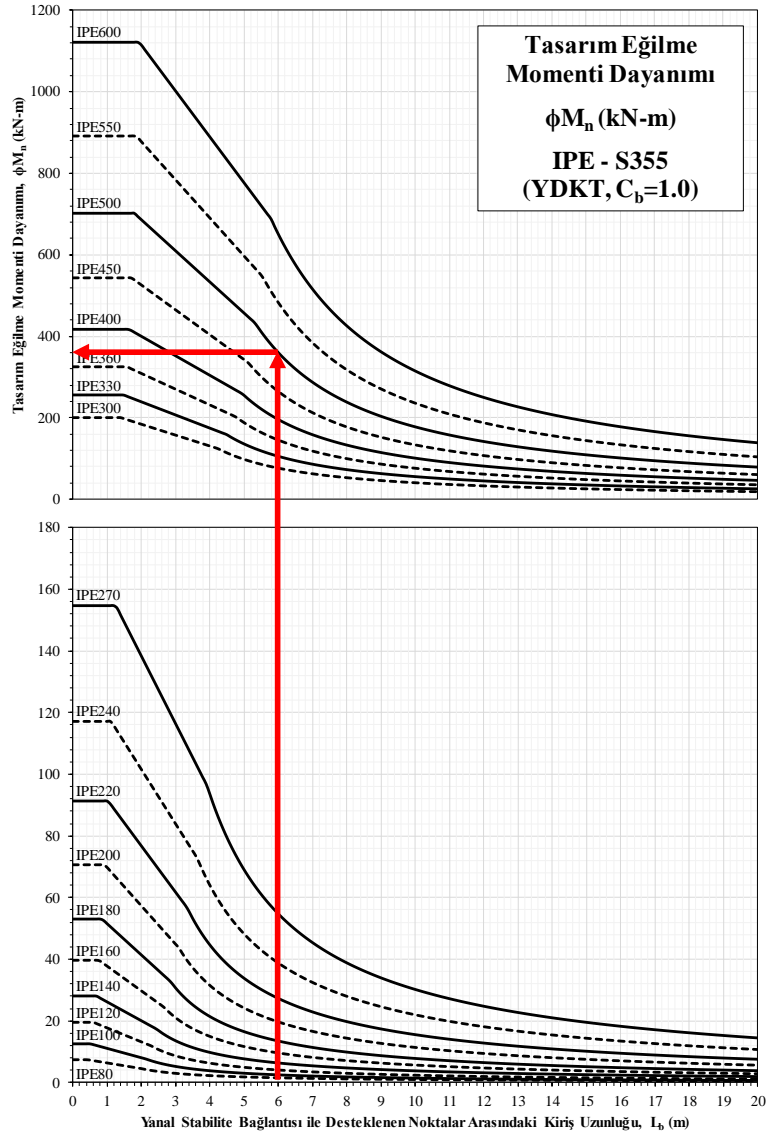
$$M_n = \left[\frac{1.0\pi^2 200000}{\left(\frac{6000}{51.8}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{8.929 \times 10^5 \times 1}{1.928 \times 10^6 \times 484} \left(\frac{6000}{51.8}\right)^2} \right] 1.928 \times 10^6 \leq M_p \quad (30)$$

$$M_n = 401.3 \leq 778.9 \text{ kNm} \quad (31)$$

Tasarım eğilme momenti kapasitesi,

$$\phi M_n = 0.9 \times M_n = 361.1 \text{ kNm} \quad (32)$$

B. 2. Önerilen Abakların Kullanılması ile Tasarım Eğilme Dayanımının Belirlenmesi



Şekil 17. Sayısal uygulama için kullanılan abak

Şekil 11’de verilen abak kullanılarak $L_b=6000$ mm değeri için S355 malzeme sınıfından teşkil edilen IPE500 profilinin tasarım eğilme momenti dayanımı $\phi M_n=360$ kNm değeri okunur. ÇYTHYE-2018’de [8] tanımlanan formüller ile elde edilen değer arasındaki fark %0.3 olarak hesaplanır.

IV. SONUC

Bu çalışma ÇYTHYE-2018’de [8] yönetmeliğine göre eğilme momentine maruz kalan kiriş elemanların boyutlandırılması için yardımcı abaklar sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında göz önüne alınan kriterler ve yapılan kabuller aşağıda sıralanmıştır.

- S235, S275 ve S355 malzeme sınıfları kullanılmıştır.
- HEA, HEB, IPE ve IPN profillerinden teşkil edilmiştir.
- YDKT esasları kullanılmıştır.
- Eğilme I-enkesitli kiriş elemanın güçlü ekseninde etrafındadır.
- Yanal mesnetler arasında moment sabittir ($C_b = 1.0$).
- Lokal burkulmalar ve yanal burulmalı burkulmalar göz önüne alınmıştır.

Bu abaklar sayesinde güçlü eksenleri etrafında eğilme momentine maruz kalan elemanların tasarım eğilme momenti dayanımları ÇYTHYE-2018’de [8] tanımlanan karmaşık formülleri kullanmaya gerek kalmadan belirlenebilecek ve böylece hızlı ve etkin bir şekilde eğilme elemanları boyutlandırabileceklerdir. Bu çalışmada sunulan abaklar kullanılarak elde edilen tasarım eğilme momenti dayanımları ile ÇYTHYE-2018’de [8] tanımlanan formüller ile elde edilen dayanım değerleri iki farklı sayısal uygulama için hesaplanmış ve aralarındaki hata oranı %0.3 olarak rapor edilmiştir. Bu sonuçlar tasarım eğilme momenti dayanımlarının elde edilmesi için sunulan abakların çok kullanışlı ve güvenli olduğunu göstermektedir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] *Standard specification for structural steel for building*, American Institute of Steel Construction AISC, Chicago, 1923.
- [2] *Specification for the use of structural steel in building*, British Standard Institution BS 449, London, 1932.
- [3] *Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü TS 648, Ankara, 1980.
- [4] *Specification for structural steel buildings*, American Institute of Steel Construction ANSI/AISC 360–16, Chicago, 2016.
- [5] *Eurocode 3, Design of steel structures-part 1: general rules and rules for buildings*, European Standard, Comit Européen de Normalisation EN 1993-1:2004, Brussels, 2004.
- [6] *Design of steel structures*, National Standard of Canada, CSA S16:19, Ontario, 2019.

- [7] *Standard specifications for steel and composite structures*, Japan Society of Civil Engineers, JSCE-2007, Tokyo, Japan, 2007.
- [8] *Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapımına dair esaslar*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ÇYTHYE-2018, Ankara, 2018.
- [9] *Steel construction manual*, American Institute of Steel Construction AISC, The Fifteenth Edition, Chicago, 2018.
- [10] *Steel building design: Design Data*, The Steel Construction Institute, Berkshire, The British Construction Steelwork Association Ltd, London, 2011.
- [11] *Joints in steel construction: Simple Joints To Eurocode 3*, The Steel Construction Institute, Berkshire, The British Construction Steelwork Association Ltd, London, 2014.
- [12] *Joints in steel construction: Moment-Resisting Joints To Eurocode 3*, The Steel Construction Institute, Berkshire, The British Construction Steelwork Association Ltd, London, 2013.
- [13] *Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım esaslarına dair yönetmelik hakkında uygulama kılavuzu*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2017.
- [14] M. B. Bozkurt, "Basınç elemanları için yardımcı abaklar," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, s. 4, ss. 2344-2365, 2020.
- [15] K. Nagarajan ve P. Natarajan, "Design of Structures" E-Notes of DSS-1, International Institute of Technology & Management, Murthal Sonapat.
- [16] M. D. Engelhardt, CE 335 Elements of Steel Design, *Ders Notları*, Austin, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Türkiye’de Yüksek Hızlı Trenlerin Önemi ve Diğer Ulaşım Türleri Arasındaki Tercih Nedenleri

 Hümeyra BOLAKAR TOSUN^a

^a*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, TÜRKİYE*

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

DOI: 10.29130/dubited.873692

ÖZET

Türkiye de ulaşım altyapısı ve ağı kurgularken uzun yıllar demiryolu yatırımları ihmal edilmiştir. Bu durum ulaşım ağı içerisinde türel dağılımı olumsuz etkileyen sonuçlar doğurmuştur. Karayolları ağırlıklı oluşturulan planlamaların çevresel olumsuzlukları ve havayollarının hızlılık avantajına rağmen bu ulaşım türlerinin her noktaya taşımacılık hizmetinin bulunmaması, ulaşım araçlarında yenilikleri beraberinde getirmiştir. Güvenli, hızlı ve konforlu bir seyahat kapsamında geliştirilen yüksek hızlı trenler Türkiye’de yeni bir ulaşım türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Ankara, İstanbul, Eskişehir, Konya arasında ulaşım açılan hatların yanı sıra yapımı devam eden ve yeni oluşturulacak hatlar ile bölgeler ve şehirler arasında hızlı, güvenli ve konforlu bir seyahat oluşturulması hedeflenmektedir. Bu çalışmada yüksek hızlı trenlerin; güvenlik, konfor, seyahat süresi, ulaşım maliyetleri gibi etkileri incelenmiştir. Mevcut hatlar arasında faaliyet gösteren ulaşım türleri kıyaslanmış ve sonuç olarak yüksek hızlı trenlerin birçok etki açısından daha avantajlı ulaşım sağladığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek hızlı tren, Seyahat güvenliği, Ulaştırma

The Importance of High Speed Trains in Turkey and Reasons for Preference Types of Other Transportation Modes

ABSTRACT

Turkey has for many years constructing rail network transport infrastructure and investments were neglected. This situation creates negative effects of trip distribution. Despite the environmental disadvantages of the planning based on highways and the speed advantage of the airlines, the lack of transportation services to every point of these transportation types has brought innovations in transportation vehicles. High-speed railways that developed safe, fast and comfortable travel as a new type of transportation emerges in Turkey. It is aimed that create a fast, safe and comfortable travel between the regions and cities with the on going and newly created lines in addition to the lines opening between Ankara, Istanbul, Eskisehir, Konya. In this study, high-speed trains effects were examined such as safety, comfort, travel, time and transportation costs. Transportation types operating between existing lines have been compared. As a result, it was determined that high speed trains provide more advantageous transportation in terms of many effects.

Keywords: High speed train, Travel security, Transportation

I. GİRİŞ

Ulaşım günümüz şartlarında küreselleşme ve ekonomik büyümeyle paralel olarak hızlı gelişim göstermektedir. Zamandan tasarruf sağlayan ulaşım sektörü, toplumsal gelişmeye ayak uydurmak zorundadır. Çünkü ulaşım ekonomik, sosyal, siyasal, kültürel ve askeri yapılar gibi birçok yapının temelini oluşturmaktadır. Ayrıca bir hizmet sektörü olan ulaştırmanın istihdam yaratma kapasitesi de oldukça yüksektir. Ulaştırma türleri denizyolu, karayolu, havayolu ve demiryolu olarak dört ana başlık altında incelenir [30]. Buna ilaveten boru hatları da bir ulaşım türü olarak görülmektedir. Ulaştırma planlaması yapılırken izlenecek sürecin en önemli aşamasının ileriye dönük olan ulaşım talebinin tahmin edilmesi ve bu talebin ulaştırma türlerine göre nasıl dağıtılacağına hesaplanması olduğunu göz önünde bulundurmak gerekir.

Demiryolu ulaşımının, kara ulaştırması türleri arasında birim hacmine göre enerji tüketimi, arazi kullanımı, çevresel etki ve ekonomiklik bakımından en iyi ulaşım türü olduğu, ve ayrıca enerji tüketimi, çevresel etki ve parasal verimlilik bakımından havayolu ulaştırmasına göre de üstün olduğu kabul edilmektedir. Türlerin teknolojik gelişmelerle entegrasyonu sonucunda değişimi ve gelişimi, yük ve yolcu taşımacılığında türler arası tercihte belirleyici bir rol oynamaktadır. Hız, güvenlik, sistematiklik, konfor, seyahat süresi, taşıma kapasitesi, maliyet ve çevre uyumu gibi nitelikleri daha iyi karşılayan ulaşım türleri daha çok tercih edilmektedir [1-2].

Osmanlı İmparatorluğundan devralınan ve yabancı şirketlerin imtiyazında bulunan demiryolunun 3.714 km'si ana hat, 845 km'si tali hat olmak üzere toplam 4559 km'lik kısmı Kurtuluş Savaşından sonra devletleştirilmiştir. 1932 yılında 1. Beş Yıllık Sanayi Planında ve özellikle 1936 yılında hazırlanan 2. Beş Yıllık Sanayileşme Planında Türkiye gerek yolcu ulaşımı sorununu çözmek ve gerekse oluşumuna ağırlık verdiği demir-çelik, kömür ve makina gibi temel sanayi girdilerinin hacimli ve yoğun yüklerini demiryolları ile en ucuz biçimde taşımak amacıyla bilinçli bir demiryolu politikası izlemiştir [23]. Türkiye kuruluşundan itibaren 1950 yılına kadar demiryolları üzerinde çalışmalar gerçekleştirirken 1950'den 2009'a kadar gereken önem verilmemiştir. Böylece kara-hava-demir yolu ulaşımaları arasında dengesiz bir dağılım oluşmuştur. 2009 yılında işleme açılan ilk yüksek hızlı tren seferleri ile demiryollarına verilen önem yeniden artmıştır [7-9]. Türkiye'de ulaşım konusunda daha çok karayolu ağırlıklı ulaşım tercih edilirken hız, maliyet, güvenlik ve sürdürülebilir ulaşım açısından yüksek hızlı trenlerin diğer türlere oranla daha etkin olması, ulaşım türleri arasındaki payını giderek arttırmaktadır [4]. Yüksek hızlı trenleri daha çok yolcu taşımacılığında kullanılmakta [3] ve hareketliliğin karşılanması önemli bir alternatif oluşturmaktadır [6]. Yüksek Hızlı Trenler, ihtiyaç duyulan alt yapının sağlanmasında ilave yatırım maliyetleri gerektirse de karayollarına göre daha hızlı ve güvenli, havayollarından daha ucuz olması ve daha düşük enerji ile seyahat imkânı sağlamasıyla tercih edilebilirliğini arttırmıştır [5].

Stoop ve Thissen [15] çalışmalarında, yüksek hızlı demiryollarının yaygınlaşmasında güvenliğin önemli bir etken olduğunu ifade etmişlerdir. Şahin ve Altan [8] çalışmalarında, YHT(Yüksek Hızlı Tren) planlamasında etkili olan güvenlik için hem işletme maliyeti hem de yolculuk süresindeki kayıpları önleyecek programlama modeli geliştirmişlerdir. Albalate vd. [9], hava yolu ve demir yolu arasındaki rekabete ek olarak yüksek hızlı demiryollarının hava yolu taşımacılığı için intermodal (taşıma kabı değiştirilmeden en az iki farklı taşımacılık modu kullanılarak yapılan taşıma şekli) bir taşıma olduğunu belirtmiştir. İnan ve Demir [6], yüksek hızlı demiryollarının çevre dostu, enerji tasarrufu sağlaması ve ekonomikliğinin yanı sıra karayollarına göre arazi kullanımında da avantajlı olduğunu belirtmiştir. Dalkılıç ve Yaman [12], yüksek hızlı trenlerin düşük maliyetli olmasından dolayı tercih edilebilirliğini arttırdığını belirlemişlerdir. Sarı vd. [14] çalışmalarında, yüksek hızlı tren hizmet kalitesinin belirlenmesinde zaman tasarrufu sağlamasından dolayı yolcu tercihleri üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir. Borrás vd. [16] yaptıkları çalışmada, yüksek hızlı trenlerin çevre dostu bir ulaşım sağlaması ve seyahat ücretlerinin uygun aralıklarda fiyatlandırılmasından dolayı yaygın bir ulaşım türü haline geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca ulaşım sisteminin altyapı inşaa maliyetlerinin yüksek oluşu, kademeli yatırımın mümkün olmayışı, sistemin ancak ve ancak arazinin belirlenen eğimlerde olması koşuluyla çalışabilir olması, demiryolu ulaştırma ağı tesis etmede coğrafi

engellerden kaynaklanan çeşitli kısıtların olması sistemin dezavantajları olarak karşımıza çıkmaktadır [21].

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Türkiye’de ilk hızlı demiryolu araçları, yolcu taşımacılığında yaklaşık 2 saat 40 dakika seyahat süresi ile 2009’da Ankara-Eskişehir hattının işletime açılmasıyla başlamıştır. 2011 yılında Ankara-Konya, 2014 yılında Ankara-Pendik (İstanbul) ve Konya-Pendik, 2019 yılında Ankara-Halkalı (İstanbul) ve Konya-Halkalı hatlarında yolcu taşıma hizmetleri verilmeye başlamıştır [10].

A. TERCİHİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

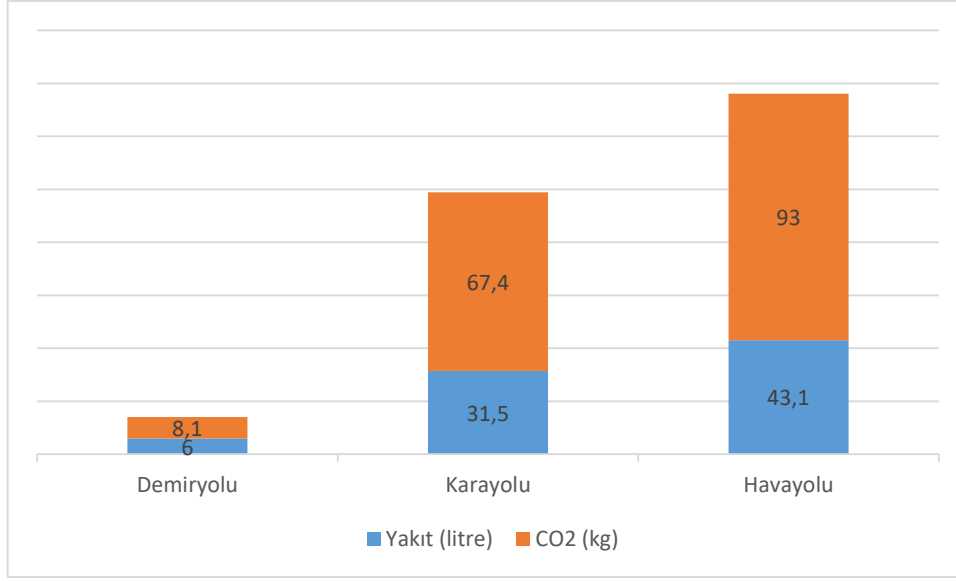
Yüksek hızlı trenlerin geleneksel demiryolu araçlarından farklı özelliklere sahip olması diğer ulaştırma türleri ile rekabetini arttırmaktadır. Demografik özellikler, hareketlilik, seyahat süresi, erişilebilirlik ve maliyet diğer türler ile rekabetinde belirleyici unsurlardır [9,20]. İklim koşullarından etkilenmemesi ve akıllı ulaşım sistemlerinden faydalanılarak oluşturulan sistemler sayesinde yüksek hızlı trenler güvenli, konforlu ve rahat bir ulaşım sağlar. Arazi kullanımında küçük bir pay ile taşıma sağlayan demiryolları düşük maliyetli yatırımların oluşturulmasını ve arazi tasarrufunu sağlamaktadır [6]. Yüksek hız ve yüksek taşıma kapasitesine sahip olması kara yolu trafiğini ve buna bağlı oluşan tıkanıklıkların önüne geçmek için alternatif bir ulaşım aracıdır. Diğer türelere göre seyahat süresinde ve yakıt maliyetlerinde avantaj sağlamaktadır [9].

A.1. Çevre Duyarlılığı

% 100 elektrikli bir sistem olan yüksek hızlı trenler, daha ileri teknolojik gelişmelere ihtiyaç duymadan yenilenebilir enerji ile uyumludur. Günümüzde YHT, şehirlerarası ve uzun mesafeli taşımacılıkta önemli oranda yenilenebilir enerji tüketen tek ulaşım türüdür. Çekiş için kullanılan yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik miktarı arttıkça, CO₂ gaz emisyonları da düşmektedir. Elektrikle çalışmanın avantajlarından biri, diğer ulaşım türlerinin tam tersine, yüksek hızlı teşebbüslerin ana yenilenebilir enerji formlarını kolayca kullanabilmesidir. Bu bağlamda, bazı demiryolu şirketleri yenilenebilir elektrik paylarını arttırmayı amaçlamışlardır. Örneğin, İskandinavya, İsviçre ve Avusturya’da elektrikle çalışan demiryolu ağları vardır. Benzer şekilde, Hollanda demiryolları, tüm enerji gereksinimlerini yeni inşa edilen yenilenebilir enerji kaynaklarından satın almak için bir sözleşme imzalamıştır. Ülkemizde de ulaştırma türlerinin doğa üzerinde oluşturduğu olumsuzluklardan dolayı yeni politikalar belirlenmiş ve bu zararları giderecek yeni yöntemler geliştirilmiştir [22]. Bu çevresel etkileri minimize etmek için kullanılan yöntemlerden biride tamamen elektrikle çalışan yüksek hızlı trenlerdir [10-15].

Karbon salınımı açısından yüksek hızlı trenler diğer türler ile kıyaslandığında, 1 kg karbondioksit salınımının oluşması için elektrikli demiryolu araçlarında 42 km, otobüs ve otomobil ile sırasıyla 12 ve 7 km, havayollarında ise 7 km’lik yol kat edilmektedir [19]. Yenilenebilir enerji kaynakları kullandığı için karbon emisyon salınımları sıfıra yakın değerlerde olduğundan YHT’lerin çevreye verdiği zarar diğer ulaştırma türlerine göre daha azdır ve düşük enerji tüketimi ile yolcu taşıma hizmeti sunmaktadırlar [6,11].

Şekil 1.’de Havayolu, karayolu ve demiryolu ile gidilen 600 km’lik bir yol için tüketilen yakıt (Litre) ve CO₂ emisyonu (kg) karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. 600 km'lik bir yol için yakıt tüketimi (Litre) ve CO2 emisyonu (kg) karşılaştırılması[6].

A.2. Güvenlik

Yüksek hızlı trenler, hızlı ve güvenli bir taşımacılık hizmetini sağlamak için tasarlanmış ve üretilmiştir [21]. Bu tür araçlarının belirlenen hızlara erişebilmesi için uygun altyapı ve özel tasarımların oluşturulması gerekir. Bunun için yüksek hızlarda kuru geçişleri ve istasyonlar arası dur-kalk noktalarında güvenli bir yolculuk için sinyalizasyon sistemlerinden yararlanılır. Böylece yüksek hızlarda seyahat imkânı sağlamanın yanı sıra kaza oranları diğer türlere göre daha azdır ve emniyetli bir seyahat hizmeti sunmaktadır [11,17]. Bu sebeplerden dolayı güvenlik unsuru da yüksek hızlı trenlerin tercih edilme sebepleri arasındadır. Dünya üzerinden kaza örnekleri arasında yer alan, Japon Tokaido Shinkansen hattında 30 yıl içinde 3.5 milyar yolcu taşınmıştır. Ölümlü ya da yaralanmalı hiçbir kaza olmamıştır. Türkiye'de 2007-2012 yılları arasında toplamda 242,3 milyon tren.km taşımacılık yapılmış ve 503 kişi demiryolu kazası nedeni ile hayatını kaybetmiştir [24, 25]. 2007-2012 yılları için toplamda Türkiye için milyon tren.km başına ölüm miktarı 2,08 olarak hesaplanmıştır. Tablo 1'de 2008-2012 yılları için Avrupa Birliği, ABD, Kanada, G.Kore, Avustralya ve Türkiye'nin değerleri görülmektedir [26]. En düşük oran 0,16 değeri ile Avustralya, 0,32 değeri ile Avrupa Birliğine aittir. Türkiye haricindeki ülkeler için ortalama değer 0,43 dür. Türkiye'de 48 Demiryolu Mühendisliği 2008-2012 yılları toplamı için dünya ortalamasının yaklaşık beş katı ölüm vakası meydana geldiği anlaşılmaktadır.

Tablo 1. Dünyada ve Türkiye'de 2008-2012 arasındaki yıllar için milyon tren km olarak ölüm miktarları

AB	ABD	Kanada	G.Kore	Avustralya	Türkiye
0,32	0,63	0,6	0,45	0,16	2,08

A.3. Maliyet

Yüksek hızlı trenler; kılavuz raylar, istasyonlar, enerji tedariki, demiryolu araçları ve sinyalizasyon sistemlerinden oluşmaktadır [13]. Ayrıca bu araçlar büyük oranda yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. Yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen birim enerji miktarıyla daha fazla yolcu taşıdığı için kullanılan yakıt maliyeti düşük, enerji verimliliği yüksektir [6,18].

A.4. Seyahat Süresi

Yüksek hızlı trenler ile yolcu taşımacılığı Türkiye’de yeni bir ulaşım hizmeti sunarken seyahat süresindeki avantajlar sayesinde havayolu ve karayolu ile rekabet edebilecek bir düzeye ulaşmıştır [12]. Seyahat süresi ulaşım türleri arasında tercih edilebilirlik açısından oldukça önemli bir parametredir. Türkiye’de yolcu taşımacılığı yapan hatlar ile Ankara-Eskişehir hattı yaklaşık 1 saat 30 dk, Ankara-Konya ortalama 1 saat 50 dk; Ankara-Pendik ortalama 4 saat; Konya-Pendik 4 saat 20 dk; Ankara-Halkalı 5 saat 30 dk; Konya-Halkalı 5 saat 40 dakikalık seyahat süresi ile ulaşım sağlamaktadır. Ve bu süreler sayesinde bahsedilen illerdeki ulaşım tercihlerinde diğer türlere oranla demiryolu taşımacılığında artış gözlenmiştir.

A.5. Hız ve Konfor

Yüksek hızlı trenlerin uzun mesafeli yolcu taşımacılıklarında havayolları ile rekabete girebileceği görüşü ağırlık kazanmıştır. Gürültü ve titreşim gibi faktörler yüksek hızlı trenlerin yoğun olarak kullanıldığı Japonya’da sorunlara sebep olmuştur. Aynı sorunların Almanya’da da dile getirilmesi neticesinde yüksek hızlı trenlerin azami hızlarına sınırlama getirilmiştir. Daha yüksek hızlara ancak gürültü düzeylerinde azalmalara gidildiği takdirde izin verileceği Almanya ve İngiltere hükümetleri tarafından dile getirilmiştir. Son yıllarda araştırma-geliştirme çalışmaları sonucunda hızlı trenlerin gürültü düzeylerinde ciddi azalmalar gerçekleşmiştir. 300km/s hıza ulaşan Atlantik hızlı trenlerinin gürültü değeri bir önceki kuşak olan güneydoğu hızlı trenlerinin 270km/s hıza ulaştıklarında çıkardıkları gürültüden daha düşüktür [23]. Yüksek hızlı trenler, karayollarına göre daha kısa seyahat süresiyle yolculuk imkanı sunmaktadır ve bu da tercih edilebilirlik açısından en önemli etkidir. Güvenlik ve gürültü kaynaklı rahatsızlıkları önlemek açısından hatların geçtiği kalabalık nüfuslu yerlerde, tünel ve köprülerde hız sınırlandırılmaktadır. Hız değerleri arttıkça altyapı maliyetleri de hızla birlikte doğrusal olarak artmaktadır. Bu yüzden yüksek hız için güvenli, emniyetli ve esnek bir altyapının oluşturulması da gerekmektedir [21]. Türkiye’de faaliyette olan yüksek hızlı trenler 250 km/sa hızlara erişerek seyahat hizmeti sunmaktadır. Bu araçlar gürültü, ses ve ısıya karşı gerekli yalıtımların oluşturulması ile konforlu bir hizmet sağlamaktadır. Ayrıca hava koşullarından etkilemediği için sürekli ulaşım hizmeti de sunmaktadır [11].

A.6. Dakiklik ve Erişilebilirlik

Ulaşım türlerinde dakiklik ve hizmetlerdeki süreklilik tür tercihinde etkilidir [15]. Yüksek hızlı tren hatlarının bölgelere en temel ve doğrudan etkilerinden bir tanesi, bölgedeki bir alanın veya bir şehrin ekonomik coğrafi konumunu değiştirmesidir. Ana ulaşım güzergâhları merkezinde olmayan bir bölge, hızlı tren hatlarının varlığıyla konum avantajını değiştirebilmektedir. Bölgelerin, şehirlerin ve alanların gelişimini teşvik etmek ve bölgesel kalkınmayı daha da desteklemek için yüksek hızlı tren hatları önem kazanmıştır. Merkez şehirlerin ve istasyonlu şehirlerin erişilebilirliğinin geliştirilmesi, bu merkezlerin çevre bölgelerden daha büyük olmasını sağlamıştır. Aynı zamanda kentlerin büyümenin getirdiği olanaklardan daha fazla yararlanmasını da sağlamıştır [23]. Seyahat süresinde varış-kalkış noktaları, istasyonlar arasında dur-kalk süreleri programlı olarak düzenlendiği ve akıllı ulaşım sistemlerinden faydalanarak herhangi bir gecikmeyi güzergâh üzerinde engelleyebildiği için yüksek hızlı trenler dakik bir ulaşım sistemidir. Yüksek hızlı trenlerin erişilebilirlik açısından geçtiği güzergâhlar üzerinde bulunan yerleşmeler gelişmeye başlamış ve şehirlerarası etkileşimlerde artmıştır [17]. Ayrıca terminallere ulaşım konusunda rahatlık sağlayan tren istasyonları, genellikle havayollarına göre şehir merkezlerine yakın mesafede konuşlandırılmıştır. Böylece yüksek hızlı trenlere ait terminallere erişimde kolaylık sağlanmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Türkiye’de ulaşım türleri arasında taşınan yolcu ve yük miktarlarının yüzdelik payları 2015 yılı itibarı ile Tablo 2’de verilmiştir [27].

Tablo 2.: Türkiye’de ulaşım türleri arasında taşınan yolcu ve yük payları (%) (2015)

Ulaşım Türü	Yolcu Taşıma Payı %	Yük Taşıma Payı %
Karayolu	89.8	89.5
Demiryolu	1.1	4.6
Denizyolu	0.6	5.4
Havayolu	8.5	0.4
Boru Hatları	-	11.5

A. KARAYOLARI İLE ULAŞIM

Uzun yıllar karayolları ağırlıklı yatırımlar türler arası dengesizliklere ve tek bir türe bağlı taşımacılığın gelişmesine neden olmuştur. Enerji kaynaklarında dışa bağlı olması ve çevresel tahribatlara yol açmasının yanı sıra yetersiz kapasiteye bağlı tıkanıklıkların yaşanması, trafik kazalarındaki artış, yol bakım-onarım maliyetlerinin yüksek olması maddi-manevi kayıpları da beraberinde getirmiştir. Raylı sistemlerin taşıma kapasitesi tek seferde karayolları ile taşınan yolcu kapasitesine göre çok daha fazladır. Karayolu araçlarının oluşturduğu trafik, yüksek enerji maliyetleri, çevresel zararlar, trafik kazalarından kaynaklı yaralanma ve ölümlerden dolayı demiryolları sağladığı avantajlardan dolayı karayollarının yerini almaya başlamıştır [18].

Aynı kapasitede yolcu taşıma değerleri için demiryollarında 13,7 m genişlikte bir platform yeterliyken, karayolları için bu platform genişliği 37,5 metredir. [19]. Demiryolları, karayollarına göre daha uygun maliyetli ve çevresel etkileri daha azdır. Her noktaya ulaşım sağlaması, sık sefer imkânı sunması bir avantaj gibi görülürken enerjide dışa bağlı olması ekonomide olumsuz etkiler yaratmaktadır [11].

B. HAVAYOLLARI İLE ULAŞIM

Hava yolu ile ulaşım hizmetlerinde seyahat süresi kısadır. Hızlı ve güvenli seyahat imkânı sağlamaktadır. Ancak taşıma maliyeti yüksektir. İklim koşullarından etkilendiği için rötarlara ya da seferlerde değişikliklere neden olmaktadır. Ayrıca her bölgeye havayolları ile ulaşım mümkün değildir [22]. Yüksek hızlı tren ve hava yolu arasındaki rekabet dünyanın her yerinde ve günün her anında birçok yerde defalarca incelenmiştir. Demiryoluyla yapılan yolculuklarda seyahat süresinin 2 saatten az olduğu durumlarda, YHT tamamen piyasaya hâkimdir ve hava şirketleri sıklıkla rekabet etmekten vazgeçerler. Demiryoluyla yapılan yolculukların seyahat süresi 2 saat ile 3.5 saat arasında olduğunda, demiryolu hakim taşımacılıktır. Demiryolunun seyahat süresi 3.5 saat ve 5 saat arasında olduğunda, havayolu ile ulaşım demiryoluna göre daha baskın taşımacılıktır. Tabii ki, bu trafik bölünmesi, istasyonların ve havaalanlarının yerleri, bilet fiyatları ve servis sıklığı gibi diğer parametrelerden etkilenebilir. Bununla birlikte, UIC (International union of railways) tarafından yapılan son Avrupa araştırmalarının sonuçları incelendiğinde düşük maliyetli hava şirketleri ve tam paket satan tur operatörleri düşünüldüğünde bile demiryolu her zaman havayolundan daha ucuz bir taşımacılık hizmeti sunmaktadır.

Havayolları yakın mesafelerde ulaşım sağlamadığı için yüksek hızlı trenlerin bulunduğu bölgelerin bazılarında havayolları ile seyahat imkânı yoktur. Bu yüzden yüksek hızlı trenler yakın ve uzak mesafeli noktalar arasında seyahat hizmeti sağladığı için havayollarına göre avantajlı bir ulaşım türüdür. İki tür içinde hız parametreleri ortak bir etken olmasına rağmen havayollarında seyahat ücreti,

seyahat tarihine kadar fiyatlarda yaşanan değişkenlikler açısından yüksek hızlı trenler daha uygun maliyetlerle seyahat hizmeti sağlamaktadır.

C. YÜKSEK HIZLI TRENLER İLE ULAŞIM

Yüksek Hızlı Tren Hatları üzerinde taşınan yolcu sayısı dikkate alındığında her yıl bir önceki yıla göre taşınan yolcu sayısı artış göstermiştir. 2016 yılında toplam 5.899 yolcu seyahat için yüksek hızlı demiryollarını kullanırken yaklaşık % 40 artışla 2019 yılında 8.274 yolcu yüksek hızlı trenler ile seyahat etmiştir. Ayrıca yüksek hızlı trenler, komşu illere de kombine taşımacılık imkânı sağlamaktadır. Ankara-Eskişehir hattında YHT hizmeti başlamadan önce demiryolu taşıma payı % 8 iken hattın işleme açılmasıyla demiryollarının payı % 72'ye ulaşmıştır. Konya-Ankara arasında YHT hizmetinin payı % 66 'ya ulaşmıştır [10].

Tablo 3. Yüksek hızlı demiryollarının kullanan yolcu sayısı (bin kişi)[10].

YHT Güzergâhı	2016	2017	2018	2019
Ankara-Eskişehir	1.237	1.339	1.426	1.509
Ankara-Konya	1.775	2.047	2.243	2.099
Ankara-İstanbul	2.203	2.873	3.269	3.418
Konya-İstanbul	684	905	1.167	1.248

Hızlı trenler, kullanım kolaylığı, fiyat avantajı, emniyetli ve hızlı olmasıyla farkını ortaya koyar. Otomobilinizle gideceğiniz bir yolu hızlı trenle daha kısa sürede, daha emniyetli ve elbette daha ucuza ulaşma imkânı sağlar. Hızlı trenler tüm ülkelerdeki otoyol hız limitlerinden çok daha yüksek hızda seyahat yapma fırsatı verir. Genel olarak yolculuk mesafesi arttıkça hızlı trenin otoyola olan zaman avantajı artar. Yolculuk boyunca özgür alanlar sunar. Elektrik enerjisi ile çalışan hızlı trenler, çevreye zarar vermediği gibi diğer ulaşım araçlarına göre sessiz çalışarak gürültü kirliliği de üretmezler.

D. DENİZYOLLARI İLE ULAŞIM

Denizyolu ulaşımında ekonomi, çevre, sosyal ve güvenlik konuları ön plana çıkmaktadır. Denizyolu ulaşımı, Avrupa anararasında üretilen ürünlerin dünyaya taşınması hususunda çok boyutlu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Diğer ulaşım modlarında yakalanan ivmelerin sonucunda alternatif yakıt kullanımı ve çevresel zararların azaltılması (sera gazları, gürültü, atıklar, kirleticiler) konularında ilerlemeler kaydedilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyacın ortaya çıkmasında denizyolu ulaşımının diğer ulaşım modalarının (havayolu, demiryolu ve karayolu) gerisine düşmeye başladığı fark edilmesi ile tercih edilebilirlikte önemli bir etken olmuştur.

IV. SONUÇ

Yüksek hızlı trenler Türkiye'de on bir yıldır faaliyet göstermektedir. Sağladığı avantajlar ile diğer türler arasında bir rekabet ortamının oluşmasının yanı sıra kombine taşımacılık için de önemli katkılar sağlamaktadır.

Çevresel duyarlılık açısından karayolları ve havayollarının gaz emisyon değerlerinin yüksek hızlı trenlere göredaha yüksek olması sebebiyle, yüksek hızlı trenler şehirlerarası ulaşımında daha fazla tercih edilmektedir. Ayrıca diğer türlerin dışa bağımlı ve yenilenemez enerji kaynakları kullanmasının yanında yüksek hızlı trenlerin yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanması sürdürülebilir ulaşım kavramıyla örtüşmektedir. Karayolları taşımacılığında meydana gelen kazalarda ölüm ve yaralanma olayları oldukça fazladır. Yüksek hızlı trenler, kullanılan akıllı ulaşım sistemleri sayesinde güvenli taşımacılık hizmeti sağlamaktadır.

Karayolları ve yüksek hızlı trenler altyapı ve işletme maliyetleri kıyaslandığında yüksek hızlı trenlerin altyapı maliyetleri yüksek olmasına rağmen işletme maliyetleri karayollarına göre daha uygundur. Seyahat süresi yüksek hızlı trenlerin geçtiği bölgeler ile kıyaslandığında ve terminallere ulaşım süresinden varış noktasına kadar geçen süre değerlendirildiğinde yüksek hızlı trenler, havayolları ve karayollarına göre daha kısa sürede ulaşım sağlamaktadır. Ayrıca havayolları yüksek hızlı trenlerin eriştiği bazı bölgelere seyahat hizmeti sunmamaktadır.

Havayolları ve demiryolları, karayollarına göre daha hızlı ulaşım sağlamaktadır. Havayolları ve karayolları taşımacılığı iklim koşullarından etkilendiği için olumsuz hava şartlarında süreklilik sağlamamaktadır. Ayrıca hava limanları yerleşkesi şehir merkezinden uzak bir noktada kurulduğu için erişim zordur. Yüksek hızlı trenler akıllı ulaşım sistemleri sayesinde dakik bir ulaşım sistemidir ve hava koşullarından etkilenmemektedir. Genel olarak elde edinilen bilgiler ışığında yüksek hızlı trenlerin tercih edilme nedenleri;

- Hem uzun hem de kısa mesafelerde hızlı nakliyat sağlaması,
- Demir tekerlek ile demir yol arasındaki sürtünmenin az oluşu nedeniyle birimnakliyat başına enerji tüketiminin diğer sistemlere nazaran düşük olması,
- Ulaşımında trafik sorunu olmaması,
- Güvenli konforlu ve hızlı seyahat imkânı sağlaması,
- Diğer ulaşım türlerine nispeten daha çevreci olması,
- Hava koşullarından etkilenmemesi,
- Kolay erişim, sürdürülebilirlik, memnuniyet ve çekicilik parametrelerine sahip olması,
- Servis sıklığı, düzenli tren aralıkları gibi parametrelerin uygulanabilirliği,
- Yüksek düzeyde konfor,
- Diğer ulaştırma türleriyle uygunluk,
- Tren içinde ve istasyonda sunulan servisler,
- Diğer ulaşım türlerine oranla yapım aşamasında daha az arazi kullanımı gereksinimi, olarak sıralanabilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Erel, "Ulaştırma planlamasında talep-sunu ilişkileri," 3. *Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı*, 1995, ss. 81-92.
- [2] A. Vassilios , "Railway," *Management and Engineering*, c. 3, 2006.
- [3] İ. Pektaş, "Raylı ulaşım sistemleri sektör analizi," *Anadolu Raylı Ulaşım Sistemleri Kümelmesi*, ss. 12-17, 2017.
- [4] Z. Öztürk, "Yüksek hızlı demiryollarının gelişimi ve Türkiye'nin durumu," 2. *Ulaşım ve Trafik Kongresi- Sergisi*, Ankara, Türkiye, 1990, ss. 309-317.
- [5] Başbakanlık Hazine Müsteşarlığı "Dünya'da ve Türkiye'de yüksek hızlı tren işletmeciliği raporu," Türkiye, Rap. T.C.: 1-17, 2015.
- [6] M. İnan ve M. Demir, "Demiryolu ulaşımı ve Türkiye'de hızlı tren yatırımlarının etkileri: Eskişehir-Konya örneği," *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 1, ss. 99-120, 2017.
- [7] Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) Taşımacılık, "2017 Faliyet Raporu," Türkiye, Rap. TCDD: 29, 2017.

- [8] O. Şahin ve M. F. Altan, "Investigating high speed railways in terms of the economy for our country and the region," *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, c. 3, s. 1, ss. 156-162, 2018.
- [9] D. Albalate, G. Bel ve X. Fageda, "Competition and cooperation between high-speed rail and air transportation services in Europe," *Journal of Transport Geography*, s. 42, ss. 166-174, 2015.
- [10] Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) Taşımacılık, "2019 Faliyet Raporu," Türkiye, Rap. TCDD: 29, 2019.
- [11] S. Murat ve L. Şahin, "Dünden Bugüne İstanbul'da Ulaşım," İstanbul Ticaret Odası, Yayın 201-58, ss. 53-56, 2010.
- [12] G. Dalkılıç ve H. T. Yaman, "Evaluation of The pricing preferences and value of time for high speed rail users in the Turkey," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, c. 34, s. 1, ss. 255-273, 2019.
- [13] G. De Rus, I. Barron, J. Campos, P. Gagnepain, C. Nash, A. Ulied ve R. Vickerman, "Economic analysis of high speed rail in Europe," *Fundacion BBVA*, ss. 36-38, 2009.
- [14] Y. Sarı, A. Kılıçlar ve C. Seçilmiş, "Yüksek hızlı tren yolcularının kişisel değişkenler açısından memnuniyet algılamalarının değerlendirilmesi," *Anatolia: Turizm Araştırma Dergisi*, c. 22, s. 2, ss. 127-138, 2011.
- [15] J. A. Stoop ve W. A. H. Thissen, "Transport safety: trends and challenges from a systems perspective," *Safety Science*, c. 26, s. 1/2, ss. 107-120, 1997.
- [16] M. S. Borrás, C. Nash, P. Abrantes ve A. L. Pita, "Rail access charges and the competitiveness of high speed trains," *Transport Policy*, c. 17, s. 2, ss. 102-109, 2010.
- [17] M. Garmendia, C. Ribalaygua ve J. M. Urena, "High speed rail: implication for cities," *Cities*, c. 29, ss. 26-31, 2012.
- [18] A. Y. Gündüz, M. Kaya ve C. Aydemir, "Kent içi ulaşımda kara yolu ulaşımına alternatif sistem: raylı ulaşım sistemi," *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, c. 12, s. 1, ss. 134-151, 2011.
- [19] High speedrail, "Fast track to sustainable mobility" [Online]. Erişim: http://www1.mmo.org.tr/resimler/ekler/b7e926154c1274e_ek.pdf
- [20] R. Vickerman, "High speed rail in Europe: experience and issues for future development," *The Annals of Regional Science*, c. 31, ss. 21-38, 1997.
- [21] International Union of Railways, [Online]. Erişim: <http://www.uic.org.tr/passenger/highspeed>
- [22] Y. Sürmen, *Taşıma İşletmeleri Muhasebesi*, 1. baskı, Kocaeli, Türkiye:Umuttepe Yayınları, 2015, ss. 672.
- [23] B. Baki, *Lojistik Yönetimi ve Lojistik Sektör Analizi*, Trabzon, Türkiye: Lega Kitabevi, 2004, ss. 46-54.
- [24] F. Yılmaz, "Yüksek hızlı trenlerin bölgesel kalkınmaya etkileri," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye, 2019 .
- [25] TMMOB Makina Mühendisleri Odası, "Ulaşımında Demiryolu Gerçeği", Türkiye, Rap. TMMOB: 12, 2012.

- [26] TC Devlet Demiryolları İstatistik Yıllığı 2008-2012, ISSN 1300-2503, Ankara, 2013.
- [27] TC Devlet Demiryolları İstatistik Yıllığı 2007-2011, ISSN 1300-2503, Ankara, 2012.
- [28] 2014 Railway safety performance in the European Union, European Railway Agency, France, 2014.
- [29] Ulaştırma Bakanlığı, 2003-2014 İstatistiklerle Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara, s. 11, 2015.
- [30] C. Kurt, "Türkiye’de ulaştırma sektörü içerisinde lojistiğin yeri ve önemi," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Pr³⁺ Katkılı ZnO Nanoparçacıkların Hidrotermal Yöntemle Sentezi ve Karakterizasyonu

 Sevim DEMİRÖZÜ ŞENOL^{a*},  Melike İMAMOĞLU^a

^aKimya Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: demirozu_s@ibu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.816181

ÖZET

Bu çalışmada Praseodimyum(Pr³⁺) katkılı ZnO [Zn_{1-x}Pr_xO(x=0.01,0.02,0.03,0.04,0.05)] nanoparçacıklar kolay, hızlı ve verimli bir yöntem olan hidrotermal yöntem ile sentezlenmiştir. Sentezlenen nanoparçacıkların, kristal yapıları X-ışını kırınımıyla (XRD), yüzey morfolojileri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağıtıcı X-ışını dağılımlarıyla (EDX), optik özellikleri ise dağılıma yansıma (DRS UV-VIS) spektroskopisi kullanılarak karakterize edilmiştir. XRD karakterizasyonunda tüm Pr³⁺ katkılı ZnO örneklerinin hekzagonal (wurzite) yapıda olduğu, praseodimyum veya praseodimyumoksit'e ait herhangi bir kırınım pikinin oluşmadığı gözlemlenmiştir. SEM görüntülerinden ZnO'nin kristal yapısında Pr konsantrasyonu arttıkça daha yoğun ve daha kompakt halde olduğu görülmüştür. EDX sonuçlarından ise, sentezlenen örneklerin bileşiminde Zn, O ve Pr piklerinin varlığı tespit edilmiştir. Tüm numunelerin optik ölçümlerinden enerji bant aralıkları hesaplanmış ve hesaplanan enerji bant aralığı değerlerinin, praseodimyum konsantrasyonu ile arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çinko oksit, Hidrotermal metot, Optik özellikler, DRS_UV-VIS.

Synthesis and Characterization of Pr³⁺doped ZnO Nanoparticles by Hydrothermal Method

ABSTRACT

In this study, Pr doped ZnO [Zn_{1-x}Pr_xO (where x = 0.01,0.02,0.03,0.04,0.05)] nanoparticles with praseodymium (Pr³⁺) doped were synthesized by hydrothermal technique. The hydrothermal technique for the preparation of Pr doped ZnO nanostructures at different concentrations to an easy, fast and efficient method. The crystal structures, crystal morphologies and optical properties of synthesized nanoparticles were characterized by X-ray diffraction (XRD), Energy dispersive X-ray (EDX), surface morphology scanning electron microscope (SEM) and DiffuserefractanceUV-VIS spectroscopy. XRD studies showed that all Pr doped ZnO samples had hexagonal crystal structure and Pr³⁺ ions were successfully incorporated into ZnO nanostructures, and there were no peaks of Pr or praseodymiumoxide diffraction peaks in the pattern. From the SEM images, it was seen that ZnO becomes denser and more compact as the Pr concentration increases in the crystal structure. In the EDX results, the presence of Zn, O and Pr peaks in the composition of the synthesized samples were detected. Energy band gaps were calculated from the optical measurements of all samples and it was observed that the calculated energy band gap values increased with the praseodymium concentration.

Keywords: Zinc oxide, Hydrothermal method, Optical properties, DRS_UV-VIS

I. GİRİŞ

Nadir toprak metali veya üç değerlikli lantanit iyonları (Ln^{3+}) katkılı çinko oksit (ZnO) yarı iletken malzemeler, farklı optik özellikler göstermesinden dolayı oldukça ilgi çeken ve teknolojik cihaz uygulamalarında (düz panel, optoelektronik cihaz uygulamaları, v.b.) sıklıkla kullanılan önemli bir malzemedir. Nadir toprak metalleri, spektrumun görünür aralığında uzun ömürlülüğü ve 4f kabuk içi geçişlerden kaynaklanan dar ve yoğun emisyon hatları nedeniyle katkı maddeleri olarak seçilirler [1]. Bu nedenle, Ln^{3+} :Pr, Eu, Er, Yb...v.b. nadir toprak metali katkılı ZnO yarı iletken malzemeler üzerine yapılan araştırmalar son yıllarda hız kazanmıştır [2-16]. Düşük oranlarda Pr katkılanması bile, ZnO nanoyapıların, optoelektrik performansını, fotokatalitik aktivitesini, fotoelektrik ve lüminesans özelliklerini iyileştirebilmektedir [17-19]. Özellikle Pr^{3+} iyonu katkılanmasıyla ZnO tabanlı yarıiletken malzemelerin buharlaşma, faz saflığı oluşumu, tane büyümesi ve elektrik akımının etkin akışı gibi özelliklerindeki değişim etkileri kullanılarak Bi_2O_3 tabanlı ZnO varistörlerindeki dezavantajlar giderilmektedir [20-22]. Ayrıca, Pr^{3+} dalga boyu emisyonu maviden kızılötesi bölgeye kadar ayarlanabilir özelliğinden dolayı, ışık yayıcıların yanı sıra, varistör uygulamaları için fotovoltaiğe aşağı dönüştürücü bir malzeme olarak da kullanılabilir [23-27].

Genel olarak yarı iletken malzeme sistemlerinin elektriksel ve optik özelliklerinin iyileştirilmesinde, bazı Lantanit elementlerinin katkılanmasının yanı sıra sentez yöntemleri de önemli bir rol oynamaktadır. Şimdiye kadar bahsettiğimiz Pr^{3+} katkılı ZnO yarıiletken malzemeler; sol-jel [19,28], çöktürme [17], nebulizatör sprey tekniği [29], katı hal sentezi [30], basit sonokimyasal metot [31], magnetron püskürtme tekniği [1] gibi farklı yöntemlerle sentezlenmiştir. Bu yöntemler arasında hidrotermal yöntem ile sentezleme tekniği; verimli, düşük maliyetli, çevre açısından güvenli, düşük reaksiyon sıcaklığı ve katkı maddesi konsantrasyonu ile büyüme parametrelerinin kolay kontrolü gibi nedenlerden dolayı çokça kullanılmaktadır. Buna rağmen, literatür incelemesine dayanarak, Pr^{3+} iyonu katkılı ZnO yarıiletken malzemelerin hidrotermal yöntem kullanılarak sentezlendiği sadece bir çalışma bulunmaktadır [32]. Bu çalışmada, elektrokimyasal bir cihaz geliştirilmesinde kullanılan Pr^{3+} iyonu katkılı ZnO yarıiletken malzemenin 165°C 'de 6 saat süreyle iki farklı oranda katkılanmasıyla elde edildiği rapor edilmektedir. Dolayısıyla, hidrotermal yöntem kullanılarak farklı konsantrasyonlarda Pr^{3+} iyonu katkılı ZnO yarıiletken malzemelerin sentezlenmesi ve detaylı incelemesi mevcut değildir. Bu nedenle bu çalışmada, beş farklı konsantrasyon oranına sahip Pr^{3+} iyonunun ZnO 'e katkılanmasıyla oluşan yarıiletken malzemelerin yapısal ve optik özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

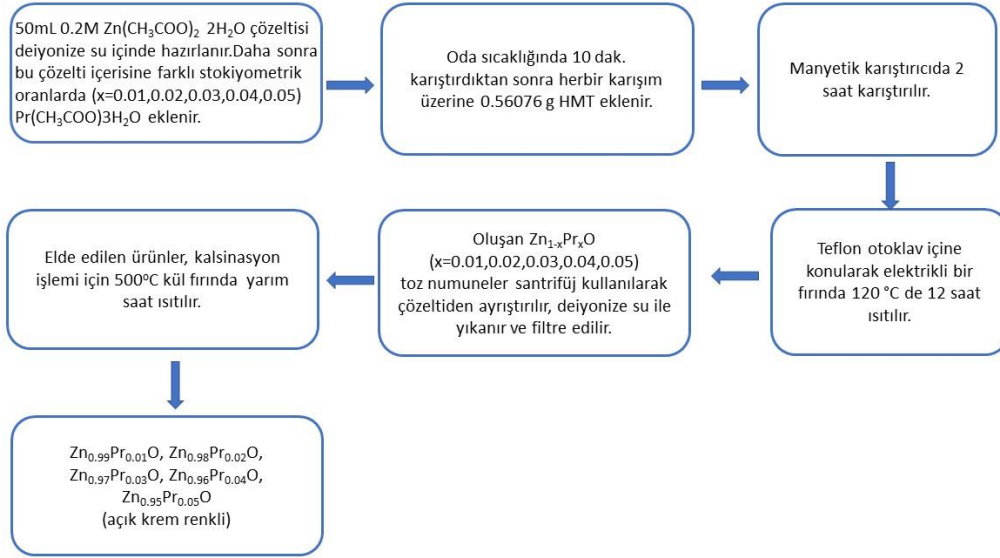
A. KİMYASALLAR

Bu çalışmada analitik saflıkta, çinko asetat dihidrat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Merck; %99.98), Praseodimyum(III)asetat hidrat ($\text{Pr}(\text{CH}_3\text{COO})_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) (Alfa Aesar; %99.99), heksametilentetraamin (HMT) (SigmaAldrich; %99.98) kimyasalları kullanılmıştır.

B. Pr^{3+} KATKILI ZnO NANOPARÇACIKLARIN SENTEZİ

Praseodimyum (Pr^{3+}) katkılı $\text{Zn}_{1-x}\text{Pr}_x\text{O}$ ($x=0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05$) nanoparçacıklar hidrotermal yöntem kullanılarak sentezlenmiştir. İlk olarak, 0.2 M çinko asetat ile eş molarlarda %1, %2, %3, %4 ve %5 lik Praseodimyum (III) asetat çözeltileri ultra saf su içinde ayrı ayrı çözülmüştür. Elde edilen çözeltiler 10dak. karıştırıldıktan sonra, her birine 0.56076 g heksametilentetraamin eklenmiş ve manyetik karıştırma altında 2 saat karıştırılmıştır. Daha sonra hazırlanan bu çözeltiler Teflon otoklav içine konularak elektrikli bir fırında 120°C de 12 saat ısıtılmıştır. Elde edilen Pr katkılı ZnO nanotozlar santrifüj kullanılarak çözeltiden ayrıştırılıp ve deiyonize su ile yıkanıp, oda sıcaklığında kurutulup daha sonra kalsinasyon işlemi için 500°C kül fırında yarım saat ısıtılmıştır. Oluşan açık

krem renkli nanotozlar yapılacak ölçümler için, sırasıyla $Zn_{0.99}Pr_{0.01}O$, $Zn_{0.98}Pr_{0.02}O$, $Zn_{0.97}Pr_{0.03}O$, $Zn_{0.96}Pr_{0.04}O$, $Zn_{0.95}Pr_{0.05}O$ olarak isimlendirilmiştir [33].



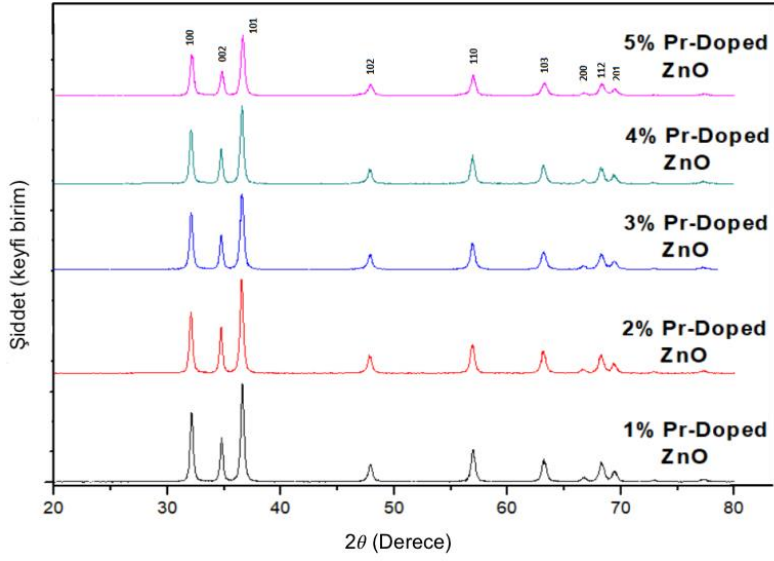
Şekil 1. Pr katkılı ZnO numunelerinin hidrotermal yöntemle üretim sürecinin akış şeması.

C. SENTEZLENEN ÖRNEKLERİN KARAKTERİZASYONU

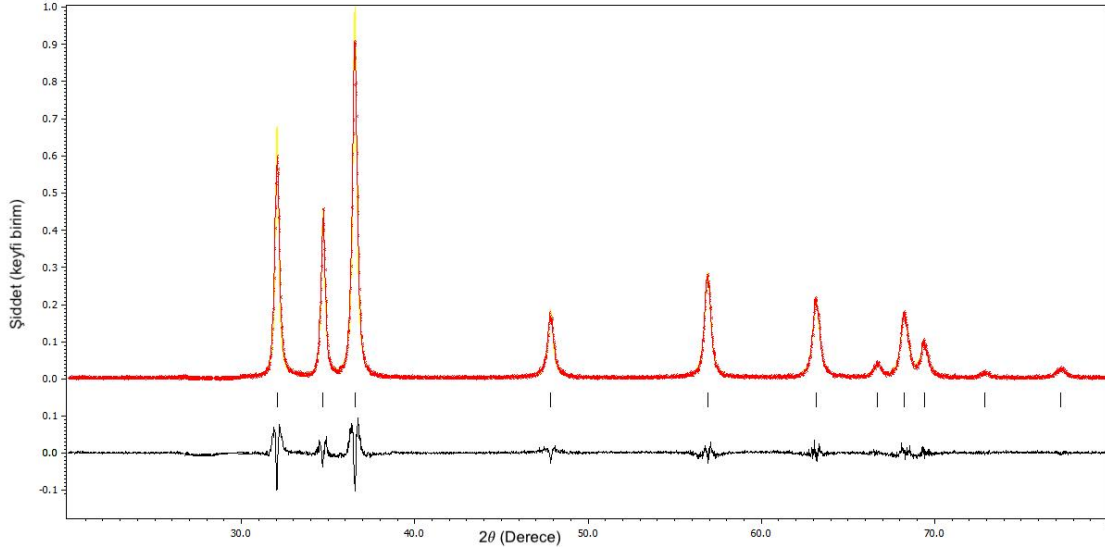
Hazırlanan örneklerin faz karakterizasyonu Rigaku Multiflex X-ışını toz kırınımı (XRD) cihazı ile $2\theta=20^{\circ}-80^{\circ}$ aralığında 0.02° basamak, $3^{\circ}/\text{dak}$. tarama hızında, $\text{CuK}\alpha:1,5406\text{\AA}$ radyasyonu kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen örneklerin yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM, JEOL 6390-LV) ve elementel analizi X-ışını enerji dağılımı (EDX) kullanılarak yapılmıştır. Örneklerin optik özellikleri ise Shimadzu 2600 UV- Spektrofotometre yardımıyla $300-900\text{ nm}$ aralığında ölçülmüştür.

III. BULGULAR

Şekil 2 farklı konsantrasyonlarda Pr^{3+} katkılanmasıyla oluşan $Zn_{1-x}Pr_xO$ ($x=0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05$) nanoparçacıkların X ışını toz difraksiyonu (XRD) desenlerini göstermektedir. Bu şekile göre, malzemelerin XRD desenlerinde herhangi bir safsızlığın olmadığı, (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112) ve (201) pik değerlerinin hegzagonal yapıdaki ZnO'ye ait standart veri kartındaki (ICDD Kart no.36-1451) piklerle uyumlu olduğu görülmüştür. Tüm Pr^{3+} katkı oranları için (101) piki diğer piklere oranla en güçlü pik olarak indekslenmiştir. Öte yandan tüm numunelere ait (101) pikinin şiddetleri karşılaştırıldığında, %2 praseodimyum katkılı numunenin (101) yöneliminin, diğerlerine oranla daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 2. $Zn_{1-x}Pr_xO$ ($x=0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05$) nanoparçacıkların XRD desenleri



Şekil 3. $Zn_{0.98}Pr_{0.02}O$ nanoparçacığın Rietveld (JANA 2006) analizine uygun XRD profili

X-ışını verilerinin kalite faktörleri (R_p , R_{wp}) ve en iyi fit değerleri (GOF) gibi parametreler X-ışını verilerinin Rietveld (JANA 2006) analizinden elde edilmiştir [34]. Buna göre, Rietveld analizinden elde edilen $Zn_{0.98}Pr_{0.02}O$ nanoparçacıklarının deneysel ve hesaplanan XRD desenlerinin üst üste binmesi Şekil 3'de verilmiştir. Altındaki eğri, gözlemlenen ve hesaplanan profiller arasındaki farkı göstermektedir. Kalite faktörleri (R_p , R_{wp}) ve en iyi fit (GOF) değerleri sırasıyla, (14.54, 21.05) ve (21.05) olarak Rietveld analizinden hesaplanmıştır [34]. ZnO 'nun tüm karakteristik pik değerlerinin hesaplanan eğri ile uyumlu olduğu ve bu sonuçların hesaplanan tüm numuneler için, birçok grup tarafından rapor edilene çok yakın olduğu tespit edilmiştir [17]. Bu sonuca göre elde edilen numunelerin XRD değerlerinin iyi tanımlandığı doğrulanmaktadır.

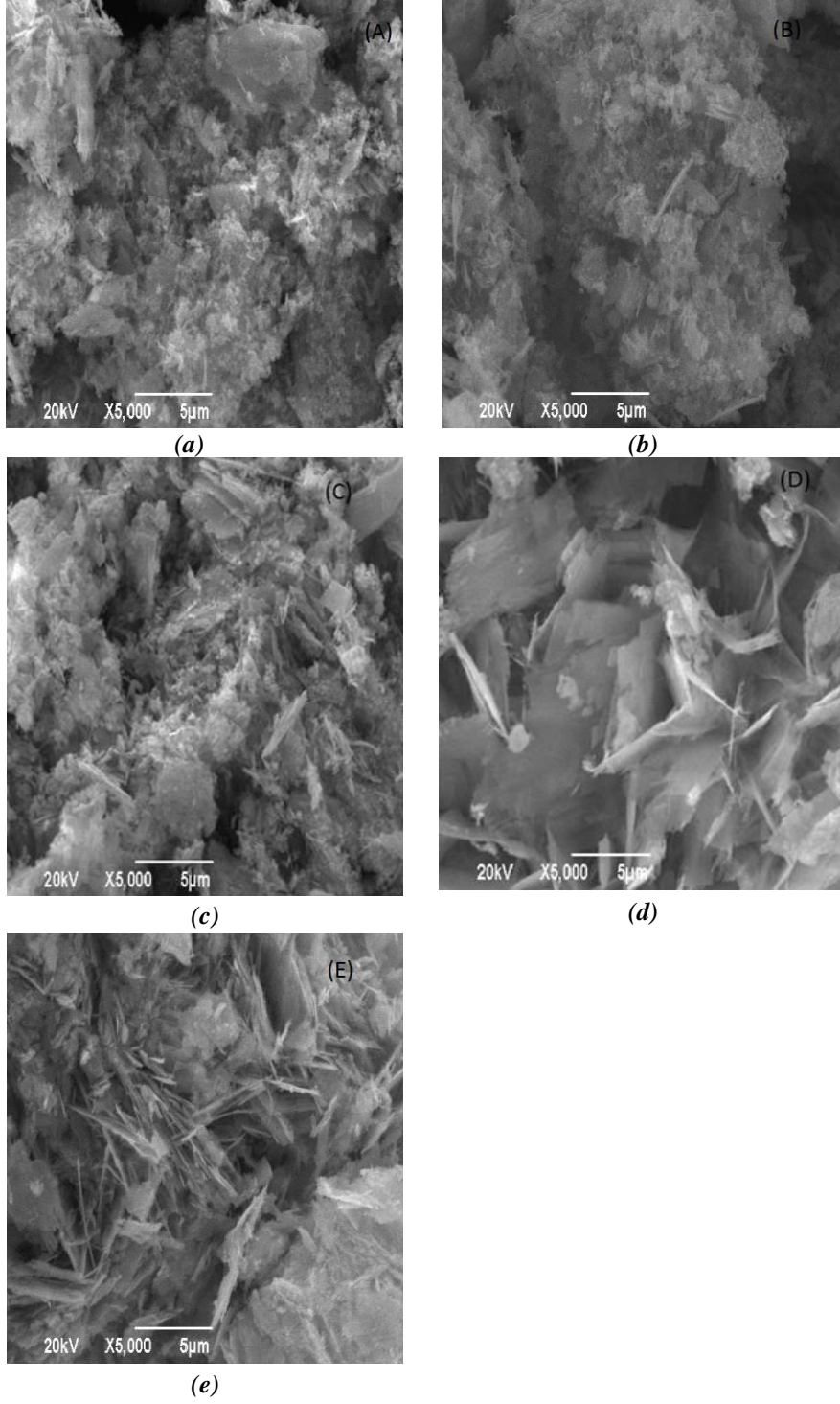
Elde edilen $Zn_{1-x}Pr_xO$ numunelerinin Debye-Scherrer denklemi [35] kullanılarak hesaplanan ortalama tanecik boyutu (D) değerleri ile birlikte örgü parametreleri (a, c), birim hücrenin hacmi (V), bağ uzunluğu (L) ve kristal örgü bozulma derecesi (R) değerleri XRD verilerine dayanarak hesaplanmış ve elde edilen veriler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: $Zn_{1-x}Pr_xO$ nanoparçacıkların farklı konsantrasyonlardaki ($x=0.01,0.02,0.03,0.04,0.05$) örgü Parametreleri (a,b,c ve c/a), ortalama tanecik boyutu(D),bağ uzunluğu (L), kristal örgü bozulma derecesi (R) ve birim hücrenin hacmi (V) verileri

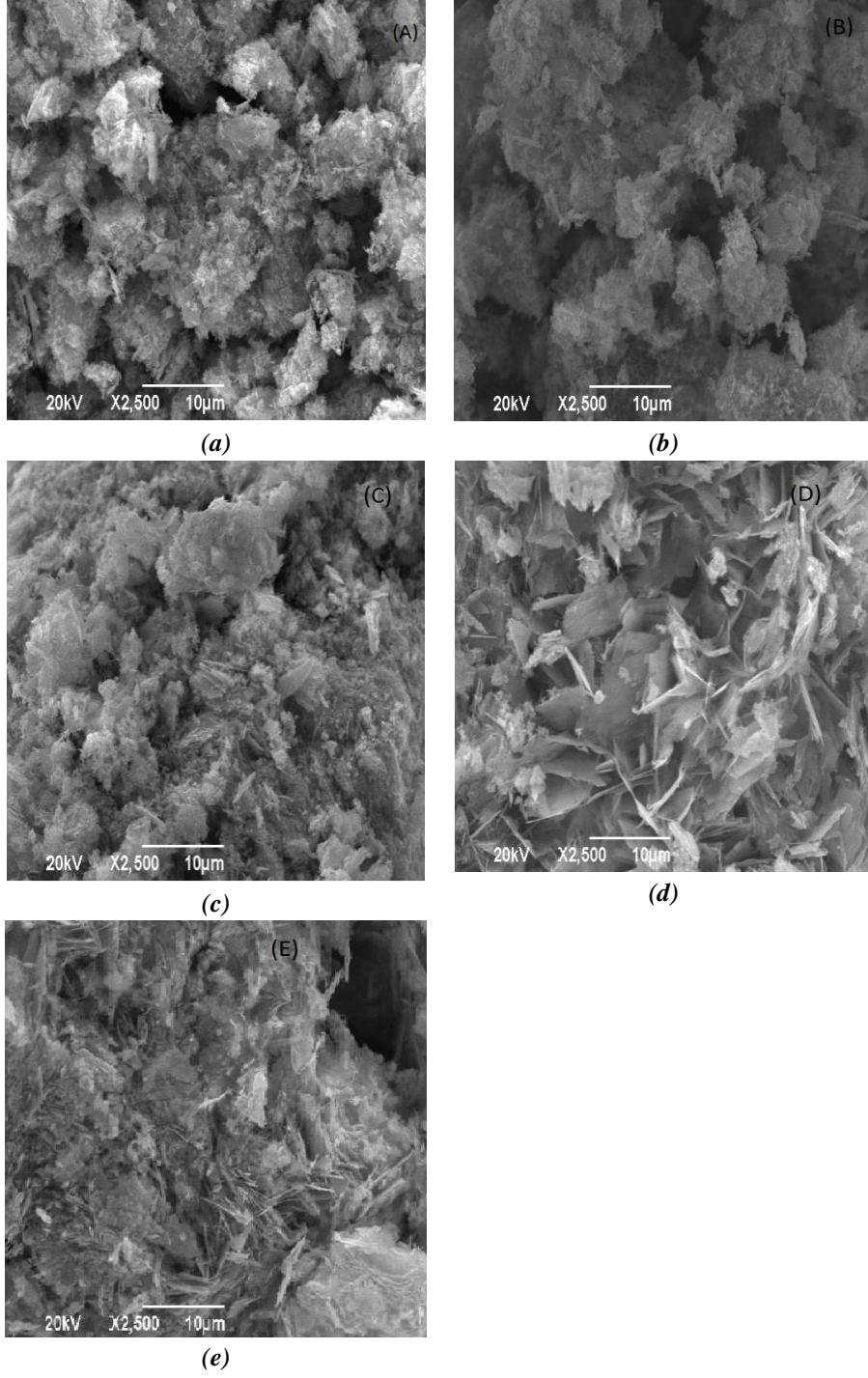
Malzeme ismi	a (Å)	c (Å)	c/a	D (nm)	$L(Zn-O)$ (Å)	R	V (Å ³)
$Zn_{0.99}Pr_{0.01}O$	3.214	5.156	1.604	22.21	1.987	1.017	46.12
$Zn_{0.98}Pr_{0.02}O$	3.220	5.164	1.603	21.39	1.993	1.018	46.36
$Zn_{0.97}Pr_{0.03}O$	3.218	5.162	1.604	20.44	1.989	1.018	46.28
$Zn_{0.96}Pr_{0.04}O$	3.219	5.162	1.603	20.73	1.990	1.018	46.31
$Zn_{0.95}Pr_{0.05}O$	3.212	5.152	1.603	17.81	1.986	1.018	46.02

Tablo 1'e göre a ve c örgü parametrelerinin her ikisi de, $Zn_{1-x}Pr_xO$ ($x=0.01,0.02,0.03,0.04,0.05$) yapılarında %2 lik Praseodimyum katkılı olduğunda artmış, diğer konsantrasyonlarda ise noktadan sonraki ikinci ve üçüncü haneye bağlı olarak hafif bir azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. c örgü parametresi değerlerinde ise, önce keskin bir artış gözlemlenirken, sonrasında yumuşak bir azalma ve $x=0.05$ Pr konsantrasyon oranı için keskin bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. ZnO örgü parametresindeki bu değişiklikler praseodimyum iyonları ile çinko iyonlarının yer değiştirmesinden kaynakladığı söylenebilir [31,36]. Ayrıca, Pr^{3+} katkı oranının artmasıyla tanecik boyutunun azaldığı açıkça görülmektedir. Bunun nedeni olarak, Pr^{3+} katkısının hem ZnO 'in kristal yapısına difüzyonunu, hem de Pr^{3+} 'ün (0.99Å) Zn^{2+} 'den (0.74Å) daha büyük bir iyonik yarıçapa sahip olmasından dolayı, ZnO kristallerinin büyümesini engellediği düşünülmektedir [31].

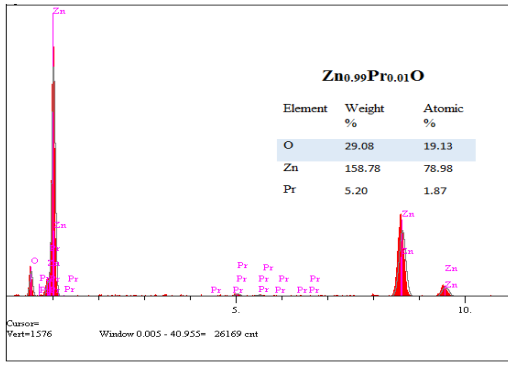
$Zn_{1-x}Pr_xO$ ($x=0.01,0.02,0.03,0.04,0.05$) nanoparçacıkların 5μ ve 10μ büyüklükteki SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir. Ayrıca Şekil 6 tüm numunelerin EDX sonuçlarını göstermektedir. Tüm numunelerde parçacıkların düzensiz olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca ZnO mikroyapısındaki dağılım Pr^{3+} konsantrasyonu arttıkça daha yoğun ve daha kompakt hale dönüştüğü açıkça görülmektedir. Bunun XRD sonuçlarıyla teyit edilen tane boyutundaki azalma ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. Praseodimyum iyonları ZnO 'nun boşluk bölgelerinde çekirdekleşme merkezleri olarak işlev görür ve bu nedenle, praseodimyum iyonlarının ortalama tanecik boyutunda bir azalmaya neden olabilir. Ayrıca verilen EDX görüntülerinde ise sentezlenen örneklerin bileşiminde Zn, O ve Pr piklerinin varlığı tespit edilmiştir.



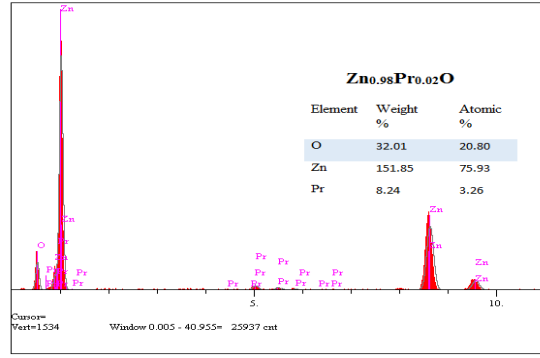
Şekil 4. (a) $Zn_{0.99}Pr_{0.01}O$ (b) $Zn_{0.98}Pr_{0.02}O$ (c) $Zn_{0.97}Pr_{0.03}O$ (d) $Zn_{0.96}Pr_{0.04}O$ (e) $Zn_{0.95}Pr_{0.05}O$ nanoparçacıkların 5μm büyüklükteki SEM görüntüleri.



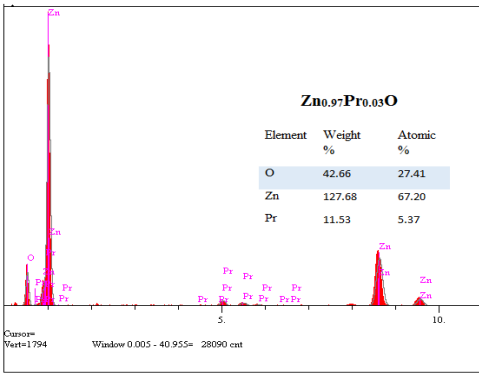
Şekil 5. (a) $Zn_{0.99}Pr_{0.01}O$ (b) $Zn_{0.98}Pr_{0.02}O$ (c) $Zn_{0.97}Pr_{0.03}O$ (d) $Zn_{0.96}Pr_{0.04}O$ (e) $Zn_{0.95}Pr_{0.05}O$ nanoparçacıkların $10 \mu m$ büyüklükteki SEM görüntüleri.



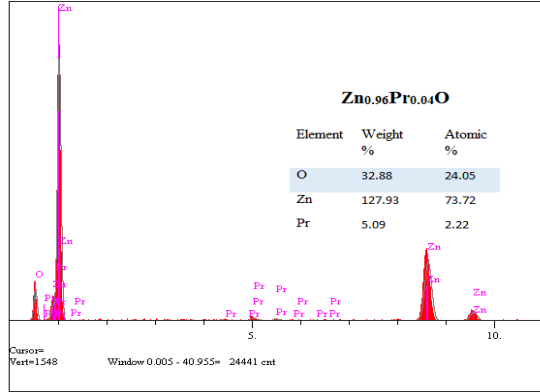
(a)



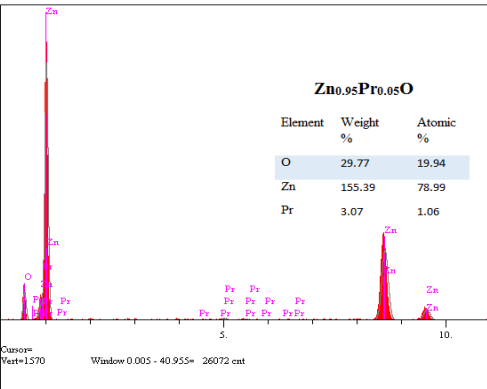
(b)



(c)



(d)



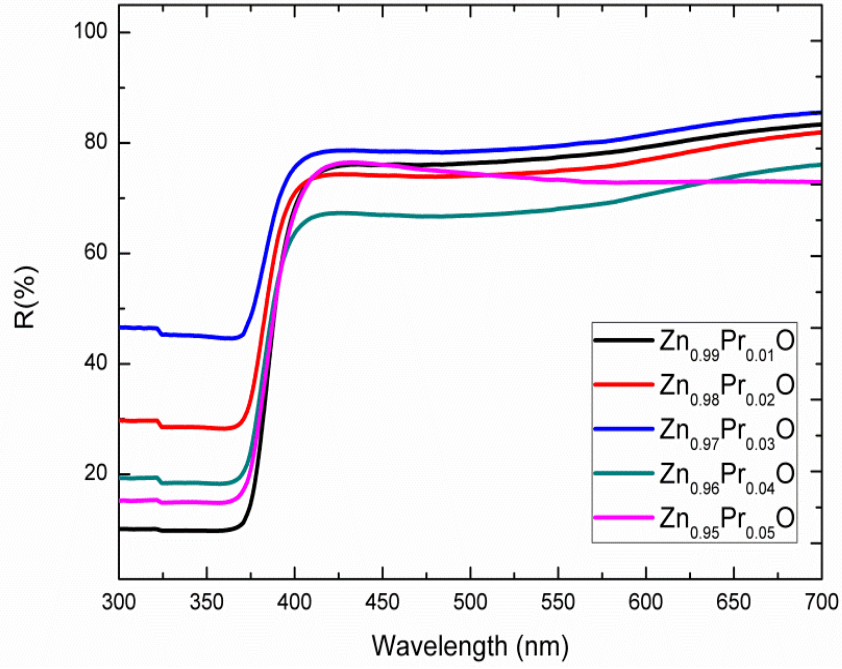
(e)

Şekil 6. (a) $Zn_{0.99}Pr_{0.01}O$, (b) $Zn_{0.98}Pr_{0.02}O$, (c) $Zn_{0.97}Pr_{0.03}O$, (d) $Zn_{0.96}Pr_{0.04}O$, (e) $Zn_{0.95}Pr_{0.05}O$ nanoparçacıklara ait EDX sonuçları

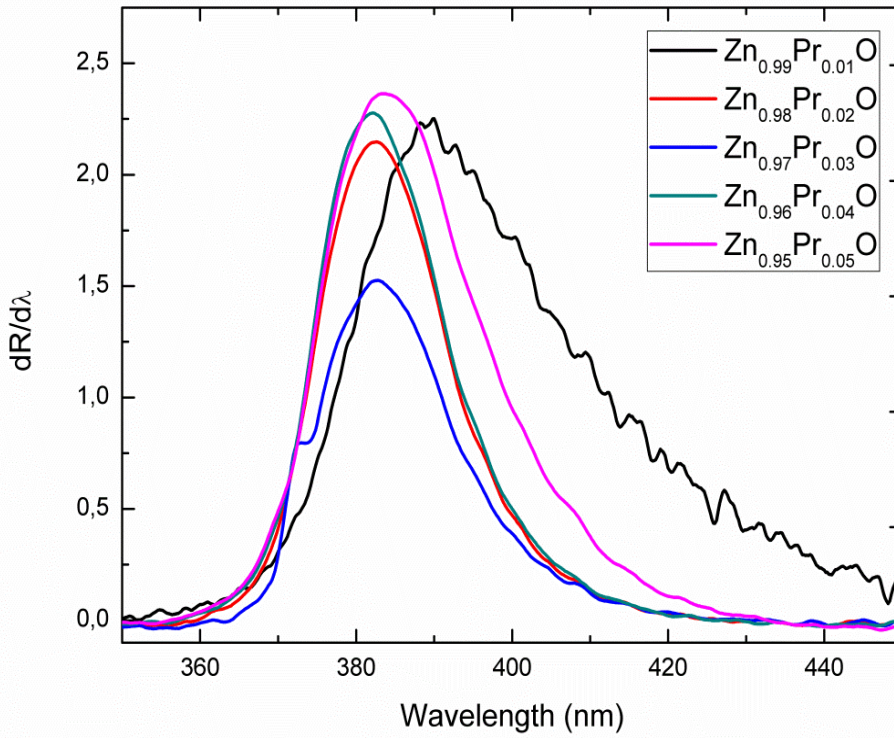
Yarıiletkenlerin optik özellikleri, UV-VIS yansımaya (reflectance) spektrofotometresiyle belirlenir. Dağınık yansımaya yöntemi olarak da adlandırılan bu yöntem daha çok toz örnekler için kullanılan önemli bir metottur. Yarı iletkenlerin yansımaya spektrumları bant boşluğu, yüzey pürüzlülüğü, safsızlık merkezleri ve oksijen eksikliği gibi faktörlere bağlıdır.

$Zn_{1-x}Pr_xO$ ($x=0.01,0.02,0.03,0.04,0.05$) nanoparçacıkların UV-görünür dağılıma yansımaya spektrumları 300-700 nm aralığında Şekil 7’te sunulmuştur. Tüm numunelerin, 375nm ile 380 nm dalga boyu arasındaki bölgede keskin bir düşüşe sahip olduğu ve 380 nm üzerindeki bölgede ise yansımaya oranlarının %70 ile %85 arasında değiştiği görülmektedir. Praseodimyum konsantrasyonunun artmasıyla ($x=0.01-0.04$) bu yansımaya oranının dalga boyu arttıkça artış eğiliminde olduğu, $x=0.05$ katkılı numune için azaldığı görülmüştür. Şekil 7 yakından incelendiğinde, numunelerin yansımaya kenarlarının daha düşük dalga boylarına (daha yüksek enerji) kaydığı, yani artan Pr içeriğiyle mavi

dalga boyuna bir kayma olduğu anlamına gelir. Yansımanın maviye-kayması, Pr konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak bant aralığında genişlemeye neden olması beklenir.



Şekil 7. $Zn_{1-x}Pr_xO$ ($x = 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05$) nanopartiküllerinin dağılma-yansıma spektrumu



Şekil 8. $Zn_{1-x}Pr_xO$ ($x = 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05$) nanopartiküllerinin dalga boyunun bir fonksiyonu olarak $dR/d\lambda$ grafikleri

Bu durumu belirlemek amacıyla, sentezlenen numunelerin enerji bant aralıkları (E_g) Şekil 8’de verilen diferansiyel yansımaya ($dR/d\lambda$) karşı dalgaboyu (λ) eğrilerinin maksimum değerlerinden aşağıda belirtilen formül kullanılarak hesaplanmıştır;

$$E_g = \frac{hc}{\lambda_{\max}} \quad (1)$$

Buna göre, $Zn_{1-x}Pr_xO$ ($x = 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05$) nanoparçacıkların enerji bant değerleri sırasıyla 3.229eV, 3.240eV, 3.241eV, 3.244eV, 3.245eV olarak bulunmuştur. Buradan görüleceği üzere, praseodimyum konsantrasyonu arttıkça, enerji bant aralıkları genişlemektedir. Bu durum Şekil 7’de elde edilen maviye kaymanın bant aralığına etkisini göstermektedir. Bu olay literatürde Burnstein-Moss etkisi olarak adlandırılmaktadır [37].

IV. SONUC

Bu çalışmada Praseodimyum katkılanmasının çinko oksitin yapısal ve optik özellikleri üzerindeki etkileri, hidrotermal yöntem ile sentezlenmiş ve $Zn_{0.99}Pr_{0.01}O$, $Zn_{0.98}Pr_{0.02}O$, $Zn_{0.97}Pr_{0.03}O$, $Zn_{0.96}Pr_{0.04}O$, $Zn_{0.95}Pr_{0.05}O$ olarak isimlendirilen numuneler ile incelenmiştir. Bu numunelerin kristal yapısının hekzagonal yapıda olduğu X-ışını kırınım desenleri ile doğrulanmıştır. Ayrıca tüm numunelerin XRD deseninde ortaya çıkan (101) pik şiddetinin, $Zn_{0.98}Pr_{0.02}O$ numunesinde diğer numunelere oranla daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. XRD analizine ek olarak $Zn_{0.98}Pr_{0.02}O$ numunesinin Rietveld analizi yapılmış ve iyileştirme parametreleri elde edilmiştir. Numunelerin morfolojisi SEM görüntüleri ile incelenmiş ve Praseodimyum katkısının artışı ile daha yoğun ve kompakt halde geldiği gözlemlenmiştir. Numunelerin optik ölçümleri UV-VIS yansıma (reflectance) spektrofotometresi kullanılarak ölçülmüştür. Optik ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre, Praseodimyum konsantrasyonunun artmasıyla numunelerin dağılım yansıma spektrumlarının maviye kaydığı ve bundan dolayı numunelerin enerji bant aralıklarının arttığı tespit edilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] R. S. Sreedharan, R. Vinokumar, I. Navas, R. Prabhu ve V. P. Mahadevan Pillai, “Influence of Pr doping on the structural, morphological, optical, luminescent and non-linear optical properties of RF-sputtered ZnO films,” *The Minerals, Metals and Mater. Society* c. 68, s.1, ss. 341-350, 2016.
- [2] D. Kouyate, J. C. R. Haret ve J. Kossanyi “Electroluminescence of rare earths-doped semi conducting zinc oxide electrodes: Kinetic aspects of the energy transfer between Sm^{3+} and Eu^{3+} ” *J. Lumin.*, c. 55, ss. 209-216, 1993.
- [3] Y. Hayashi, H. Narahara, T. Uchida, T. Noguchi ve S. Ibuki, “Photoluminescence of Eu-doped zinc phosphors,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, c. 34, ss. 1878, 1995.
- [4] S. Bachir, K. Azuma, J. Kossanyi, P. Valat ve J.C.R. Haret, “Photoluminescence of polycrystalline zinc oxide co-activated with trivalent rare earth ion and lithium. Insertion of rare earth ions into zinc oxide,” *J. Lumin.*, c. 75, ss. 35, 1997.
- [5] S. Bhushan, A. N. Pandey ve B. R. Kaza, “Photo- and electroluminescence of undoped and rare earth doped ZnO electroluminors,” *J. Lumin.*, c. 20, ss. 29, 1979.
- [6] K. Yu, J. Shi, Z. Zhang, Y. Liang ve W. Liu, “Synthesis, characterization, and photocatalysis of ZnO and Er-Doped ZnO,” *J. of Nanomaterials*, c. 2013, ss. 1-5, 2013.

- [7] R. Zamiri, A. Kaushal, A. Rebelo ve J. M. F. Ferreira, "Er doped ZnO nanoplates: Synthesis, optical and dielectric properties," *Ceramics International*, c. 40, s. 1B, ss.1635-1639, 2014.
- [8] R. Zamiri, A. F. Lemos, A. Rebelo, H. A. Ahangar ve J. M. F. Ferreira, "Effects of rare-earth (Er, La and Yb) doping on morphology and structure properties of ZnO nanostructures prepared by wetchemical method," *Ceramics International*, c. 40, s. 1A, ss. 523-529, 2014.
- [9] S. D. Senol, "Hydrothermal derived nanostructure rare earth (Er, Yb)-doped ZnO: structural, optical and electrical properties," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, c. 27, ss. 7767-7775, 2016.
- [10] G. Zhengguang, C. Shouhong ve Y. Ping, "Electronic and optical Properties of Al, Eu Single-Doped and Al-EuCo-Doped ZnO," *Jom*, c. 73, s. 1, ss. 373-379, 2021
- [11] J. L. Friero, C. Guillaume, J. Lopez-Vidrier, O Blázquez, S. González-Torres, C. Labbé, S. Hernández, X. Portier ve B. Garrido, "Toward RGB LEDs based on rareearth-doped ZnO," *Nanotechnology*, c. 31, s. 46, ss. 465207, 2020.
- [12] S. Fuentes, R. Espinoza-Gonzalez, M. Rosales, J. León, "Effects of Eu^{3+} on the morphological, structural and optical properties of $\text{BaTiO}_3@ZnO$:Eunanoparticles," *Journal of Alloys and Compounds*, c. 846, ss. 156452, 2020.
- [13] L. Arda, "The effects of Tb doped ZnO nanorod: An EPR study," *J. Of Magnetism and Magnetic Materials*, c. 475, ss. 93-501, 2019.
- [14] S. Kaya, D. Akcan, O. Ozturk ve L. Arda, "Enhanced mechanical properties of yttrium doped ZnO nanoparticles as determined by instrument edindentation technique," *Ceramic Int.*, c. 44, s. 9, ss.10306-10314, 2018
- [15] E. Asikuzun, O. Ozturk, L. Arda ve C. Terzioğlu, "Microstructural and electrical characterizations of transparent Er-doped ZnO nanothin films prepared by sol-gel process," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, c. 28, s. 19, ss.14314-14322, 2017.
- [16] E. Asikuzun ve O. Ozturk, "Comparison of theoretical and experimental microhardness of tetrahedral binary $\text{Zn}_{1-x}\text{Er}_x\text{O}$ semiconductor polycrystalline nanoparticles," *Ceramic Int.*, c.45, s.4, ss.4176-4183, 2019.
- [17] J. L. Chen, N. Devi, N. Li, D. J. Fuand ve X. W. Ke, "Synthesis of Pr-doped ZnO nanoparticles: Their structural, optical, and photocatalytic properties," *Chin. Phys. B*, c. 27, s.8, ss.086102, 2018.
- [18] V. Bhardwaj, A. Kumar, R. Chowdhury ve R. Jayaganthan, "Nanoindentation and nanoscratch behavior of ZnO: Pr thin films deposited by DC sputtering," *Journal of Materials Research*, c. 33, s.17, ss. 2533-2544, 2018.
- [19] I. Ahmad, M. S. Akhtar, E. Ahmed ve M. Ahmad, "Facile synthesis of Pr-doped ZnO photocatalyst using sol-gel method and its visible light photo catalytic activity," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, c. 31, ss. 1084-1093, 2020.
- [20] M. H. Wang, Z. Y. Zhao ve T. T. Liu, "Synthesis of Pr-doped ZnO nanoparticles by sol-gel method and varistor properties study," *Journal of Alloys and Compounds*, c. 621, s. 5, ss. 220-224, 2015.

- [21] W. R. W. Abdullah, A. Zakaria ve M. S. M. Ghazali, "Synthesis mechanism of low-voltage praseodymium oxide doped zinc oxide varistor ceramics prepared through modified citrate gel coating," *Int. J. Mol. Sci.*, c. 13, ss. 5278-5289, 2012.
- [22] Y. Inoue, M. Okamoto, T. Kawahara ve J. Morimoto, "Photoacoustic spectra on Pr doped ZnO powders," *Journal of Alloys and Compounds*, c. 408-412, s. 9, ss. 1234-1237, 2006.
- [23] P. Ilanchezhiyan, G. M. Kumar, M. Subramanian ve R. Jayavel, "Effect of Pr doping on the structural and optical properties of ZnO nanorods," *Mater. Sci. Eng. B*, c. 175, ss. 238-242, 2010.
- [24] S. M. C. Miranda, M. Peres, T. Monteiro, E. Alves, H. D. Sun, T. Gerschke, R. Vianden ve K. Lorenz, "Rapid thermal annealing of rare earth implanted ZnO epitaxial layers," *Opt.Mater.*, c. 33, ss. 1139-1142, 2011.
- [25] M. Balestrieri, M. Gallart, M. Ziegler, P. F. Bazylewski, G. Ferblantier, G. Schmerber, G. S. Chang, P. Gilliot, D. Muller, A. Slaoui, S. Colis ve A. Dinia, "Luminescent properties and energy transfer in Pr³⁺ doped and Pr³⁺-Yb³⁺ co-doped ZnO thin films," *J. Phys. Chem.C*, c. 118, ss. 13775-13780, 2014.
- [26] K. Mukae, A. Ohi ve A. Tanaka, "Electronic interface states at grain boundaries in ZnO:Pr varistors by single grain boundary measurements," *J. Eur. Ceram. Soc.*, c. 2, ss.1871-1874, 2001.
- [27] W. J. Sun, R. Yang, X. Qu, M. H. Wang ve H. P. Zhang, "Microstructure and varistor properties of Pr-Coco-doped ZnO ceramics obtained by sol-gel method," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, c. 28, ss.10166-10172, 2017.
- [28] F. I. H. Rhouma, F. Belkhiria, E. Bouzaiene, M. Daoudi, K. Taibi, J. Dhahrib ve R. Chtouroua, "The structure and photoluminescence of a ZnO phosphor synthesized by the sol gel method under praseodymium doping," *RSC Adv.*, c. 9, ss. 5206-5217, 2019.
- [29] K. Deva, A. Kumar, R. Thomas, S. Valanarasu, V. Ganesh, M. Shkir, S. AlFaify ve J. Thirumalai, "Analysis of Pr co-doped Al:ZnO thin films using feasible nebulizer spray technique for optoelectronic technology," *Applied Physics A*, c. 125, ss. 712, 2019.
- [30] N. K. Divya ve P. P. Pradyumnan, "Photoluminescence quenching and photo catalytic enhancement of Pr-doped ZnO nanocrystals," *Bull. Mater. Sci.*, c. 40, s. 7, ss.1405-1413, 2017.
- [31] A. Khataee, A. Karimi, S. Arefi-Oskoui, R. Darvishi Cheshmeh Soltani, Y. Hanifehpour, B. Soltani ve S. W. Joo, "Sonochemical synthesis of Pr-doped ZnO nanoparticles for sonocatalytic degradation of AcidRed 17," *Ultrasonic Sonochem.*, c. 22, ss. 371-381, 2015.
- [32] K. Summaiyya; K. Amit, A. A.Khan, T. Athar, H. Fouad, Z. A. Ansari, S. H. Kee ve S. G. Ansari, "Electrochemical nanodevice based on Praseodymium doped zinc oxide synthesized by hydrothermal method," *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, c. 12, s. 3, ss. 236-241, 2017.
- [33] M. İmamoglu, "Synthesis and characterization of ZnO based semiconductors with doped rare earth metals," Yüksek lisans tezi, Kimya, Fen bilimleri Enstitüsü, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, Türkiye, 2019.
- [34] V. Petricek, M. Dusek ve L. Palatinus, "JANA2006, the crystallographic computing system" *Z. Kristallogr.*, c. 229, s. 5, ss.345, 2014.
- [35] V. Biju, N. Sugathan, V. Vrinda ve S. L. Salini, "Estimation of lattice strain in anocrystalline Silver from X-ray diffraction line broadening," *J. Mater. Sci.*, c. 43, ss. 1175-1179, 2008.

- [36] V.Vaiano, M. Matarangolo, O.Sacco ve D. Sannino,“Photocatalytic treatment of aqueous solutions at high dye concentration using praseodymium-doped ZnO catalysts,” *Appl. Catal. B.*, c. 209, ss. 621, 2017.
- [37] E. Burnstein,“Anomalous optical absorption limit in InSb,” *Physics Review*, c. 93, ss. 632, 1954.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

İç Mekân Konfor Şartlarının AVM (Alışveriş Merkezi) Çalışanları Üzerindeki Etkileri

 Ebru İLDEŞ,  F. Dila TAŞDEMİR,  Filiz UMAROĞULLARI^{a,*}

^a*Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Trakya Üniversitesi, Edirne, TÜRKİYE*

^{*}*Sorumlu yazarın e-posta adresi: filizu@trakya.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.755756

ÖZET

İklim koşullarından etkilenmeden alışveriş, eğlenme, sosyalleşme gibi fonksiyonlara tek bir mekânda erişebilme imkânı sunması nedeniyle kapalı alışveriş merkezleri günümüzde yaşamın bir parçası haline gelmiştir. Ancak konforlu iç mekân koşulları sağlamak amacıyla bu mekânlar gün boyu yapay aydınlatma ve iklimlendirme sistemleri ile desteklenmektedir. İnsanların fizyolojik ve psikolojik dengesinde önemli rol oynayan günışığından yeterince faydalanamayan bu mekânlarda çalışan kişilerde kronik hale gelen bazı sağlık sorunları görülmesi olasıdır. Alışveriş merkezi (AVM) kullanıcıları kısıtlı bir zaman içerisinde bu koşullara maruz kalırken AVM çalışanları gün boyu bu koşullardan etkilenmektedir. Bu çalışma ile AVM'lerde çalışanların fiziksel konfor değerlendirmesi yapılarak, konfor parametrelerinin kullanıcıya etkileri bağlamında çıkarımlar elde etmek, yeterli konfor düzeyine ulaşılabilirlik konusunda önerilerde bulunarak, sağlıklı bir toplumsal yaşam için katkı sağlamak amaçlanmıştır. Bu amaçla örneklem olarak Edirne'de seçilen 500 kişilik çalışan grubu olan bir AVM'de çalışanların iç ortamın ısı konfor, iç hava kalitesi, görsel ve işitsel konfor durumlarını belirlemek amacıyla 240 katılımcıya anket uygulanmış ve elde edilen sonuçların istatistiksel analizi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda AVM çalışanlarının %26,7'si ısı konforunun uygun bulmamıştır. ASHRAE 55'e göre %80, TS EN ISO 7730'a göre %90'ın ortam koşullarından memnun olduğu durum konforlu olarak kabul edilmektedir. Bu durumda AVM'nin ısı konfor durumu uygun değildir. İç hava kalitesi açısından çalışanların %21-37 oranında rahatsızlık duyduğu ve bu durumun çalışılan mağaza türü, kat ve sigara içme gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Görsel konfor açısından çalışanların %65'inin gün içerisinde gün ışığından yeteri kadar faydalanamadığı ancak yapay aydınlatma koşullarını %67 oranında uygun bulduğu görülmüştür. İşitsel konfor açısından çalışanların %80'i memnun değildir. Gürültü kaynağının ise çoğunlukla iç ortam kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır. Atriumlu kapalı planlı bir AVM örneğinde gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda tasarım ve planlama aşamasında doğal havalandırma ve aydınlatma çözümlerine önem verilmesi çalışanlarının işlerini daha sağlıklı ve verimli bir şekilde sürdürebilmesi açısından önemlidir.

Anahtar Kelimeler: *Isıl konfor, İç hava kalitesi, Görsel konfor, İşitsel konfor, AVM*

The Effects of Indoor Comfort Conditions on the Employees in the Shopping Malls

ABSTRACT

Closed shopping malls (SM) have become a part of life today as it offers access to functions such as shopping, entertainment and socialization without being affected by climate conditions in a single place. However, these spaces are supported by artificial lighting and air conditioning systems throughout the day in order to provide comfortable interior conditions. It is possible to see some chronic health problems in these people who do not

benefit enough from daylight, which plays an important role in the physiological and psychological balance of people. Shopping malls users are exposed to these conditions within a limited time, while SM employees are affected by these conditions throughout the day. With this work, by evaluating the physical comfort of employees in shopping malls, obtaining inferences in the context of the effects of comfort parameters to the user, and making recommendations on the availability of adequate level of comfort, it is aimed to contribute to a healthy social life. For this purpose, a questionnaire was applied to 240 participants in order to determine the thermal comfort, indoor air quality, visual and auditory comfort conditions of the employees in a shopping mall with 500 employees selected as a sample in Edirne and the results obtained were statistically analyzed. As a result of the study, 26.7% of the shopping mall employees did not find thermal comfort suitable. The situation where 80% according to ASHRAE 55 and 90% according to TS EN ISO 7730 are satisfied with the ambient conditions is considered comfortable. In this case, the thermal comfort condition of the shopping mall is not suitable. In terms of indoor air quality, it has been determined that 21-37% of employees feel uncomfortable and this situation varies depending on factors such as the type of store they work, floor and smoking. In terms of visual comfort, it was observed that 65% of the employees could not benefit from daylight sufficiently during the day but found the artificial lighting conditions suitable by 67%. 80% of the employees are not satisfied in terms of auditory comfort. It is understood that the noise source is mostly indoor. As a result of this study carried out in an example of a shopping mall with an atrium in a closed plan, it is important to give importance to natural ventilation and lighting solutions in the design and planning phase in order for employees to continue their work in a healthier and more efficient way.

Keywords: Thermal comfort, Indoor air quality, Visual comfort, Acoustic comfort, Shopping malls

I. GİRİŞ

Konfor mekân kullanıcılarının memnuniyetinin belirtisidir. İnsanların sağlıklı ve mutlu bir hayat sürebilmesi için yapıların sıcaklık, nem, iç hava kalitesi, aydınlatma, ses ile ilgili konularda optimum koşulları sağlaması gerekmektedir [1-3]. İç mekân konfor koşulları sürdürülebilirliğin ana unsurlarından olup kullanıcılar için iyi bir yaşam kalitesinin sağlanmasında da en önemli etkenlerdendir. Ancak bu koşullar sağlanırken sürdürülebilirliğin gerekliliklerinden biri olan en az enerji kullanımı ile sağlanmasına yönelik çözümlerin mimari tasarıma aktarılması da büyük önem taşımaktadır [4]. Yapıların fonksiyonu ile örtülecek şekilde ısı, nem, hava kalitesi, ışık, ses vb. parametrelerin belirli değerlerde olması zorunludur. Bu konfor parametreleri; ısıl konfor, iç hava kalitesi, görsel konfor, işitsel konfor olarak sınıflandırılabilir [5-6].

Isıl konforu genel olarak çevresel ve kişisel parametreler belirler. Ortam sıcaklığı, bağıl nemi, hava hızı ve ortalama radyan sıcaklık çevresel parametreler olarak adlandırılır; kişisel parametreler ise kişinin metabolik aktivite seviyesi ve giysilerinin yalıtım değeri ile belirlenir [7-8]. ASHRAE 55 standardına göre konfor aralıkları; kışın sıcaklık 20°C ile 23,6°C, bağıl nem %30-65 arası ve hava akış hızının <0,15 m/sn, yazın ise sıcaklık 22,8 °C ile 26,1°C, bağıl nem %20-60 arası ve hava akış hızı >0,25 m/sn olarak kabul edilmektedir [9]. İnsan vücudu, bulunduğu ortamın iklim koşullarından hızlı bir şekilde etkilenerek düşük ve yüksek hava sıcaklıklarına karşı tepki gösterir. Ortamın yüksek sıcaklıkta olması kişilerde yorgunluk hissi ve uyuklamaya neden olmakta, düşük sıcaklıktaki ortamlar ise; motivasyon eksikliği, bedensel ve zihinsel verimin düşmesine sebep olmaktadır [10] Ortamda bağıl nem oranının yüksek olması ise toz akarlarının ve küf mantarlarının çoğalmasına neden olarak alerjik reaksiyonlar başta olmak üzere, nefes alıp vermede zorlanma, hırıltılı soluma, burun ve geniz akıntısı, hapşırma, öksürme, kaşıntı, gözde sulanma, baş dönmesi, aşırı yorgunluk, deri ve saçlarda kuruma gibi belirtilerle insan sağlığını olumsuz şekilde etkiler[11]. Nem oranının düşük olduğu ortamda ise statik elektrik artarak tozların havada asılı kalmasına ve insanlarda nefes alma zorluğuna yol açar [10]. İç ortama ait bu nesnel parametrelerin yanı sıra kullanıcıların cinsiyeti ve yaşı gibi birçok faktöre bağlı olarak konfor durumu değişmektedir. PMV-PPD modeli ısıl konfor için bir endeks olarak kabul edilmektedir. Fanger tarafından oluşturulan ve ASHRAE modeliyle örtüşen PMV modelinde, ideal durumu 0 olan -3 ile +3 arasındaki rakamlardan oluşan 7 adımlı indeks tanımlanarak, bireyin psikofiziksel ısıl duyarlılığını ölçmek amaçlanmıştır. İdeal duruma (0'a) yaklaştıkça indeks mutlak değeri küçülüp, ideal durumdan uzaklaştıkça indeks mutlak değeri büyümektedir. Fanger, 7 nokta termal duyarlılık ölçeği ile bir topluluk için en az %80'inin memnuniyetini sağlayacak konfor sıcaklığını bulmayı amaçlamıştır ve +1, 0, -1 oyları konforlu olarak belirtilmiştir [12]. ASHRAE 55 standardına göre, iç mekân kullanıcılarının

%80'inin, TS EN ISO 7730'da ise %90'ının konfor koşullarını uygun kabul ettiği durum konforlu kabul edilir [9-16]. Isıl konfor aynı zamanda mekân kullanıcılarının verimliliği ve üretkenliği üzerinde de önemli bir etkidir [17-19].

Konforlu bir yaşam ortamı sağlayabilmek için yalnızca ısıl konforun uygun düzeyde olması yeterli değildir. İç ortam havasında insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen kirleticilerin belirli seviyeleri aşmaması beklenir. ASHRAE 55 standardına göre CO₂ seviyesinin 1000 ppm değerini aşmaması ve partikül madde miktarının 75µg/m³'den küçük olması gerekmektedir [9]. Yapılan çalışmalar, iç ortam havasının, dış havanın kirlilik seviyesinden çok daha fazla kirli olabileceğini ve insan sağlığına zararlı gaz ve partiküller içerdiğini kanıtlamıştır [20]. Kirleticiler, dış ortamda oluşup iç ortama girebileceği gibi iç mekân kaynaklıda olabilir. Dış ortam kaynaklı hava kirleticileri; biyolojik kirleticiler, uçucu organik bileşikler, SO_x (kükürt oksitler), O₃ (ozon), çoğunlukla motorlu taşıtların sebep olduğu kurşunlu bileşikler, hidrokarbonlar ve benzen, NO_x (azot oksitler), karbonlu bileşenler ve Rn (radon)' dur [6]. İç ortam kaynaklı hava kirleticileri ise, yapı bileşenleri, döşeme ve dekorasyon malzemelerinden gelen kirleticiler, insan ve makine aktiviteleri ile ortaya çıkan kirleticiler, dış ortamdan iç ortama havalandırma ve hava sızıntısı ile geçen gaz, mantar, küf, ev tozu, haşereler gibi biyolojik ve kimyasal kirleticilerdir. [21-23]. Bunların bazıları koku vb. belirtiler ile kullanıcılar tarafından fark edilebilirken büyük bir kısmı ise baş ağrısı, baş dönmesi, kronik yorgunluk, göz, burun ve boğaz tahribatı, solunum sistemi hastalıkları, gibi bazı sağlık semptomları ile fark edilmektedir [24-31]. Bunun sonucunda; bina ile ilişkili hastalıklar, HBS (Hasta Bina Sendromu), Kawasaki ve Kakosmi Sendromu gibi hastalıkların ya da ölümlerin görülme sıklığının arttığı, konsantrasyonun düştüğü, sağlık masraflarının arttığı görülmektedir [6,22-24,29, 32].

Görsel konforun yani iyi görme koşullarının sağlanması doğal ve yapay aydınlatmanın nicelik ve nitelik yönünden gereken koşulların oluşturulmasıyla olanaklıdır. Gün ışığı, insanda fizyolojik ve davranışsal olayların uyumlu bir şekilde devamlılığını sağlamak için üretilen ritim olan 24 saatlik sirkadyan döngü sisteminde etkili bir uyarıcıdır. Bu sistem 24 saatlik aralıklarla tekrarlanan uyku-uyanıklık döngüsü gibi değişimler veya tekrarlardır. Karanlık ve aydınlık gibi günışığına bağlı faktörlerle düzenlenir. Yapılarda doğal aydınlatmanın doğru uygulanması kullanıcı sağlığının, psikolojik, fizyolojik konforun ve iş verimliliğinin artmasında etkisi büyüktür. İyi bir aydınlatma, kamaşma kontrolü sağlanması ve aydınlık seviyesinin gün içindeki niceliksel ve niteliksel değişiklikleri saptaması ile görsel konforun artmasını sağlamaktadır [33-34]. Amacına uygun olarak aydınlatılmış ortamlar görsel performansı desteklemenin yanı sıra insanlarda olumlu duyguların oluşmasına da katkıda bulunmaktadır. Yetersiz ve az aydınlatılmış ortamlar ise; görsel performansın düşmesine, algıda yanılgılara, konforsuzluğa ve sağlık sorunlarına neden olabilmektedir [35]. Türkiye'de yapı içi aydınlık düzeyleri 'TS EN 12464-1 Işık ve Işıklandırma- İş Mahallerinin Aydınlatılması-Bölüm 1: Kapalı Alandaki İş Mahalleri'nde belirtilmiştir. Ancak kış ve bahar dönemlerinde yapılan deneylerde gözlenen değişkenliklerden de anlaşılacağı üzere yapı içi aydınlık düzeyleri kullanıcı gereksinimlerine göre farklılık göstermektedir. Bu farklılığın nedeni kişilerin ışığa duyarlılığı, uyku kalitesi, biyolojik saati gibi durumlardır.

Mekânlarda konforu belirleyen bir diğer etken ise işitsel konfordur. Bir mekân içerisinde insan iç mekân veya dış mekân kaynaklı farklı seslere maruz kalmaktadır. Ses düzeyinin yüksekliği veya düzensiz sesler insan üzerinde fizyolojik ve psikolojik olumsuz etkilere neden olabilmektedir. İşitsel konfor subjektif bir durum olup insanların yaşına, cinsiyetine, içinde buldukları psikolojik ve fizyolojik duruma ve daha birçok faktöre göre farklılık göstermektedir. İşitsel konfor koşulları oluşmadığında duyma organlarında rahatsızlıklar, zihinsel algılama ve öğrenmede bozukluklar, konsantrasyon bozukluğu, performans düşüklüğü gibi etkilerin ortaya çıkması işitsel konforun önemini ortaya koymaktadır [36].

Günümüzde AVM'ler kullanıcılar için yaşamın önemli bir parçası haline gelmiştir. Kapalı mekânlardan oluşan ve çoğunlukla yapay aydınlatma, mekanik iklimlendirme koşullarında hizmet sunan bu karmaşık ve büyük ölçekli yapılarda kullanıcıların konfor durumu pek çok araştırmanın konusunu oluşturmaktadır. Alışveriş amaçlı kullanıcıların yanı sıra günün büyük bir bölümünü bu mekânlarda geçirmekte olan AVM çalışanlarında bu durum daha önemli bir hâl almaktadır. İnsanların fizyolojik ve psikolojik dengesinde önemli rol oynayan günışığından yeterince faydalanamayan bu kişiler ciddi sağlık

sorunları ile karşılaşabilmektedir. Çalışma kapsamında öncelikle yapılarda konfor koşullarına ilişkin literatür araştırılmıştır. Örneklem olarak Edirne kent merkezinde bulunan bir AVM seçilerek bu AVM'nin tasarım özellikleri ve yapısal nitelikleri belirtilmiştir. Anket uygulanacak katılımcı grubu olarak AVM yapılarının uzun süreli kullanıcıları olan AVM çalışanları ele alınmıştır. Uygulanan anket ile elde edilen sonuçlar grafik anlatımlarla ifade edilerek istatistiksel analizler yardımıyla değerlendirilmiştir.

II. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Alışveriş merkezlerinde konfor koşullarının kullanıcıya etkisi ile ilgili çalışmalara bakıldığında; Shang vd., Çin'de dört farklı AVM de ısı konfor ve iç hava kalitesini ölçüm ve anket sonuçlarına göre değerlendirdikleri çalışmalarında, Formaldehit ve uçucu organik bileşik konsantrasyonlarına dikkat çekerek özellikle çalışanlarda hasta bina sendromu belirtilerinin görülme olasılığına vurgu yapmışlardır [37]. Chun ve Tamura, AVM yapılarının kullanıcılarının psikolojik durumu üzerindeki etkilerini, Bloch vd. AVM'lerdeki ortam kaynaklı tüketici davranışlarını araştırmışlardır [38-39]. Li vd. Hong Kong'da bulunan sekiz farklı AVM'de iç hava kirleticilerinin analizini yapmışlardır. Çoğunlukla hava kalitesinin kullanıcı yoğunluğuna bağlı olarak yüksek seviyelerde olduğunu ve AVM yapısının kent içerisindeki konumuna, mağazalarda dekoratif amaçla kullanılmış olan preslenmiş ahşap vb. bitiş malzemelerine ve satış ürünlerinin kirlilik oranları üzerindeki etkisini vurgulamışlardır [40]. Zoroğlu ve Gedik iki farklı AVM yapısının genel kullanım alanlarında ve mağazalarda ölçüme dayalı olarak çalışmışlardır. Bu çalışmada kullanıcı yoğunluğuna göre değişen bir iklimlendirme sisteminde ısı konfor parametrelerini ve Fanger modeli PMV-PPD endeksinde kullanıcı memnuniyetini değerlendirmişlerdir [14]. Elyiğit ve Ekinci, sekiz farklı AVM yapısının genel kullanım alanlarında kış koşullarında ölçüme dayalı yaptıkları çalışmada bağıl nemin artırılması, partikül madde miktarının azaltılması ve gürültü düzeyinin azaltılması konusunda önerilerde bulunmuştur [41]. Sezer vd. Bursa'da yer alan yedi alışveriş merkezinde kullanıcı memnuniyetinin konfor koşulları açısından değerlendirilmesi amacıyla ankete dayalı bir çalışma yürütmüşlerdir [42]. Ayrıca literatürde ısı konfor, enerji korunumu ve tüketimi [43]; İç hava kalitesi [41]; İşitsel konfor [44-47] ve görsel konfor parametrelerinin farklı işleve sahip yapı örneklerinde ölçüme veya ankete dayalı pek çok araştırma bulunmaktadır [48-50]. Ancak özellikle gününün önemli bir kısmını bu yapılarda geçiren alışveriş merkezi çalışanları için konfor değerlendirmesini ele alan bir çalışmaya rastlanılamamıştır.

III. MATERYAL METOT

A. ÖRNEKLEM ALINAN AVM YAPISININ ÖZELLİKLERİ

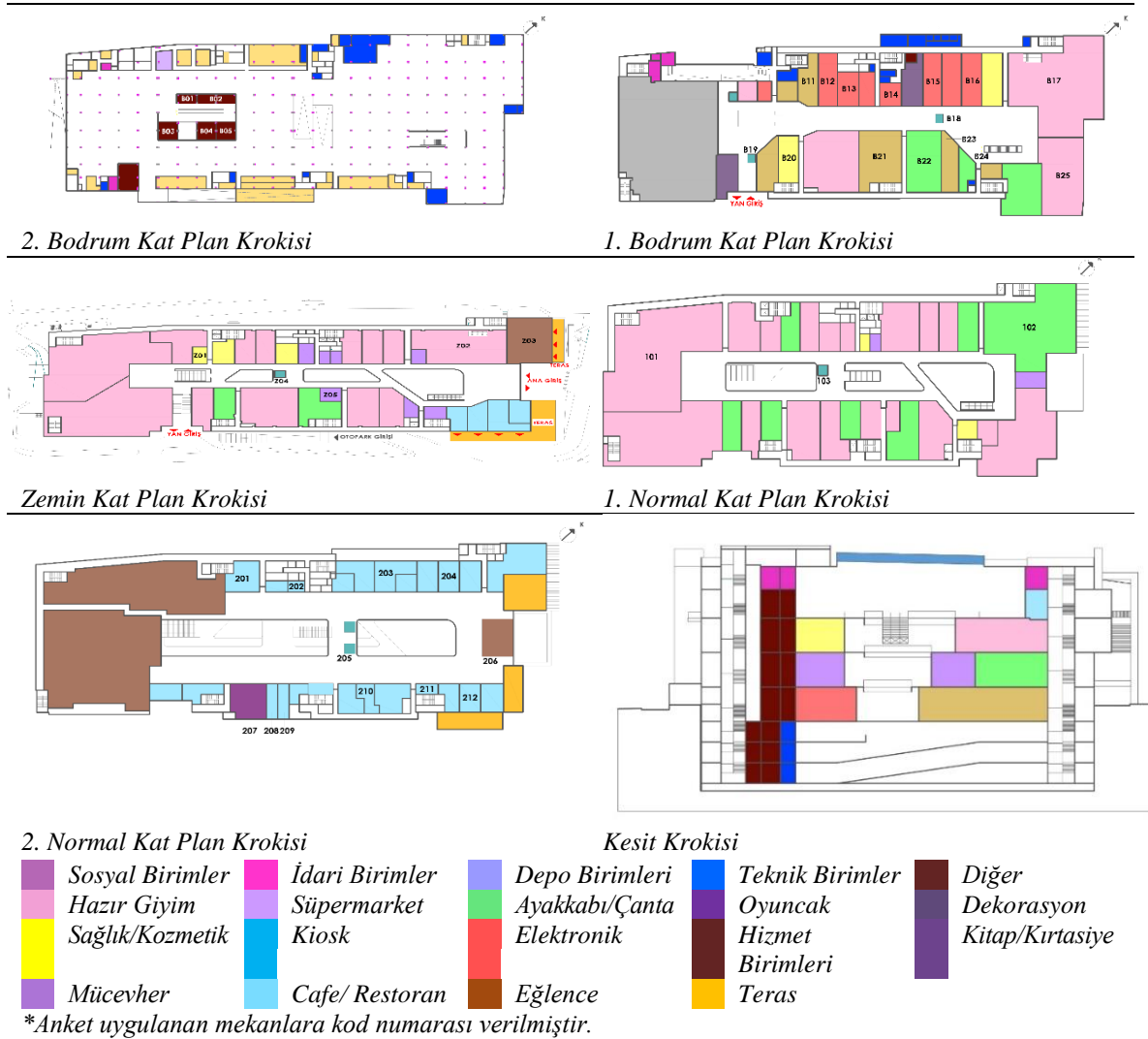
Bu çalışma kapsamında Edirne İl merkezinde 96.188 m² kapalı alana sahip Uluslararası Alışveriş Merkezleri Konseyi ICSC standartları sınıflandırılmasına göre, süper bölgesel kapalı AVM sınıfına giren lineer plan tipine sahip bir AVM incelenmiştir [51]. Çalışma kapsamında örnek olarak seçilen AVM binası Edirne İl merkezinde yer almaktadır. AVM bir uluslararası aks olan D100 Karayolu üzerinde, tarihi şehir merkezine 2 km uzaklıkta bulunmaktadır. Yapı lineer plan tipinde planlanmıştır. Uzun kenarı Kuzeydoğu (KD)-Güneybatı (GB) yönüne paralel şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 1).2017 yılında kullanıma açılan AVM'de 125 mağaza, kafeterya ve restoranlar, süpermarket, sinema salonu, bar, çocuk oyun merkezi vb. işlevlere sahip mağazalar ve 1200 araç kapasiteli otopark yer almaktadır. Yapı 3 otopark katı olmak üzere 4 bodrum kat, zemin kat ve 2 normal kattan oluşmaktadır. 21.000 m²'lik arsa alanı üzerine kurulmuş AVM'nin toplam inşaat alanı 100.868 m²'dir.



Şekil 1.(a)Alışveriş merkezi yakın çevresi ve (b) AVM Doğu perspektifi.

Gün ışığından yararlanabilmek için atrium kullanılmıştır. Cephede seramik levha kaplama altına 8 cm ısı yalıtımı uygulanmıştır. Isıtma sistemi olarak merkezi iklimlendirme sistemi bulunmaktadır. AVM iç mekân malzemeleri renk seçiminde genellikle krem rengi, beyaz gibi açık renkler seçilmiştir [52]. Tablo 1’de AVM’ye ait plan ve kesit krokileri yer almaktadır.

Tablo 1.AVM plan ve kesit krokileri.



B. ANKET UYGULAMASI

Bu çalışmada araştırma evrenini, seçilmiş AVM’de çalışan kişiler oluşturmaktadır. AVM’de çalışan kişi sayısı ortalama 500 olup, bayramlar ve yılbaşı dönemi gibi alışveriş yoğunluğunun arttığı özel dönemlerde 600’e kadar çıkabilmektedir. Çalışmada araştırma evreninin tamamına ulaşmak mümkün olmadığından, araştırma evrenini temsil edecek özelliklere sahip daha az sayıda bir örneklem grubu seçilmiştir. Bu seçim işlemi yapılırken, bilimsel çalışmalarda kabul edilebilir örneklem büyüklüğünü saptamak amacıyla Altunışık vd. tarafından evren büyüklükleri için belirlenmiş örneklem değerleri çizelgesinden yararlanılmıştır. Maksimum 600 kişilik bir çalışma evreni için minimum 234 kişiye anket uygulanması gerektiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada 240 kişiye anket uygulanarak örneklemi temsil edecek yeterli sayıya ulaşılmıştır [53]. Anket çalışması Trakya Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırmaları Etik Kurulunun 24.04.2019 tarih ve 2019.04.14 numaralı kararı ile onay alınarak uygulanmıştır. Anketler Nisan-Mayıs 2019 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir.

Örnekleme yöntemleri; tesadüfi ve tesadüfi olmayan olarak ikiye ayrılmaktadır. Tesadüfi örneklemin basit tesadüfi, katmanlı rastgele, küme örnekleme ve sistemli rastgele örnekleme olmak üzere 4 başlığı vardır [53-55]. Bu çalışmada örneklemin evreni doğru bir şekilde temsil edebilmesi amacıyla mekân işlevleri, mağaza konumları, ısı konfor, iç hava kalitesi, görsel konfor ve işitsel konfor farklılıkları oluşabilecek sayıda farklı mağazadan örneklem alınarak basit tesadüfi örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Ankete katılım gönüllülük esasıyla toplamda 39 birimde uygulanmış olup, sinema salonu, kapalı eğlence alanı ve süpermarkette ankete katılımı reddetmeleri nedeni ile örneklem alınamamıştır.

Anket formu hazırlanırken literatürde konfor değerlendirmesi amacıyla yapılan çalışmalar incelenmiş ve teorik bilgilerin ışığında anket formu özgün olarak tasarlanmıştır. Dört bölümden oluşan anketin 1. bölümünde kullanıcı bilgileri sorgulanmış katılımcıların yaş, cinsiyet, hastalık durumları vb. özellikleri araştırılmıştır. Daha sonraki bölümde, çalışılan ortamın fiziksel özellikleri ile ilgili bilgi alınmasını sağlayacak çalışılan kategori, çalışılan kat, çalışma saatleri, çalışılan ortamda bulunan kişi sayısı soruları yer almaktadır. 3. bölümde kişinin çalıştığı ortamda, ısı konfor, iç hava kalitesi, görsel ve işitsel konfor durumunu değerlendirmeye imkân tanıyan sorular ve son bölümde ise çalışma ortamında çalışanın sağlığı üzerine etkilerini değerlendirmek amaçlı literatürden elde edilen konforsuzluk kaynaklı sağlık belirtilerinin görülme sıklığı ile ilgili hazırlanmış sorular bulunmaktadır [5,14,24, 37-39,41-42,48-50]. Anket ölçeği 3’lü ve 5’li likert olarak uygulanmıştır.

C. BULGULAR VE TARTIŞMA

Güvenilirlik analizi, ölçmede kullanılan testlerin, anketlerin veya ölçeklerin güvenilirlik düzeylerini anlayabilmek için yaratılmış bir istatistiksel hesaplama metodudur. Güvenilirlik düzeyi az olan bir ölçmenin bilimsel bir değeri yoktur. Ancak güvenilirlik düzeyinin çok fazla çıkması da elde edilmiş ölçmenin hedefe uygunluğunun kesin bir göstergesi olduğu da düşünülmemelidir. Çalışmanın Güvenilirliği, gerekli bir koşuldur ancak yeterli bir koşul değildir [56]. Likert tipindeki ölçeklerde, ölçeğin güvenilirliği belli bir matematiksel formülle hesaplanan alfa (α) katsayısı ile tespit edilir. Bu katsayının 1’e yakın bir değer çıkması ölçeğin güvenilirliğinin yüksek seviyede olduğunu göstermektedir. Bu katsayının düşük bir değer çıkmasını sağlayan sorular analizden çıkarılarak güvenilirlik seviyesi artırılabilir. Eğer α değeri 0 ile 0,40 arasında çıkmışsa bu ölçeğin güvenilir olmadığını ifade eder. 0,40 ile 0,60 arasında çıkmışsa ölçeğin güvenilirliği düşük seviyededir. 0,60 ile 0,80 arasında ise ölçeğin güvenilirliği iyi seviyededir. 0,80 ile 1 arasında çıkmışsa ölçek yüksek seviyede güvenilir denir [56]. Çalışmada yer alan likert tipindeki soruların güvenilirliğini ölçmek için Cronbach Alfa Katsayısı hesaplanmıştır. İstatistiksel analizleri yapabilmek için araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan SPSS 27 paket programı ile yapılan hesaplama sonucu konfor koşulları ile ilgili soruların Cronbach Alfa değeri 0,813 olarak hesaplanmıştır. Bu değer soruların ölçme düzeyinin yüksek seviyede güvenilir olduğunu göstermiştir.

Çalışmada yer alan konfor koşulları ile ilgili soruların geçerliği, Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) örneklem yeterliliği ölçütü ile değerlendirilmiş ve KMO değeri 0,703 olarak hesaplanmıştır. Seçer [57], KMO değeri, 0,50’nin altında ise kabul edilemez, 0,50-0,60 değerleri arasında ise zayıf, 0,60-0,70 aralığında

ise orta, 0,70-0,80 aralığında ise iyi, 0,80-0,90 aralığında ise çok iyi, 0,90'dan büyük ise mükemmel örneklem manasına gelmekte olduğunu belirtmiştir. Dolayısıyla, çalışmada yer alan konfor koşulları ile ilgili soruların geçerliğinin iyi seviyede olduğu görülmüştür. Dört bölümden oluşan anketin ilk bölümünde demografik özellikler değerlendirilmiştir. Elde edilen sayısal veriler incelendiğinde ankete katılan AVM çalışanlarının %47,5'i kadın, %52,5'i erkek olup yaklaşık %80' inin genç yaş kategorisinde (18-32) yer aldığı, öğrenim durumlarının ise %39 lise, %30 ön lisans, %29 lisans mezunu oldukları, %60' ının bekâr olduğu ve %35'inin sigara kullandığı tespit edilmiştir. Anketin 2. bölümünde çalışma ortamının fiziksel koşulları, 3. bölümünde ise konfor beklentileri sorgulanmıştır. Bu bölüm ile ilgili bulgular konfor beklentileri ve sağlık üzerindeki etkileri ile değerlendirilmiştir.

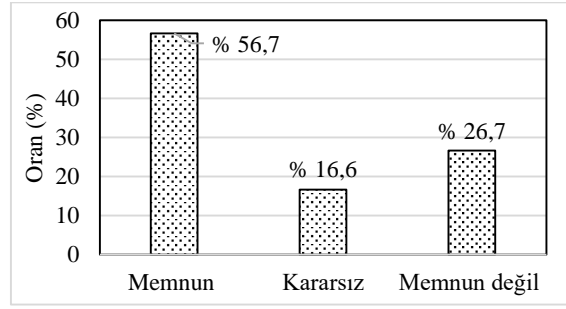
Ankette yer alan cinsiyet, medeni hal, kronik veya hormonal hastalık, bağımsız değişkenlerinin, katılımcıların konfor koşullarından memnuniyeti üzerinde etkisi olup olmadığını araştırmak için Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Parametrik olmayan bu test, normal dağılım varsayımının gerçekleşmemesi durumunda, bağımsız iki grup arasında, istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların varlığını araştırmak için kullanılmaktadır [58]. Analizler $p=0,05$ anlamlılık düzeyinde gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Elde edilen istatistiksel bulgulara göre; Tablo 2'deki anlamlılık düzeyleri incelendiğinde; " $p<0,05$ " koşulunu sağlayan iki adet değer olduğu görülmektedir. Ayrıca, katılımcıların Medeni Durumu ile Konfor Koşullarından memnuniyet durumu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olup olmadığı yine Mann-Whitney U testi uygulanarak incelenmiştir. Evli ve bekar katılımcılar arasında çalıştıkları ortamdaki rahatsız edici koku farkındalığı açısından medeni duruma dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu ($\text{sig.}=0,019$) ve çalıştıkları ortamdaki iç kaynaklı gürültü varlığı açısından anlamlı bir farklılık olduğu ($\text{sig.}=0,009$) görülmüştür. Konfor ile ilgili diğer bağımlı değişkenlerde medeni duruma bağlı anlamlı farklılık bulunmamıştır. Yaş değişkeni ile konfor koşulları arasında ilişki Kruskal-Wallis testi ile değerlendirilmiş ancak istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa rastlanmamıştır. Katılımcıların hormonal hastalıklarının varlığına göre konfor koşullarından memnuniyet durumunun incelenmesine ilişkin Mann-Whitney U test sonuçlarına bakıldığında hormonal hastalığı olan veya olmayan katılımcılar arasında çalıştıkları ortamdaki gürültü düzeyinden rahatsız olma açısından hormonal hastalığın varlığına dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık ($\text{sig.}=0,033$) vardır. Diğer bağımlı konfor değişkenlerinde anlamlı farklılık bulunmamıştır. Katılımcıların kronik hastalıklarının varlığına göre konfor koşullarından memnuniyet durumu incelendiğinde ise sadece çalıştıkları ortamdaki iç kaynaklı gürültü varlığı açısından anlamlı farklılık ($\text{sig.}=0,018$) görülmüştür.

Tablo 2. Katılımcıların cinsiyetlerine göre konfor koşullarından memnuniyet durumunun incelenmesine ilişkin Mann-Whitney U test sonuçları

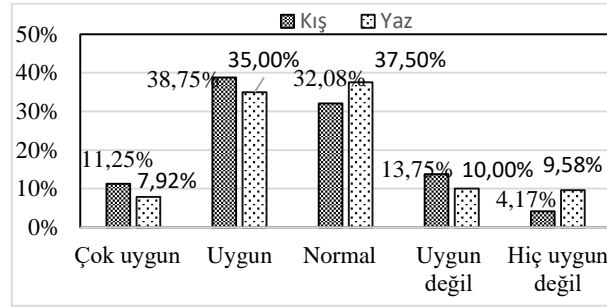
CİNSİYET	Değişkenler		Anlamlılık Düzeyi	Kadın ve erkek katılımcılar arasında çalıştıkları ortamdaki açısından	Cinsiyete dayalı, istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık
	Bağımsız	Bağımlı			
		Konfor 1	0,553	Yaz mevsiminde ortam sıcaklığının memnuniyeti	Yoktur
		Konfor 2	0,797	Kış mevsiminde ortam sıcaklığının memnuniyeti	Yoktur
		Konfor 3	0,802	Nemlilik durumundan memnuniyeti	Yoktur
		Konfor 4	0,828	Temiz hava miktarından memnuniyet	Yoktur
		Konfor 5	0,965	Havadaki toz miktarını değerlendirme	Yoktur
		Konfor 6	0,422	Rahatsız edici koku farkındalığı	Yoktur
		Konfor 7	0,011	Doğal ışık alıp almaması	Vardır
		Konfor 8	0,681	Doğal aydınlatmasını yeterli bulup bulmama	Yoktur
		Konfor 9	0,745	Çalışma günlerinde gün ışığından faydalanma süreleri	Yoktur
		Konfor 10	0,462	Yapay aydınlatma düzeyinden memnuniyet	Yoktur
		Konfor 11	0,040	Gürültü düzeyini tanımlama	Vardır
		Konfor 12	0,483	Dış kaynaklı gürültü varlığı	Yoktur
		Konfor 13	0,082	İç kaynaklı gürültü varlığı	Yoktur

Anketten elde edilen sayısal veriler incelendiğinde katılımcıların %56,7'sinin normal giysi ile ısı konfor koşullarından memnun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2). Mevsimlere göre ortam sıcaklığı sorgulandığında ise Şekil 3'te görüldüğü üzere ortam sıcaklığından kış mevsiminde %82,1 oranında

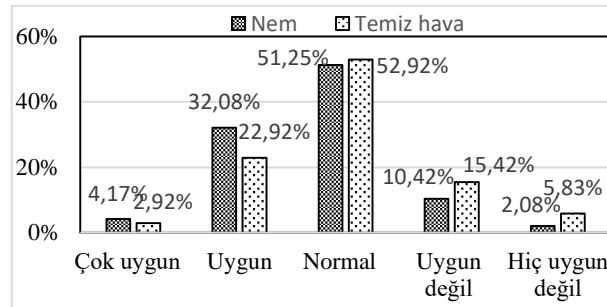
memnuniyet duyulurken, yaz mevsiminde %80,4 oranında memnuniyet duyulmaktadır. Nemlilik durumu ve temiz havayı da kullanıcıların büyük çoğunluğu uygun bulmaktadır (Şekil 4).



Şekil 2. Isıl konfor memnuniyet durumu.

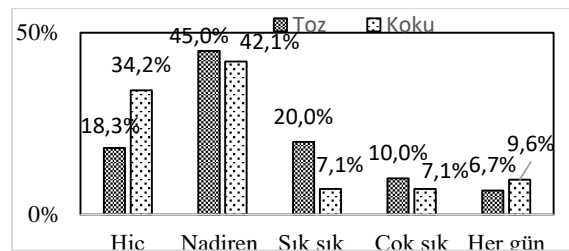


Şekil 3. Yaz ve kış şartlarında ortam sıcaklığı memnuniyet durumu.



Şekil 4. Ortamın nemlilik durumu ve temiz hava miktarı değerlendirilmesi.

İç hava kalitesi ile ilgili olarak; çalışılan ortamdaki temiz hava miktarından katılımcıların büyük çoğunluğu memnundur. AVM çalışanlarının %6,7'si her gün çalışma ortamında toz hissederken, %10'u çok sık, %20'si sık sık toz hissetmektedir. Çalışma ortamında toz ve koku hissetme sıklığı yüzdeleri Şekil 5'de sunulmaktadır. Anket katılımcılarından %9,6'sı her gün çalışma ortamında rahatsız edici koku bulunduğunu belirtilirken %7,1'i çok sık, %7,1'i de sık sık çalışma ortamında rahatsız edici koku bulunduğunu söylemektedir.



Şekil 5. Toz ve rahatsız edici koku hissetme.

Kikare bağımsızlık testleri, iki kategorik değişkenin arasında bir ilişki olup olmadığını analiz etmek için kullanılan non-parametrik bir testtir. Bu test 2x2'lik veya daha büyük boyutlu kontejans tablolarındaki değişkenlerin gözlenen ve beklenen frekanslarını karşılaştırarak iki değişken arasında bağımsızlık olup olmadığını araştırmak için kullanılır [59]. Tablo 3 incelendiğinde Sigara kullanımı değişkeni ile kullanıcıların çalışma ortamındaki rahatsız edici kokunun varlığı değişkeni arasında $p=0,05$ anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir ($p=0,044<0,05$). Rahatsız edici kokunun “her gün” var olduğunu söyleyen katılımcıların yaklaşık %55,4’ünün sigara kullanmadığı, buna karşın %44’6’sının sigara kullanmakta olduğu görülmektedir. Rahatsız edici kokunun “çok sık” var olduğunu söyleyen katılımcıların yaklaşık %74’ünün sigara kullanmadığı, buna karşın %26’sının sigara kullanmakta olduğu görülmektedir. Benzer oranların diğer kategorilerde de var olduğu görüldüğünden, sigara kullanmayanların kullananlara kıyasla rahatsız edici koku konusunda daha hassas olduğu çıkarımı yapılabilir.

Tablo 3. Sigara kullanımı değişkeni ile katılımcıların çalışma ortamındaki rahatsız edici kokunun varlığı değişkeni arasındaki Ki-kare analizi tablosu

		Sigara kullanımı			
		Kullanmıyor	Kullanıyor	Toplam	
Çalışma ortamınızda rahatsız edici kokular bulunmakta mıdır?	Hiç	Frekans	12	11	23
		Satır yüzde	52,2%	47,8%	100,0%
		Sütun yüzde	7,6%	13,3%	9,6%
	Nadiren	Frekans	13	4	17
		Satır yüzde	76,5%	23,5%	100,0%
		Sütun yüzde	8,3%	4,8%	7,1%
	Sık sık	Frekans	12	5	17
		Satır yüzde	70,6%	29,4%	100,0%
		Sütun yüzde	7,6%	6,0%	7,1%
	Çok sık	Frekans	74	26	100
		Satır yüzde	74,0%	26,0%	100,0%
		Sütun yüzde	47,1%	31,3%	41,7%
	Her gün	Frekans	46	37	83
		Satır yüzde	55,4%	44,6%	100,0%
		Sütun yüzde	29,3%	44,6%	34,6%
Toplam	Frekans	157	83	240	
	Satır yüzde	65,4%	34,6%	100,0%	
	Sütun yüzde	100,0%	100,0%	100,0%	

0 hücre (% 0) beklenen değer 5’den küçük değildir. En küçük beklenen değer 5,88’dir. Ki-kare test istatistiği $\chi^2= 9,824$ ve Anlamlılık Düzeyi (p) = 0,044

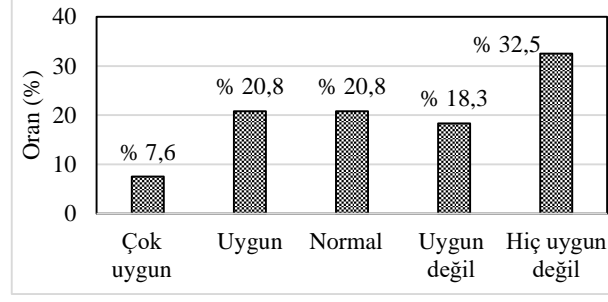
Kruskal-Wallis testi, tek yönlü varyans analizinin varsayımlarından birinin sağlanmadığı durumda tek yönlü varyans analizine karşılık gelen parametrik olmayan bir testtir [60]. Tablo 4’te paylaşılan Kruksal Wallis test sonuçlarından da görüleceği üzere, AVM genelinde çalışanların toz ve koku hissetme durumunun fonksiyona (Mağaza türüne) bağlı olarak istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 4. Katılımcıların çalıştıkları çalıştıkları kategoriye göre konfor koşullarından memnuniyet durumunun incelenmesine ilişkin Kruskal-Wallis test sonuçları

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	N	Ortalama Sıra	χ^2	Sig.	Açıklama
Konfor5: Çalışma ortamınızdaki iç havada toz vb. hissediyor musunuz?	Çalışılan kategori					
	Hazır giyim	76	110,08	43,930	0,000	Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre çalıştıkları ortamdaki iç havadaki toz miktarını değerlendirme açısından çalışılan kategoriye dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	Ayakkabı/çanta	17	85,68			
	Mücevher/Aksesuar	3	142,50			
	Sağlık/Kozmetik	9	167,61			
	Dekorasyon/Ev tekstili	7	76,50			
	Elektronik	23	77,54			
	Cafe/Restaurant	54	150,39			
	Kitap/Kırtasiye	2	18,50			
	Eğlence	19	142,18			
	Hizmet (Kuru temizleme, Terzi, Tobacco, Oto yıkama, Banka vs.)	23	134,76			
Kiosk	7	126,21				
Konfor6: Çalışma ortamınızda rahatsız edici koku bulunmakta mıdır?	Çalışılan kategori					
	Hazır giyim	76	152,91	74,948	0,000	Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre çalıştıkları ortamdaki rahatsız edici koku farkındalığı açısından çalışılan kategoriye dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	Ayakkabı/çanta	17	79,94			
	Mücevher/Aksesuar	3	168,50			
	Sağlık/Kozmetik	9	178,67			
	Dekorasyon/Ev tekstili	7	106,36			
	Elektronik	23	123,17			
	Cafe/Restaurant	54	113,06			
	Kitap/Kırtasiye	2	153,25			
	Eğlence	19	107,89			
	Hizmet (Kuru temizleme, Terzi, Tobacco, Oto yıkama, Banka vs.)	23	36,30			
Kiosk	7	135,93				

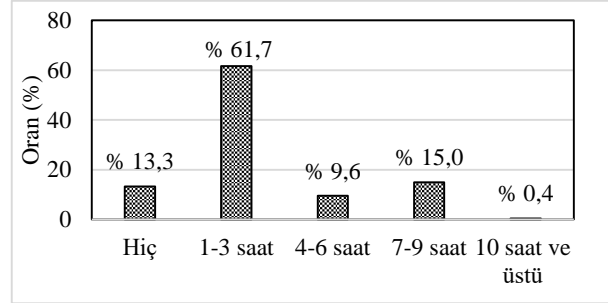
Hazır giyim, elektronik, ayakkabı-çanta fonksiyonlarında toz hissedilme oranı diğer fonksiyonlara göre daha fazla olup, fonksiyona bağlı dağılım Şekil 8’de görülmektedir. Hizmet sektörü çalışma ortamında rahatsız edici kokunun en sık görüldüğü fonksiyon olup, hizmet sektörüne ait çalışma alanlarının genelde bodrum katta yer almasından dolayı otoparktan gelen egzoz dumanına bağlı rahatsız edici koku bulunabileceği tahmin edilmektedir. Rahatsız edici kokuya sıkça rastlanılan diğer fonksiyonlar kafe/restoran ve ayakkabı/çanta ürünlerinin satıldığı çalışma ortamlarıdır. Bu alanlardaki rahatsız edici koku kaynakları, kafe ve restoranlarda yemek pişirme eylemi sırasında açığa çıkan kokular, ayakkabı ve çanta ürün gruplarının satıldığı ortamlarda ise bu ürünlerin üretimi sırasındaki yapılandırma gibi eylemlerdir.

Görsel konforla ilgili değerlendirmelerde, ‘Çalıştığınız ortam doğal ışık alıyor mu?’ sorusuna AVM çalışanlarının %64,6’sı hayır derken, % 35,4’ünün evet dediği tespit edilmiştir. AVM Kapalı planlı olmasına rağmen, atriumlu olması şeffaf çatıdan günışığının iç ortama aktarılması dolaylı olarak ve bazı kafeterya birimlerinin dış ortama açılan düşey pencerelerinin bulunması ise doğrudan günışığından yararlanılmasına imkân tanımaktadır. Çalışma ortamında doğal aydınlatmadan memnuniyet durumuna bakıldığında, katılımcıların %50,8’i doğal aydınlatmayı uygun bulmamakta ya da hiç uygun bulmamaktadır ve bu değerler Şekil 6’da açıkça görülmektedir.

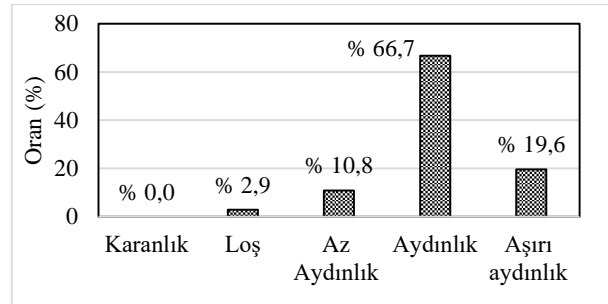


Şekil 6. Doğal aydınlatmadan duyulan memnuniyet.

Şekil 7’de çalışanların gün boyunca doğal ışıktan kaç saat faydalandıklarına bakıldığında, %13,3’ünün çalışma günlerinde hiç doğal ışık almadıkları ve %61,7 gibi önemli bir oranın ise sadece 1-3 saat doğal ışık aldıkları sonucu çıkmaktadır. Çalışma ortamında yapay ışık kaynakları ile sağlanmış aydınlatma düzeyleri Şekil 8’de belirtilmekte ve %66,7’sinin aydınlığı yeterli bulduğu görülmektedir. Diğer kullanıcılar ise yetersiz ya da gereğinden fazla aydınlık olduğunu öne sürmektedir.

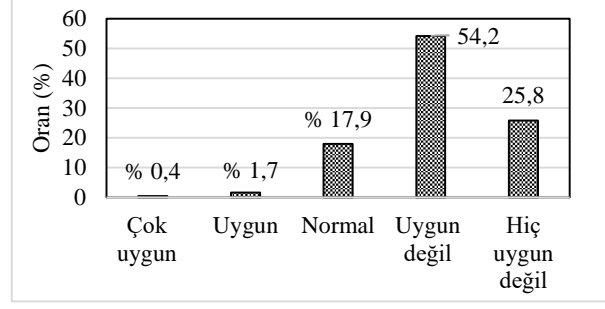


Şekil 7. Gün boyunca doğal ışıktan faydalanma miktarları.

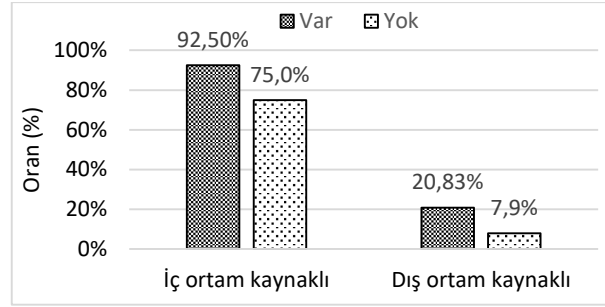


Şekil 8. Yapay ışık kaynakları ile sağlanmış aydınlatma düzeyleri.

İşitsel konfor parametreleri değerlendirildiğinde; ankete katılan çalışanların %54,2’sinin çalışma ortamını gürültülü, %25,8’inin ise aşırı gürültülü bulunduğunu ifade etmiştir. Bu durum genellikle AVM çalışanlarının ortamın işitsel konfor düzeyinden memnun olmadığını göstermektedir (Şekil 9). Katılımcıların %92,5’i çalışma ortamı kaynaklı gürültü olduğunu belirtirken %20,8’i çalışma ortamına dış ortamdan gürültü geldiğini belirtmektedir (Şekil 10).

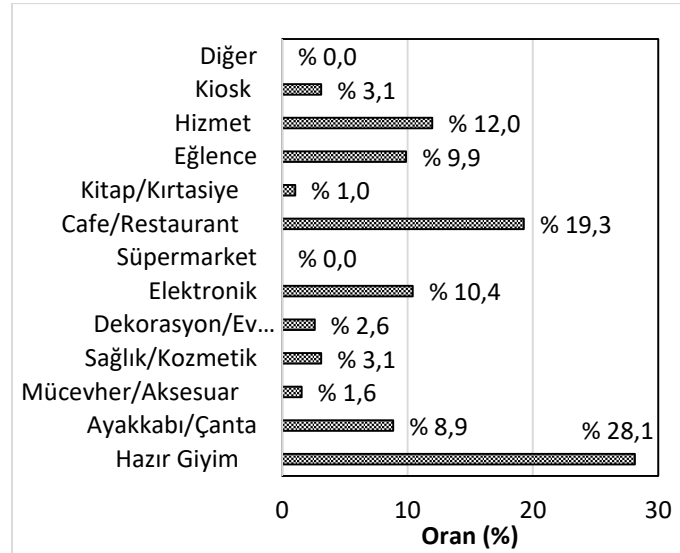


Şekil 9. Çalışılan ortamdaki gürültü memnuniyet düzeyleri.



Şekil 10. İç ve dış ortam kaynaklı gürültü düzeyi değerlendirilmesi.

Dış ortamdan gelen gürültünün genellikle terası bulunan mahallerde görüldüğü tespit edilmiş ve en büyük etkeninin trafik gürültüsü olduğu belirtilmektedir. İç ortam kaynaklı gürültünün ise en önemli kaynaklarının insan sesi ve müzik sesi olduğu görülmektedir. Çalışma ortamında gürültü düzeyinin sesli ve aşırı sesli olduğunu belirtenlerin çalışma fonksiyonuna bağlı oranları Şekil 11’de görülmektedir.



Şekil 11. Gürültü düzeyi yüksek olan mekânlar.

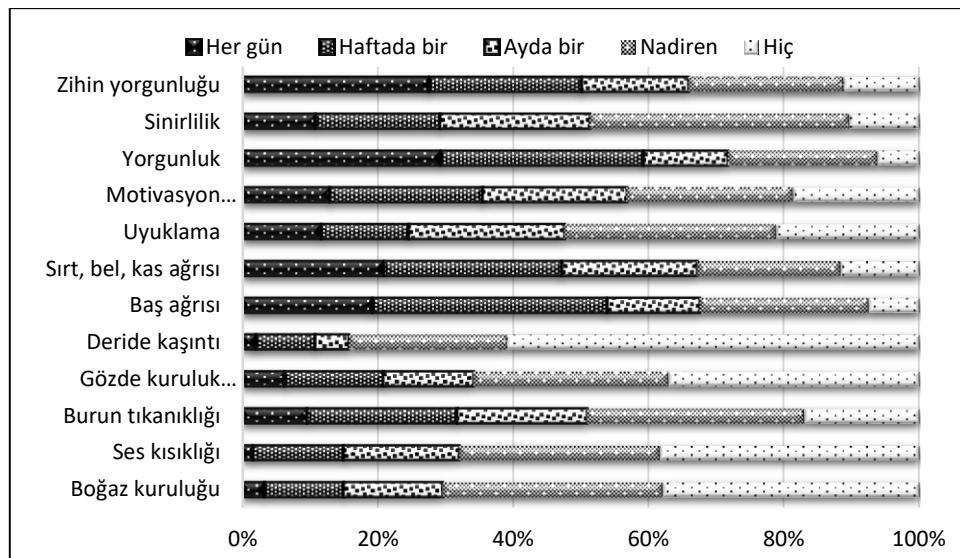
Katılımcıların çalıştıkları farklı katlara göre konfor koşullarından memnuniyet düzeyleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yaratıp yaratmadığı Kruskal-Wallis testi ile $p=0,05$ anlamlılık düzeyinde araştırılmıştır. Analiz sonuçları ve yorumları Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Katılımcıların çalıştıkları farklı katlara göre konfor koşullarından memnuniyet durumunun incelenmesine ilişkin Kruskal-Wallis test sonuçları

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	N	χ^2	Sig.	Açıklama
Konfor 1: Yaz mevsiminde çalıştığınız ortamın sıcaklığını nasıl değerlendirirsiniz?	Çalışılan Kat				Farklı katlarda çalışan katılımcılar arasında yaz mevsiminde çalıştıkları ortamın sıcaklığının memnuniyeti açısından farklı katlarda çalışmaya dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	-2	24	80,238	0,000	
	-1	77			
	0	59			
	1	19			
2	61				
Konfor 2: Kış mevsiminde çalıştığınız ortamın sıcaklığını nasıl değerlendirirsiniz?	Çalışılan Kat				Farklı katlarda çalışan katılımcılar arasında kış mevsiminde çalıştıkları ortamın sıcaklığının memnuniyeti açısından farklı katlarda çalışmaya dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	-2	24	85,667	0,000	
	-1	77			
	0	59			
	1	19			
2	61				
Konfor3: Çalıştığınız ortamdaki nemlilik durumunu uygun buluyor musunuz?	Çalışılan Kat				Farklı katlarda çalışan katılımcılar arasında çalıştıkları ortamın nemlilik durumundan memnuniyeti açısından farklı katlarda çalışmaya dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	-2	24	42,092	0,000	
	-1	77			
	0	59			
	1	19			
2	61				
Konfor 4: Çalıştığınız ortamdaki temiz hava miktarını nasıl değerlendiriyorsunuz?	Çalışılan Kat				Farklı katlarda çalışan katılımcılar arasında çalıştıkları ortamdaki temiz hava miktarından memnuniyet açısından farklı katlarda çalışmaya dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	-2	24	13,636	0,009	
	-1	77			
	0	59			
	1	19			
2	61				
Konfor 5: Çalışma ortamınızdaki iç havada toz vb. hissediyor musunuz?	Çalışılan Kat				Farklı katlarda çalışan katılımcılar arasında çalıştıkları ortamdaki iç havadaki toz miktarını değerlendirme açısından farklı katlarda çalışmaya dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	-2	24	18,293	0,001	
	-1	77			
	0	59			
	1	19			
2	61				
Konfor 6: Çalışma ortamınızda rahatsız edici koku bulunmakta mıdır?	Çalışılan Kat				Farklı katlarda çalışan katılımcılar arasında çalıştıkları ortamdaki rahatsız edici koku farkındalığı açısından farklı katlarda çalışmaya dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	-2	24	53,284	0,000	
	-1	77			
	0	59			
	1	19			
2	61				
Konfor 7: Çalıştığınız ortam doğal ışık alıyor mu?	Çalışılan Kat				Farklı katlarda çalışan katılımcılar arasında çalıştıkları ortamın doğal ışık alıp almaması açısından farklı katlarda çalışmaya dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	-2	24	148,720	0,000	
	-1	77			
	0	59			
	1	19			
2	61				
Konfor 8: Çalıştığınız ortamdaki doğal aydınlatmayı yeterli buluyor musunuz?	Çalışılan Kat				Farklı katlarda çalışan katılımcılar arasında çalıştıkları ortamdaki doğal aydınlatmayı yeterli bulup bulmama açısından farklı katlarda çalışmaya dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	-2	24	49,502	0,000	
	-1	77			
	0	59			
	1	19			
2	61				

Tablo 5. (devam) Katılımcıların çalıştıkları farklı katlara göre konfor koşullarından memnuniyet durumunun incelenmesine ilişkin Kruskal-Wallis test sonuçları

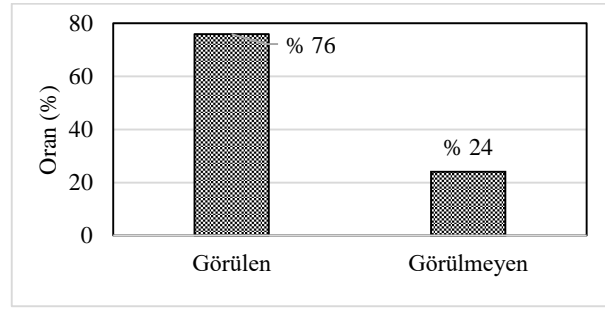
Konfor 9: Çalışma günlerinizde, gün boyunca gün ışığından kaç saat faydalanıyorsunuz?	-2	24	52,458	0,000	Farklı katlarda çalışan katılımcılar arasında <i>çalışma günlerinde gün ışığından faydalanma süreleri</i> açısından farklı katlarda çalışmaya dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	-1	77			
	0	59			
	1	19			
	2	61			
Konfor 10: Çalışma ortamınızda, yapay ışık kaynakları ile sağlanmış aydınlatma düzeyini nasıl değerlendiriyorsunuz?	-2	24	23,342	0,000	Farklı katlarda çalışan katılımcılar arasında <i>çalıştıkları ortamdaki yapay aydınlatma düzeyinden memnuniyet</i> açısından farklı katlarda çalışmaya dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	-1	77			
	0	59			
	1	19			
	2	61			
Konfor 11: Çalıştığınız ortamdaki gürültü düzeyini tanımlayınız.	-2	24	22,247	0,000	Farklı katlarda çalışan katılımcılar arasında <i>çalıştıkları ortamdaki gürültü düzeyini tanımlama</i> açısından farklı katlarda çalışmaya dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	-1	77			
	0	59			
	1	19			
	2	61			
Konfor 12: Çalışma ortamınıza dış ortamdan gelen gürültü var mı?	-2	24	38,663	0,000	Farklı katlarda çalışan katılımcılar arasında <i>çalıştıkları ortamdaki dış kaynaklı gürültü varlığı</i> açısından farklı katlarda çalışmaya dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	-1	77			
	0	59			
	1	19			
	2	61			
Konfor 13: Çalışma ortamınızda iç ortam kaynaklı gürültü var mı?	-2	24	12,211	0,016	Farklı katlarda çalışan katılımcılar arasında <i>çalıştıkları ortamdaki iç kaynaklı gürültü varlığı</i> açısından farklı katlarda çalışmaya dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	-1	77			
	0	59			
	1	19			
	2	61			



Şekil 12. Çalışma ortamından kaynaklanabilecek sağlık semptomlarının görülme sıklığı

Sağlık üzerindeki etkilerin görülme sıklığının değerlendirildiği anketin dördüncü bölümünde çalışma ortamı kaynaklı baş ağrısı görülme sıklığı katılımcıların %19,2'sinde her gün, %34,6'sında ise haftada bir olarak dikkate değer bir sıklıktadır. Sırt, bel, boyun, eklem ve kas ağrıları görülme sıklığı anket katılımcılarının yaklaşık %67'sinde sıklıkla izlenmiştir. Uykulama belirtisinin katılımcıların yaklaşık %20'sinde, sinirlilik %29'unda motivasyon eksikliğinin ise yaklaşık %35'inde sık görülen bir etki olduğu görülmektedir. Katılımcılarda yorgunluk hissi ve zihin yorgunluğu görülme sıklığı yaklaşık %50'sinde önemli düzeyde bulunmuştur. Bu duruma elektrostatik etki, kullanıcıların gün ışığından yararlandıkları süresinin kısa olması, yapay ışık kaynaklarının olumsuz etkisi neden olarak gösterilebilir (Şekil 12).

Hasta bina sendromunda (HBS) sıklıkla karşılaşılan belirtiler örnek yapıda uygulanan anket soruları ile değerlendirildiğinde yorgunluk, baş ağrısı, eklem ve kas ağrıları, aşırı zihin yorgunluğu, motivasyon eksikliği, sinirlilik, burun tıkanıklığı ve akıntılar gibi belirtiler en sık görülenler arasında olduğu tespit edilmiştir. İçerisinde bulunulan ortamdan kaynaklanan bazı sorunlar memnuniyet durumu sorgulandığında herhangi bir olumsuzluk göstermezken belirtilere bakıldığında önemli bulgular vermektedir. Şekil 13'da sağlık problemlerinden en az üçünü her gün, haftada bir ya da ayda bir gören katılımcı oranı görülmektedir. Nadiren ve hiç cevabını verenler belirti görülmeyen olarak değerlendirilmiştir. Bu durum, insan doğasının ortama alışma sürecinin çok kısa olması ve rahatsızlık hissetmemesinin ortamın sağlıklı olduğunu göstermeyeceği sonucunu beraberinde getirmektedir. Bu belirtilerin biri ya da birkaçı sıklıkla izleniyorsa içinde bulunulan ortam kaynaklı bazı etkiler olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 13. Sağlık problemlerinden en az üçünün her gün, haftada bir veya ayda bir görülme durumu.

Sağlık semptomlarının görülme sıklığı ile ilgili soruların Cronbach Alfa değeri 0,914 olarak hesaplanmıştır. Bu değer soruların ölçme düzeyinin yüksek seviyede güvenilir olduğunu göstermektedir. Çalışmada yer alan sağlık semptomlarının görülme sıklığı ile ilgili soruların geçerliği, Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) örneklem yeterliliği ölçütü ile değerlendirilmiş ve KMO değeri 0,907 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, sağlık semptomlarının görülme sıklığı ile ilgili soruların geçerliğinin mükemmel seviyede olduğu görülmüştür.

Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre sağlık semptomlarının görülme sıklığı değişkenleri arasındaki Kruskal-Wallis Testi sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 6. Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre sağlık semptomlarının görülme sıklığı değişkenleri arasındaki Kruskal-Wallis Testi sonuçları

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	N	Ortalama Sıra	χ^2	Sig.	Açıklama
Boğaz Kızarıklıkları, Yanmalar	Çalışılan kategori					
	Hazır giyim	76	111,22	40,850	0,000	Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre Boğaz Kızarıklıkları, Yanmaların görülme sıklığı açısından çalışılan kategoriye dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	Ayakkabı/çanta	17	124,82			
	Mücevher/Aksesuar	3	148			
	Sağlık/Kozmetik	9	107,33			
	Dekorasyon/Ev tekstili	7	89,71			
	Elektronik	23	113,76			
	Cafe/Restaurant	54	96,48			
	Kitap/Kirtasiye	2	227			
	Eğlence	19	168,47			
	Hizmet (Kuru temizleme, Terzi, Tobacco, Oto yıkama, Banka vs.)	23	172,83			
Kiosk	7	121,5				
Ses Kısıklığı	Hazır giyim	76	110,77	50,468	0,000	Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre Ses Kısıklığının görülme sıklığı açısından çalışılan kategoriye dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	Ayakkabı/çanta	17	140,32			
	Mücevher/Aksesuar	3	165,33			
	Sağlık/Kozmetik	9	92,17			
	Dekorasyon/Ev tekstili	7	81,43			
	Elektronik	23	117,37			
	Cafe/Restaurant	54	92,98			
	Kitap/Kirtasiye	2	184			
	Eğlence	19	189,42			
	Hizmet	23	163,89			
	Kiosk	7	109,07			
Burun Tıkanıklığı, Akıntılar	Hazır giyim	76	125,06	31,625	0,000	Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre Burun Tıkanıklığı, Akıntılarının görülme sıklığı açısından çalışılan kategoriye dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	Ayakkabı/çanta	17	109,41			
	Mücevher/Aksesuar	3	101,17			
	Sağlık/Kozmetik	9	93,94			
	Dekorasyon/Ev tekstili	7	135,43			
	Elektronik	23	128,65			
	Cafe/Restaurant	54	90,1			
	Kitap/Kirtasiye	2	210,25			
	Eğlence	19	130,66			
	Hizmet	23	171,93			
	Kiosk	7	110,93			
Sırt, Bel, Boyun, Eklem ve Kas Ağrıları	Hazır giyim	76	118,95	30,523	0,000	Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre Sırt, Bel, Boyun, Eklem ve Kas Ağrılarının görülme sıklığı açısından çalışılan kategoriye dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	Ayakkabı/çanta	17	148,15			
	Mücevher/Aksesuar	3	86,5			
	Sağlık/Kozmetik	9	57,22			
	Dekorasyon/Ev tekstili	7	161,14			
	Elektronik	23	113,04			
	Cafe/Restaurant	54	102,25			
	Kitap/Kirtasiye	2	159			
	Eğlence	19	127,29			
	Hizmet	23	167,8			
	Kiosk	7	105,86			

Tablo 6.(devam) Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre sağlık semptomlarının görülme sıklığı değişkenleri arasındaki Kruskal-Wallis Testi sonuçları

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Ortalama		χ^2	Sig.	Açıklama
		N	Sıra			
Gözde Kızarıklık, Yanma, Kuruluk	Çalışılan Kategori					
	Hazır giyim	76	106,58	44,293	0,000	Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre Gözde Kızarıklık, Yanma, Kuruluk görülme sıklığı açısından çalışılan kategoriye dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	Ayakkabı/çanta	17	119,85			
	Mücevher/Aksesuar	3	114,5			
	Sağlık/Kozmetik	9	84			
	Dekorasyon/Ev tekstili	7	139,14			
	Elektronik	23	141,91			
	Cafe/Restaurant	54	96,13			
	Kitap/Kırtasiye	2	220,5			
	Eğlence	19	151,16			
	Hizmet	23	181,54			
Kiosk	7	109,36				
Deride Kızarıklık, Kaşıntı, Kuruluk	Hazır giyim	76	102,97	32,745	0,000	Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre Deride Kızarıklık, Kaşıntı, Kuruluk görülme sıklığı açısından çalışılan kategoriye dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	Ayakkabı/çanta	17	131,94			
	Mücevher/Aksesuar	3	140,83			
	Sağlık/Kozmetik	9	106,78			
	Dekorasyon/Ev tekstili	7	152,86			
	Elektronik	23	117,98			
	Cafe/Restaurant	54	108,36			
	Kitap/Kırtasiye	2	225			
	Eğlence	19	144,45			
	Hizmet	23	163,93			
	Kiosk	7	124			
Uyuklama	Hazır giyim	76	110,06	57,845	0,000	Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre Uyuklama görülme sıklığı açısından çalışılan kategoriye dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	Ayakkabı/çanta	17	119,5			
	Mücevher/Aksesuar	3	153,5			
	Sağlık/Kozmetik	9	69			
	Dekorasyon/Ev tekstili	7	104			
	Elektronik	23	130,61			
	Cafe/Restaurant	54	111,44			
	Kitap/Kırtasiye	2	197			
	Eğlence	19	81,89			
	Hizmet	23	208,33			
	Kiosk	7	135,86			
Motivasyon Eksikliği	Hazır giyim	76	112,66	49,983	0,000	Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre Motivasyon Eksikliği görülme sıklığı açısından çalışılan kategoriye dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	Ayakkabı/çanta	17	141,71			
	Mücevher/Aksesuar	3	147,17			
	Sağlık/Kozmetik	9	57,28			
	Dekorasyon/Ev tekstili	7	139,71			
	Elektronik	23	108,87			
	Cafe/Restaurant	54	101,71			
	Kitap/Kırtasiye	2	203,75			
	Eğlence	19	109,26			
	Hizmet	23	197,22			
	Kiosk	7	142,57			

Tablo 6.(devam) Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre sağlık semptomlarının görülme sıklığı değişkenleri arasındaki Kruskal-Wallis Testi sonuçları

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	N	Ortalama Sıra	χ^2	Sig.	Açıklama
	Çalışılan Kategori					
Yorgunluk Hissi	Hazır giyim	76	102,53	46,611	0,000	Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre Yorgunluk Hissi görülme sıklığı açısından çalışılan kategoriye dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	Ayakkabı/çanta	17	129,79			
	Mücevher/Aksesuar	3	158,17			
	Sağlık/Kozmetik	9	65,5			
	Dekorasyon/Ev tekstili	7	148,5			
	Elektronik	23	130,28			
	Cafe/Restaurant	54	101,67			
	Kitap/Kırtasiye	2	205,5			
	Eğlence	19	136,21			
	Hizmet	23	186,98			
	Kiosk	7	147,43			
Baş Ağrısı	Hazır giyim	76	101,55	36,137	0,000	Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre Baş Ağrısı görülme sıklığı açısından çalışılan kategoriye dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	Ayakkabı/çanta	17	124,5			
	Mücevher/Aksesuar	3	174,17			
	Sağlık/Kozmetik	9	69,89			
	Dekorasyon/Ev tekstili	7	131,93			
	Elektronik	23	139,98			
	Cafe/Restaurant	54	105,63			
	Kitap/Kırtasiye	2	217,5			
	Eğlence	19	154,87			
	Hizmet	23	155,26			
	Kiosk	7	162,71			
Sinirlilik	Hazır giyim	76	116,82	20,599	0,000	Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre Sinirlilik görülme sıklığı açısından çalışılan kategoriye dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	Ayakkabı/çanta	17	118,44			
	Mücevher/Aksesuar	3	204,17			
	Sağlık/Kozmetik	9	60,5			
	Dekorasyon/Ev tekstili	7	125			
	Elektronik	23	135,07			
	Cafe/Restaurant	54	108,56			
	Kitap/Kırtasiye	2	107,75			
	Eğlence	19	135,89			
	Hizmet	23	149,5			
	Kiosk	7	113,07			
Aşırı Zihin Yorgunluğu	Hazır giyim	76	99,22	48,005	0,000	Katılımcıların çalıştıkları kategoriye göre Aşırı Zihin Yorgunluğu görülme sıklığı açısından çalışılan kategoriye dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.
	Ayakkabı/çanta	17	116,09			
	Mücevher/Aksesuar	3	167,5			
	Sağlık/Kozmetik	9	65,61			
	Dekorasyon/Ev tekstili	7	157,86			
	Elektronik	23	135,89			
	Cafe/Restaurant	54	105,17			
	Kitap/Kırtasiye	2	177,5			
	Eğlence	19	146,11			
	Hizmet	23	187,22			
	Kiosk	7	138			

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Uygulanan anket çalışmasından elde edilen bulgular doğrultusunda AVM çalışanlarının cinsiyet durumu neredeyse eşit bir dağılımda, büyük bir çoğunluğu 18-37 yaş arası genç çalışmandan oluşmaktadır. Çalışanlarının çoğunluğu bekârdır ve kronik hastalığa sahip olma oranı %1,3-4,2 arasında olup, %35'inin sigara kullandığı tespit edilmiştir.

Isıl konfor koşulları değerlendirildiğinde çalışanların büyük bir yüzdesinin çalıştığı ortamı olumlu olarak değerlendirdiği ancak kat dağılımlarına bakıldığında özellikle bodrum katlarda memnuniyet durumunun önemli oranda azaldığı görülmüştür. Çalışma sadece kış koşullarında gerçekleştirilmiş olup sorulan sorularla yaz dönemi konfor değerlendirilmesi istenmiştir. Bu doğrultuda yaz ve kış mevsimi arasında ısı konfor memnuniyet durumunda önemli bir fark izlenmemiştir. Ayrıca ASHRAE 55'e göre kullanıcıların %80'inin, TS EN ISO 7730'a göre ise %90'ının ortam koşullarından memnun olduğu durum konforlu olarak kabul edilmektedir [9, 13]. AVM çalışanlarının %26,7'si ısı konfordan memnun değildir. Bu durumda AVM ısı konfor koşullarının uygun olmadığı sonucunu ortaya koymaktadır.

İç hava kalitesi açısından değerlendirmede, çalışanların %21-37 oranında ortamda yetersiz temiz hava olduğu ayrıca toz ve kokudan rahatsızlık duyduğu, diğerlerinin ise iç hava koşullarından herhangi bir rahatsızlık hissetmediği görülmektedir. Katılımcıların çalıştığı birimin fonksiyonuna bağlı olarak bu değerlendirmenin farklılık gösterdiği izlenmiştir. Özellikle bodrum katlarda çalışanlarda, ayrıca kafe/restoran, hazır giyim ve ayakkabı/çanta mağazalarında olumsuz etkilerin daha sık görüldüğü söylenebilir. Bu durumun mağaza duvar, döşeme kaplamaları gibi bitiş malzemeleri ve dekorasyonda kullanılan ve ticaret nesnesi olarak satılan ürünlerden kaynaklı bir durum olduğu düşünülmektedir. İç ortam sıcaklığı ve nemlilik düzeyinin, kullanıcılar için uygun değerde olmamasının büyük ölçüde mukozal sağlık sorunlarına yol açtığı bilinmektedir [61]. Ayrıca iç ortam havasının tozlu olması ve rahatsız edici koku bulunması kullanıcılarda astım, boğaz kızarıklığı, yanma, nefes alma zorluğu, burun tıkanıklığı ve akıntısı, öksürük, hapşırık, nefes darlığı gibi solunum sistemi rahatsızlıklarına, göz iritasyonu, yorgunluğu ve kuruluğu, baş ağrısı, baş dönmesi, gerginlik, sinirlilik, konsantrasyon zorluğu, depresyon gibi psikolojik rahatsızlıklara, cilt kuruluğu ve cilt kaşıntısı gibi cilt problemlerine, karın ağrısı ve mide bulantısına yol açtığı bilinmektedir [62-65].

Görsel konfor ile ilgili değerlendirme de çalışanların büyük bir çoğunluğunun (%65) çalışma saatleri içerisinde yeterli düzeyde doğal ışıktan faydalanamadığı görülmüştür. Yetersiz aydınlık mekânlar ve yapay ışık kaynakları ile sağlanmış gereğinden fazla aydınlık mekânlar özellikle uzun vadede sağlık üzerinde fizyolojik ve psikolojik etkiler gösterebilecektir. Bu etkilerden bazıları göz yorgunluğu, baş ağrısı, anatomik duruş bozuklukları ve bunlar kaynaklı eklem ağrıları, halsizlik, motivasyon eksikliği ve iş veriminin düşmesidir. Görsel konfor sağlanamadığında kişinin sirkadyan döngüsünün değişimine yol açarak, hormonal sistemde olumsuz etkiler görüldüğü de bilinmektedir [66-69].

İşitsel konfor açısından yapılan değerlendirmede çalışanların %80'inin işitsel konfor düzeyinden memnun olmadığı görülmektedir. Gürültü kaynağı olarak çoğunlukla iç ortam kaynaklı müzik ve insan sesi gösterilmektedir. Özellikle hazır giyim ve kafe/restoran fonksiyonlarında bu etkinin daha belirgin olduğu görülmüştür. İşitsel konfor uygun olmadığında maruziyet yaşayanlarda duyma problemleri, kardiyovasküler rahatsızlıklar, sindirim sistemi bozuklukları, stres, depresyon, motivasyon bozuklukları, dikkat dağınıklığı, anksiyete, uyku bozuklukları olasıdır [70-72].

Katılımcıların %76'sında en az üç sağlık probleminin her gün, haftada bir veya ayda bir görüldüğü tespit edilmiştir. AVM çalışanlarında ortam kaynaklı görülme olasılığı yüksek olan sağlık etkileri araştırıldığında ise, boğaz kızarıklığı, yanma, ses kısıklığı ve deride kızarıklık, kaşıntı, kuruluk gibi etkenlerin nadir görüldüğü ancak burun tıkanıklığı, akıntılar, gözde kızarıklık, yanma, kuruluk ve uyuklama gibi belirtilerin orta şiddetli olarak; sırt, bel, boyun, eklem ve kas ağrıları, motivasyon eksikliği, yorgunluk, baş ağrısı ve aşırı zihin yorgunluğu gibi belirtiler ise oldukça sık görülmektedir. Kullanıcılar her ne kadar ısı konfor koşulları konusunda olumsuz görüş belirtmeseler de sağlık üzerinde görülen etkilerin özellikle nem eksikliğinden (burun tıkanıklığı, akıntılar, gözde kızarıklık, yanma,

kuruluk) kaynaklanan problemler olduğu görülmüştür. Yorgunluk, uyuklama, aşırı zihin yorgunluğu, sırt, bel boyun, eklem ve kas ağrıları gibi belirtilerin de aydınlatma ve yaygın elektrostatik etki kaynaklı sağlık problemleri olduğu anlaşılmaktadır. Araştırma sonuçlarına göre bu hastalıkların görülme oranı bu AVM'nin çalışanlar için HBS eğilimi gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Günümüzde insanlar yaşamlarının büyük bir çoğunluğunu kapalı ortamlarda geçirmekte ve ortam kaynaklı pek çok olumsuz etkenle karşı karşıya kalmaktadır. Bu çalışma kapsamında da özellikle kapalı plan tipolojisinde yer alan önemli fonksiyonlardan biri olan AVM yapılarının tercih edilme nedeni bu etkilerin diğer yapılara nazaran daha fazla görülebileceği üzerine kurulan hipotezdir. Gün ışığı insanın psikolojik sağlığını olumlu yönde etkileyici, motivasyonunu artırıcı etkisinin yanı sıra fizyolojik olarak da hormonal dengemizin sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Gün ışığından mahrum olma durumunda da sağlığı tehdit edecek olumsuz etkilerle karşı karşıya kalınacağı da açıktır. Ancak bu bulgular uzun vadede etki gösterdiğinden önemi anlaşılabilir. Bu çalışma ile bu konunun önemine dikkat çekilerek, tasarım yaklaşımının sadece yapı fonksiyonu ve estetiği konularında başarı odaklı olmayıp, uzun saatler bu yapıda zaman geçiren kullanıcıların da dikkate alınarak tasarım yaklaşımı geliştirilmesi önerilmektedir. Özellikle bu tür yapılarda çalışanların çalışma saatlerinin organizasyonunda belirli düzenlemeler yapılması da tavsiye edilebilir. Alışveriş merkezi tasarımlarında tamamen yapay iklimlendirme ile ısıtılan ve soğutulan mekânlar yerine pasif tasarım yaklaşımları ile de çözüm aranmalıdır. Ayrıca yapay aydınlatmalarda led vb. insan sağlığına olumsuz etki gösterebilecek aydınlatma armatürlerinin yerine enerji tasarrufu da sağlayabilen pencereler, çatı ışıklıkları, çatı fenerleri, atriumlar, ışık rafları, ışık tüpleri, anadolik tavanlar, heliostatlar, prizmatik paneller gibi sistemlerden yararlanılması fayda sağlayacaktır. Bu durumun sirkadyan döngüyü dolayısıyla insan sağlığını olumlu etkileyebileceği bilici oluşmalıdır. Kullanıcı konforu olgusunun ön planda tutulduğu yapıların sağlıklı bireyler dolayısıyla sağlıklı toplum oluşumuna büyük ölçüde fayda sağlayacağı unutulmamalıdır.

IV. KAYNAKLAR

- [1] S. E. Seker, "Maslow'un ihtiyaçlar piramidi," *YBS Ansiklopedisi*, c. 1, s. 1, ss. 44-45, 2014.
- [2] S. Habıbbı, "Bina kabuğunun enerji etkin üzerine ısı, ışık ve ses açısından bir çalışma incelenmesi," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [3] Y. Epstein ve D. S. Moran, "Thermal comfort and the heat stress indices," *Industrial Health*, c. 44, s. 3, ss. 388-38, 2006.
- [4] F. Şenkal Sezer, "Sağlık ocaklarında konfor koşullarının değerlendirilmesi: Bursa/Nilüfer örneği," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 28, s. 1, ss. 197-208, 2015.
- [5] G. K. Oral, A. K. Yener ve N. T. Bayazit, "Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions," *Building and Environment*, c. 39, ss. 281-287, 2004.
- [6] M. Özdamar ve F. Umaroğulları, "Thermal comfort and indoor air quality," *International Journal of Scientific Research, and Innovative Technology*, c. 5, s. 3, ss. 90-109, 2018.
- [7] İ. Atmaca ve A. Yiğit, "Isıl konfor ile ilgili mevcut standartlar ve konfor parametrelerinin çeşitli modeller ile incelenmesi," *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 2009, ss. 543-555.
- [8] S. C. Sekhar, "Thermal comfort in air-conditioned buildings in hot and humid climates –why are we not getting it right?," *Indoor Air*, c. 26, s.1, ss. 138-152, 2016.
- [9] *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, ASHRAE Standart-55, 2013

- [10] H. Güler ve S. Ülkü, “Bitişik nizamli villa tipi konutlarda yapısal konfor koşulları üzerine bir araştırma,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 12, s. 2, ss. 97-197,2007.
- [11] U. Rahle, “Desiccant kurutma ile nem kontrolü,” *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, s. 95, ss. 37-42, 2006.
- [12] C. İmancı, “Döküm atölyelerinde termal konfor şartlarının incelenmesi,” İş sağlığı ve güvenliği uzmanlık tezi/araştırma, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı/İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 2014.
- [13] *Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, ISO 7730,2005.
- [14] F. Zoroğlu ve G. Zorer Gedik, “An evaluation of thermal comfort conditions in shopping malls in Istanbul,” in *International Research Conference on Sustainable Energy, Engineering, Materials and Environment (IRCSEEME)*, Newcastle, United Kingdom, 2017, ss. 1-8
- [15] E. Mihlayanlar, S. Kartal ve Ş. Y. Erten, “Yükseköğretim yapılarında ısı konfor şartlarının araştırılması: Mimarlık Fakültesi Örneği,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 21, s. 3, ss. 917-927, 2017.
- [16] A. B. Atmaca ve G. Z. Gedik, “Determination of thermal comfort of religious buildings by measurement and survey methods: Examples of mosques in a temperate-humid climate,” *Journal of Building Engineering*, c. 30, ss. 101246, 2020.
- [17] Q. J. Kwong, N. M. Adam ve S. H. Tang, “Effect of environmental comfort factors in enclosed transitional,space toward work productivity,” *American Journal of Environmental Sciences*, c. 5, s. 3, ss. 315-324, 2009.
- [18] L. Pistore, F. Cappelletti, P. Romagnoni ve A. Zonta, “Assesment of the IEQ in two high schools by means of monitoring, surveys and dynamic simulation,” *Energy Procedia*, c. 82, ss. 519-525, 2015.
- [19] Y. Yaşar, A. Pehlivan ve E. Altıntaş, “İlköğretim dersliklerinde termal konfor araştırması,” *VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 2007, ss. 199-208.
- [20] İ. Yüksek, E. Mihlayanlar ve T. E. Tıkansak, “Konut kullanıcılarının iç ortam konfor koşullarından memnuniyetlerinin tespitine yönelik bir çalışma,” *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 2015, ss. 2141-2149,
- [21] H. Bulgurcu, N. İlten ve A. Coşgun, “Okullarda iç hava kalitesi problemleri ve çözümler,” *7. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı*, c. 393, s. 1,ss. 601-616, 2005.
- [22] B. Kurutaş, “Bir metal endüstrisindeki çalışma ortamlarının iç hava kalitesinin belirlenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [23] E. Yurtseven, “İki farklı coğrafi bölgedeki ilköğretim okullarında iç ortam havasının insan sağlığına etkileri yönünden değerlendirilmesi”, Doktora tezi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.

- [24] O. Alptekin, “Binalarda iç hava kalitesi toz partiküllerinin iç mekân hava kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007.
- [25] Y. Keskin ve O.Özyaral, “Kapalı alan atmosferinin sağlık üzerine etkileri: kakosmi (kötü koku) sendromu,” *Astım Allerji İmmünoloji*, s. 3, ss. 86 – 96, 2005.
- [26] Y. Keskin, O. Özyaral, R. Başkaya, E.N. Lüleci, S. Avcı ve M. Susur Acar, “Bir kamu binası iç alan atmosferinin mikrobiyolojik kalitesi ve iş ortamı algısının hasta bina sendromu açısından sorgulanması,” *Astım Allerji İmmünoloji*, s. 3, ss. 56–67, 2005.
- [27] V. Quagraine ve N.Boschi, “Behavioral changes can help prevent indoor air-related illness in Ghana,” *Building and Environment*, c. 43, s. 3, ss. 355-361, 2008.
- [28] P. S. Burge, “Sick building syndrome,” *Occupational and Environmental Medicine*, c. 61, s. 2, ss. 185-190, 2004.
- [29] A. H. Rowley ve S. T. Shulman, “Kawasaki Syndrome,” *Clinical Microbiology Reviews*, c. 11, s. 3, ss. 405-414, 1998.
- [30] H. Tezer ve G. Seçmeer, “Kawasaki hastalığında yenilikler,” *Hacettepe Tıp Dergisi*, s. 36, ss. 105-110, 2005.
- [31] A. Tuncer ve Ö.U. Soyer, “Hasta bina sendromu,” *Astım Allerji İmmünoloji*, s. 3, ss. 97–102, 2005.
- [32] EPA (U. S. Environmental Protection Agency), “Indoor Air Pollution: An Introduction for Health Professionals,” s. 1-8, USA: EPA, 1994.
- [33] P. Boyce, C. Hunter ve O. Howlett, *The Benefits Of Daylight Through Windows*, New York: Lighting Research Center, 2003.
- [34] A. K. Yener, “Binalarda günışığından yararlanma yöntemleri: çağdaş teknikler,” *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 2008, ss. 231-241.
- [35] R. Ünver, “External obstructions and internal daylight illuminances,” *International Lighting Congress Proceedings*, Istanbul, Turkey, 2001, ss. 558-566.
- [36] WHO (World Health Organization), *Development of a catalogue of methods: Indoor air pollution*. Geneva, 2005.
- [37] Y. Shang, B. Li, A. N. Baldwin, Y. Ding, W. Yu ve L. Cheng, “Investigation of indoor air quality in shopping malls during summer in Western China using subjective survey and field measurement,” *Building and Environment*, c. 108, ss. 1-11, 2016.
- [38] C. Y. Chun ve A. Tamura, “Thermal environment and human responses in underground shopping malls vs department stores in Japan,” *Building and Environment*, c. 33, s. 2-3, ss. 151-158, 1998.
- [39] P. H. Bloch, N. M. Ridgway ve S. A. Dawson, “The shopping mall as consumer habitat,” *Journal of Retailing*, c. 70, s. 1, ss. 23-42, 1994.

- [40] W. M. Li, S. C. Lee ve L. Y. Chan, *Indoor air quality at nine shopping malls in Hong Kong, in The Science of the Total Environment*, D. Barcelo Culleres and Jay Gan, Ed., USA: Elsevier, 2001, ss. 27-40.
- [41] B. Elyiğit ve C. E. Ekinçi, "Alışveriş merkezlerinin kış şartları için biyohormolojik özelliklerinin incelenmesi," *SDU International Journal of Technologic Sciences*, c. 5, s. 3, ss. 8-17, 2013.
- [42] Ş. F. Sezer, V. T. Arslan, ve A. Çatantimur, "Alışveriş merkezlerinde kullanıcı memnuniyetinin konfor koşulları açısından değerlendirilmesi: Bursa örneği," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 19, s. 1, ss. 81-95, 2014.
- [43] H. Abdullah, Q. Meng, L. Zhao ve F. Wang, "Field study on indoor thermal environment in an atrium in tropical climates," *Building and Environment*, c. 44, s. 2, ss. 431-436, 2009.
- [44] B. Chen ve J. Kang, "Acoustic comfort in shopping mall atrium spaces-A case study in Sheffield Meadowhall," *Architectural Science Review*, c. 47s. 2, ss. 107-114, 2004.
- [45] E. B. Çalışkan, "AVM tipolojilerinin işitsel konforunun değerlendirilmesi," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [46] K. Demir, "Noise control and constructural preventions at shopping centers: two examples in Ankara," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2003.
- [47] P. N. Dökmeci, "Acoustical comfort evaluation in enclosed public spaces with a central atrium: A case study in food court of Cepa Shopping Center," Yüksek Lisans tezi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Bilkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2009.
- [48] Z. U. Ahmed, M. Ghingold ve Z. Dahari, "Malaysian shopping mall behavior: An Exploratory study," *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, c. 19, s. 4, ss. 331- 348, 2007.
- [49] M. J. Mendell ve G. A. Heath, "Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student, performance? A critical review of the literature," *Indoor Air Journal*, c. 15, ss. 27-32, 2005.
- [50] M. I. El-Adly, "Shopping malls attractiveness: A segmentation approach," *International Journal of Retail & Distribution Management*, c. 35, s. 11, ss. 936-950, 2007.
- [51] J. R. DeLisle, "Shopping center classifications: challenges and opportunities," *ICSC Working Paper Series, Research Review*, c. 12, s. 2, ss. 96-101, 2005.
- [52] Sabri Paşayığıt Architects. (2019, 1 Mayıs). *AVM Proje* [Online] Erişim:<http://www.spdo.com.tr/proje/erogluedirne-avm/177>
- [53] R. Altunışık, R. Coşkun, S. Bayraktaroğlu ve E. Yıldırım, *Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri*, 7. baskı, Sakarya, Türkiye: Sakarya Kitabevi, 2012.
- [54] K. Böke, *Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri*, İstanbul, Türkiye: Alfa Yayınları, 2009.
- [55] J. M. Ruane, *Essentials of Research Methods: A Guide to Social Science Research*, United Kingdom: Wiley-Blackwell, 2004.
- [56] Ş. Kalaycı, *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri*, Ankara, Türkiye: Asil Yayın Dağıtım, 2010.


- [57] İ. Seçer, *SPSS ve LISREL ile Pratik Veri Analizi: Analiz ve Raporlaştırma*, Ankara, Türkiye: Anı Yayıncılık, 2013.
- [58] K. zdamar, *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi-1*, Eskişehir, Türkiye: Kaan Kitabevi, 2011.
- [59] N. Gürsakal, *ıkarımsal İstatistik: SPSS-MINITAB Uygulamalı*, Bursa, Türkiye: Dora Yayıncılık, 2009.
- [60] M. Kartal, *Bilimsel Araştırmalarda Hipotez Testleri*, Ankara, Türkiye: Nobel Yayın Dağıtım, 2006.
- [61] P. Skov, O. Valbjorn ve B. V. Pedersen, "Influence of indoor climate on the sick building syndrome in an office environment," *Scand J Work Environ Health*, c. 16, s. 5, ss. 363-371, 1990.
- [62] O. Alptekin ve G. Çelebi, "Toz partiküllerinin i mekân hava kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi," *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 30-49, 2015.
- [63] A. Norhidayaha, C. Lee, M. K. Azharb ve S. Nurulwahidab, "Indoor air quality and sick building syndrome in three selected buildings," *Procedia Engineering*, c. 53, ss. 93-98, 2013.
- [64] A. Hedge, W. A. Erickson ve G. Rubin, "Predicting sick building syndrome at the individual and aggregate levels," *Environment International*, c. 22, ss. 3-19, 1996.
- [65] M. Hodgson, "Indoor environmental exposure and symptoms," *Environmental Health Perspective*, c. 110, s. 4, ss. 663-667, 2002.
- [66] S. H. A. Begemann, G. J. Van Den Beld ve A. D. Tenner, "Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses," *International Journal of Industrial Ergonomics*, c. 20, ss. 231-239, 1997.
- [67] P. R. Boyce, *Human Factors in Lighting*, 2nded., London: Taylor and Francis, 2003.
- [68] R. Kller, "The influence of light on circarhythms in humans," *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, c. 2, s. 21, ss. 87-91, 2002.
- [69] J. A. Veitch ve G. R. Newsham, "Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction, and comfort," *Journal of the Illuminating Engineering Society*, c. 27, s. 1, ss. 107-129, 1998.
- [70] R. F. S. Job, "The influence of subjective reactions to noise on health effects of the noise," *Environment International*, c. 22, ss. 93-104, 1996.
- [71] P. Knipschild, "Medical effects of aircraft noise: General practice survey," *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, c. 40, ss. 197-200, 1977.
- [72] E. P. Sarafino, *Health Psychology: Biopsychosocial Interactions*, 2nded., New York, USA: Wiley, 1994.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Karar Destek Makineleri ve Rastgele Orman Ağaçları Yöntemleri ile Vücut Yağ Yüzdesinin Tahmini

 Burhan BARAKLI^a,  Ahmet KÜÇÜKER^{a,*}

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

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

DOI: 10.29130/dubited.815454

ÖZET

Obezite, önemli bir sağlık problemidir ve yaygınlığı giderek artmaktadır. Bu hastalığın, diğer birçok hastalığın tetikleyicisi ve habercisi olduğu bilinmektedir. Obezite hastalığının tedavi sürecinden önce, vücut yağ yüzdesinin doğru bir şekilde tespit edilmesi önemlidir. Yüksek maliyetli yöntemler ile vücut yağ yüzdesi kesin olarak ölçülmektedir. Bu çalışmada, kişilerden alınan antropometrik veri seti ile vücut yağı yüzdesi tespitinin doğru ve maliyetsiz bir şekilde tahmin edilebilmesi için destek vektör regresyonu ile rastgele orman ağaçları regresyon yöntemleri uygulanmıştır. Regresyon yöntemlerinde, model parametre değerleri, veri sayısı, özellik sayısı ve özellik seçimi tahmin başarımında önemlidir. 13 özellikli vücut yağ yüzdesi veri seti baz alınarak çalışmada, literatürde sıklıkla kullanılan 25 istatistiksel yöntem (çarpıklık, merkezi moment, basıklık vb.) ile yeni bir veri seti oluşturulmuş ve elde edilen yeni veri setinin başarımlarının literatürde yer alan diğer çalışmalardan yüksek olduğu görülmüştür. Regresyon parametrelerinin ızgara tarama yöntemleriyle belirlenmesi sayesinde tahmin doğrulukları artırılmıştır. Ayrıca özellik azaltma yöntemleri ile vücut yağ yüzdesi ile yüksek ilintili özellikler belirlenmiştir. Seçilen özellikler ile gerçekleştirilen regresyon yöntemlerinin tahmin başarımlarının da benzer diğer çalışmalardan yüksek olduğu gözlenmiştir. En iyi ortalama karesel hata değerleri olarak, Rastgele Orman Ağaçları Yöntemi ve istatistiksel yöntemle oluşturulan yeni veri seti ile gerçekleştirilen deneyde 2,2519 değeri elde edilirken, Karar Destek Makinaları ve en iyi 6 F-skor değerine sahip özellikler ile yapılan regresyon deneyinde 3,174 değerine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Vücut yağ yüzdesi, Destek vektör regresyonu, Rastgele orman ağaçları regresyonu*

Estimation of Body Fat Percentage Using Support Vector Machine and Random Forest Methods

ABSTRACT

Obesity is a significant health problem, and its prevalence is increasing. It is known that this disease is the trigger and precursor of many other diseases. Before the treatment of obesity disease, it is important to determine the body fat percentage correctly. Body fat percentage can be measured precisely with high-cost methods. However, these methods are not common to use. In this study, support vector regression and random forest tree regression methods were applied to accurately and cost-effectively estimate body fat percentage with anthropometric data set taken from individuals. In regression methods, model parameter values, number of data, number of features and feature selection are important in prediction performance. In the study based on a 13-featured body fat percentage data set, a new data set was created with 25 statistical methods (skewness, central moment, kurtosis, etc.) frequently used in the literature, and it was observed that the performance of the new data set was higher than other studies in the literature. Estimation accuracy has been increased by determining the regression parameters with grid scanning methods. In addition, features that are highly correlated with body fat percentage were determined with

feature reduction methods. It was observed that the prediction success performance of the regression methods performed with the selected features was higher than other similar studies. As the best mean square error values, the value of 2.2519 was obtained in the experiment performed with the Random Forest Trees Method and the new data set created by the statistical method, while the value of 3.174 was reached in the regression experiment with Decision Support Machines and the properties with the best 6 f-score values.

Keywords: *Body fat percentage, Support vector regression, Random forest*

Geliş: 23/10/2020, Düzeltme: 16/03/2021, Kabul: 25/03/2021

I. GİRİŞ

Çağımızın önemli hastalıkları arasında olan obezite, insan hayatını olumsuz etkileyen ve birçok ölümcül hastalığın oluşmasına neden olan ciddi bir sorundur [1]. Obezite, vücutta bulunan yağ kütlelerinin, yağsız kütleyle oranla aşırı miktarda artması olarak tanımlanmaktadır. Bu sağlık problemi hem çocuklarda hem de yetişkinlerde giderek artan bir seyir izlemektedir. Dolayısıyla bireylere ve devletlere ekonomik bir yük getirmektedir [2].

Vücudun temel enerji kaynaklarından olan vücut yağlarının, vitaminlerin emilimi ve taşınması, vücut ısısının ayarlanması, soğuğa karşı koruma ve hayati organları koruma gibi görevleri vardır. Vücut yağ miktarının yetersiz olması durumunda ise üşüme, vitaminsizlik, halsizlik, çabuk hastalanma ve hormonal dengesizlik gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Vücut yağ miktarının fazla olması durumunda da obezite problemi, Tip 2 diyabet şeker hastalığı, hipertansiyon, kalp hastalıkları, kısırlık, eklem hastalığı olan osteoartrit (kireçlenme), safra kesesi taşı, karaciğer yağlanması, uyku apnesi, venöz (toplardamar yetmezliği), cilt hastalıkları, solunum zorlukları, depresyon ve bazı tümörler dahil olmak üzere bir dizi sağlık problemine sebep olmaktadır [3-4].

Hasta olan kişilerin bir şekilde izlenmesi veya hastalığın teşhisi için, obezitenin kesin ölçüm sonuçlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Obezite, aşırı vücut yağı durumu olarak tanımlanır ve doğrudan herhangi bir niceliksel ölçüt oluşturmaz [5]. Kilo, vücut yağının basit bir niceliksel örneğidir ve ölçülmesi kolaydır, ancak kişinin genel yapısı hakkında bilgi olmadan neredeyse anlamsız bir niceliktir. Ancak vücuttan elde edilen farklı niceliksel bilgiler ile anlamlandırılabilir tanımlamalar türetilmiştir. Örneğin Dünya Sağlık Örgütü tarafından kabul gören Vücut Kitle Endeksi (Body Mass Index (BMI)), vücut boy ve kilo bilgilerinin kullanılması ile formüle edilmiştir [6].

Obeziteyi ölçmek için yaygın olarak kullanılan BMI, ucuz ve uygun bir yoldur. Ancak BMI, yetersiz sayıda parametrelerden hesaplandığından sağlık sonuçlarını tahmin etmekte genellikle yetersiz performans göstermektedir [7]. Bel çevresi veya bel-kalça oranı gibi ilave parametreler ile BMI'nin yetersizlikleri giderilmeye çalışılmıştır [8]. Ayrıca BMI, yağ ve yağsız kütle arasında ayırım yapamayan beslenme durumunu göstermektedir [9]. Vücut yağı oranı ise, obeziteyi ölçmenin daha iyi bir yolu olan gerçek vücut kompozisyonu durumunu göstermektedir [10].

Vücut yağ kütlelerinin kendisinin veya vücut yağ yüzdesinin (Body Fat Percentage (BFP)) doğrudan ölçümü daha iyi bir yaklaşım olmasına rağmen, ölçümü zordur ve geniş bir kullanım için uygun değildir. Doğru ölçüm yapan yöntemler arasında su altı tartımı [11,12], X-ışını absorpsiyometrisi [13], biyoelektrik empedans analizi [14], manyetik rezonans görüntüleme [15], havada yer değiştirme pletismografisi [16] ve yakın kızılötesi etkileşim [17] gibi yöntemler bulunmaktadır. Ancak, bu yöntemler özel ekipman gerektirdiğinden, vücut yağının doğrudan ölçümü için zor, uygunsuz ve maliyetlidir. Bu nedenle, BFP'nin temel sosyodemografik veriler (yaş, cinsiyet), temel antropometrik veriler (ağırlık, boy, bel çevresi) ve rutin kan alımından elde edilen temel laboratuvar parametreleri gibi kolayca ölçülebilir parametrelerden tahmin edilebilmesi önemlidir [18-20].

BFP'nin tahminini bir regresyon problemi olarak ele alan birkaç çalışma bulunmaktadır. Bir tahmin modeli oluşturabilmek için kişinin yaşı, kilosu, boyu ve vücut çevresi gibi kolayca ölçülebilir özellikleri dikkate alan bir çalışma gerçekleştirilmiştir [21]. Destek vektör makinesi (Support Vector Machine (SVM)) kullanarak vücut yağını tahmin etmede etkili sonuçlar elde edilmiştir [22,23]. Yapay sinir ağlarını (YSA) [10,20] kullanarak yapılan çalışmalarda, BMI hesaplarını baz alan diğer çalışmalara [24-25] göre yüksek başarı oranı gözlenmiştir. Daha az parametre ile BFP tahmini için iyi sonuçlar elde edebilen yeni akıllı hibrit yaklaşımlar [26,27] tarafından önerilmiştir. Tıbbi cihazlardan, elektronik-tıbbi sağlık kayıtlarından, akıllı telefon uygulamalarından elde edilen verilerden BFP tahmini gerçekleştirilen bir çalışmada, lojistik regresyon, YSA ve karar ağacı dahil olmak üzere farklı makine öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Çalışmada regresyon tahmin modellerinin, BFP'nin tahmini için iyi performansla sahip olduğu belirtilmiştir [28]. Fotopletismografi ile elde edilen verilerden makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak BFP tahmininde etkili bir yöntem [29]'da sunulmuştur.

Literatürden elde edilen izlenim, regresyon yöntemlerinin uygun, maliyetsiz ve başarılı çıktılar ürettiğidir. Bu nedenle, bu çalışmada destek vektör regresyonu (SVR) [30] ve rastgele karar ağaçları (RF) [31] BFP'nin tespiti için kullanılmıştır. Gerçek bir veri tabanından elde edilen temel sosyodemografik veri seti (yaş, cinsiyet) ve temel antropometrik veri seti (ağırlık, boy, bel çevresi) ile BFP'in bu parametrelerden ne kadar iyi tahmin edilebileceği araştırılmıştır. Ayrıca orijinal veri setinden yeni özellikler çıkartılmış ve veri seti genişletilmiştir. BFP değerinin tahmini hem orijinal veri setinden hem de genişletilmiş veri setinden faydalanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunların yanı sıra özellik seçimi ve özellik azaltımının regresyon yöntemlerinin başarısına olan katkısı incelenmiştir. Özellik seçimi için tek değişkenli doğrusal regresyon (TDDR) ve özellik azaltımı için ise temel bileşenler analizi (PCA) yöntemi uygulanmıştır.

II. GEREÇ VE YÖNTEMLER

BFP tahmini genel blok diyagramı Şekil 1 ile verilmiştir. Orijinal veri setine, veri seti artırımı ile oluşturulan veri setlerine iki farklı regresyon yöntemi uygulanmıştır. Regresyon başarımını arttırmak için en iyi parametre tahmini algoritmaları kullanılarak regresyon parametrelerin doğru seçilmesi hedeflenmiştir. Eğitim verisi ve test verisinin başarımını doğru elde edebilmek amacıyla k katmanlı çapraz doğrulama algoritması kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışmanın organizasyonu

Bu çalışmada 252 kişiden elde edilen elde edilen 13 özellikli bir veri seti (vs1) üzerinde çalışılmıştır [32]. Ölçüm sonuçlarından elde edilen antropometrik verilerin (vs1=Tablo 1 [X1-X13]) açıklamaları Tablo 1'de verilmiştir. Veri setindeki BFP'nin belirlenmesi için [33]'ten yararlanılmıştır.

vs1'deki özellikler ve istatistik yöntemler uygulanarak 25 özellikli yeni bir veri seti (vs2=Tablo 1 [X14-X38]) oluşturulmuştur. Üçüncü bir veri seti olan vs3 ise vs1 ve vs2 birleştirilerek elde edilmiştir.

Bir bağımsız ile bir bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi belirlemeye yarayan TDDR yöntemi (F-skor başarımı) kullanılarak, BFP ile ilgili özelliğin ilintisi Tablo 1'de üçüncü sütunda verilmiştir [34]. BFP ile ilintisi yüksek olan özellikler, vs1 veri setinde X6 adlı özellik (abdomen çevresi=karın çevresi) ve vs2 veri setinde ise dağılımın simetrik olup olmama derecesini belirten (çarpıklık) X15 adlı özellik olmuştur.

Orijinal veri seti vs1'in ikili özellikleri arasındaki ilişkinin dağılımı Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi farklı iki özellik birbiri ile ilişkilidir. Bazı ikili özellikler doğrusal olmayan bir

şekilde ilişkili iken (örneğin, Bilek ve Yaş), çoğu özellik doğrusal olarak birbiri ile ilişkilidir (örneğin, Boyun ve Ağırlık, Göğüs ve Abdomen). Ek olarak, ağırlık özelliğinin diğer özelliklerle güçlü bir ilişkisi varken boy özelliği diğer özelliklerle daha zayıf ilişki göstermektedir.

Tablo 1. Veri setlerine ait özellikler

Ad	Özellik	F-skor	Ad	Özellik	F-skor
X1	Yaşı (Yıl)	5.47	X21	Hijort Hareketlilik Katsayısı	18.28
X2	Boy (cm)	0.34	X22	Hijort Karmaşıklık Katsayısı	12.26
X3	Ağırlık (kg)	25.06	X23	Maksimum değeri	0.34
X4	Boyun çevresi (cm)	15.31	X24	Medyan değeri	6.59
X5	Göğüs çevresi (cm)	36.89	X25	Mutlak Sapma	24.72
X6	Abdomen çevresi(cm)	56.68	X26	Minimum değeri	7.47
X7	Kalça çevresi (cm)	25.99	X27	Merkezi Moment	13.23
X8	Uyluk çevresi (cm)	19.21	X28	Ortalama değeri	3.31
X9	Diz çevresi (cm)	15.69	X29	Ortalama Eğri Uzunluğu	7.63
X10	Ayak Bileği çev. (cm)	4.18	X30	Ortalama Enerji	27.79
X11	Açık Kol Biceps çevresi (cm)	14.66	X31	Ortalama Karakök RMS değeri	28.72
X12	Ön kol çevresi (cm)	7.63	X32	Standart hata	10.20
X13	Bilek çevresi (cm)	7.47	X33	Standart Sapma	10.20
Y	Vücut Yağ Yüzdesi		X34	Şekil Faktörü	17.73
X14	Kurtosis - Basıklık	53.34	X35	Tekil Değer Ayrışımı	28.72
X15	Skewness - Çarpıklık	54.67	X36	"%25" için kesilmiş ortalama değeri	41.59
X16	Çeyrekler arası genişlik	45.49	X37	"%50" için kesilmiş ortalama değeri	41.02
X17	Değişim Katsayısı	25.18	X38	5 Ortalama Teager Enerjisi	3.31
X18	Geometrik ortalama	34.32			
X19	Harmonik ortalama	28.01			
X20	Hijort Aktivite Katsayısı	10.06			

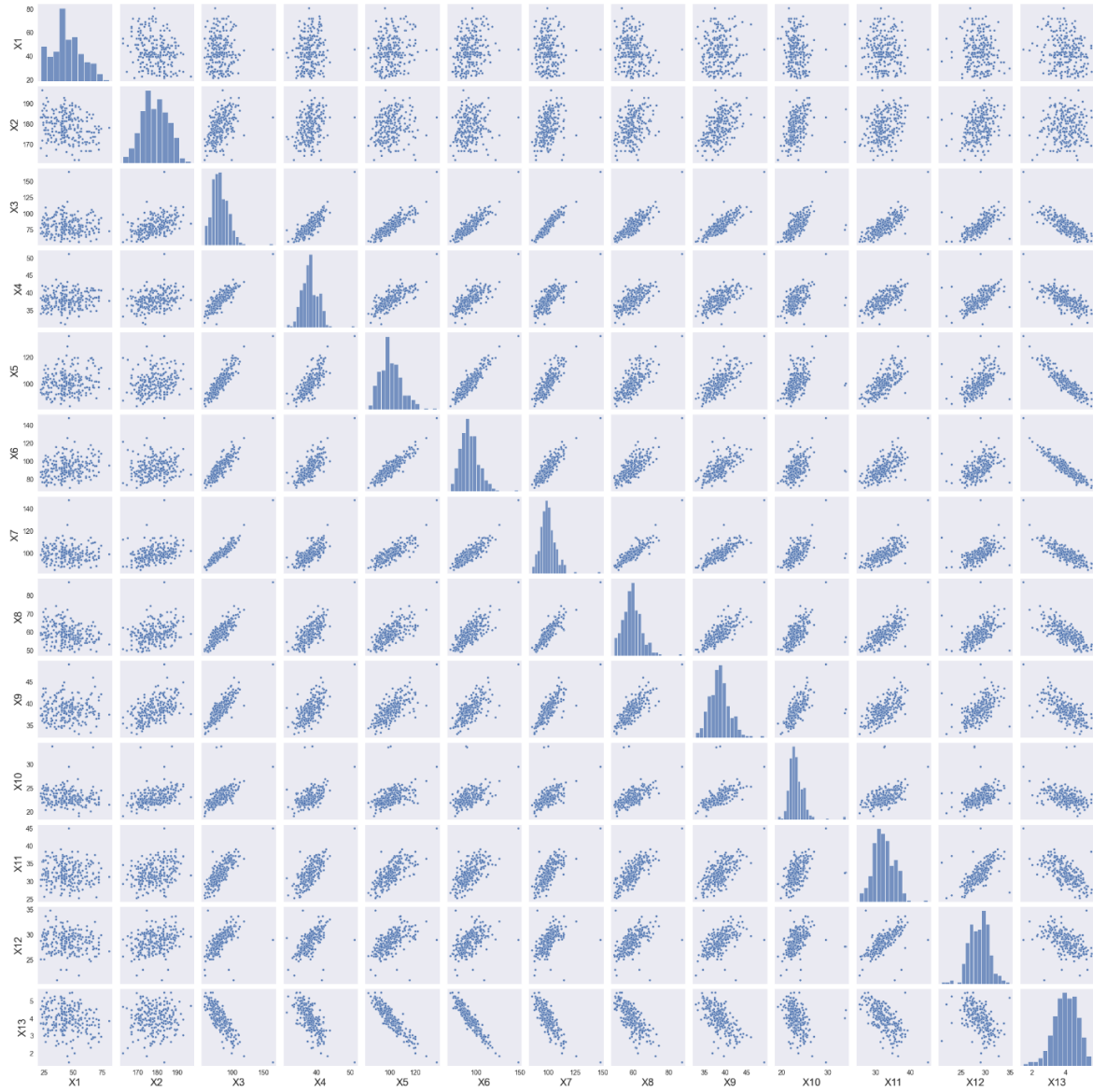
A. TEK DEĞİŞKENLİ DOĞRUSAL REGRESYON ANALİZİ

Regresyon analizi yöntemi, değişkenler veya özellikler arasındaki ilintinin gücü ve yönü hakkında bilgi veren bir ölçüm yöntemidir. TDDG analizi [34] ise, bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi sayısal olarak belirleyen bir analiz yöntemidir. Bu analizle bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki bir doğru denklemi ile formüle edilmektedir. Vektör olarak verilen $X1, X2, \dots, XM$ bağımsız değişkenler ve $Y1, Y2, \dots, YM$ bağımlı değişkenlerin her biri normal dağılıma sahip iki popülasyondan aynı şekilde dağıtılmış örnekler olmak üzere bir lineer regresyon hipotez fonksiyonu Eş. 1. ile verilmektedir.

$$h_{\theta}(x) = \theta_1 x + \theta_0 \quad (1)$$

Eş. 2'de θ parametrelerini optimum olarak hesaplayabilmek için bir maliyet fonksiyonu verilmiştir. Maliyet fonksiyonun minimum değerini hesaplamak amacıyla Bayır İniş Algoritması yöntemi [35] kullanılmış ve Eş. 3'te verilmiştir. α öğrenme katsayısı ve m örnek sayısı olmak üzere, amaç fonksiyonu $\theta_0^*, \theta_1^* = \underset{\theta_0, \theta_1}{\operatorname{argmin}} J(\theta_0, \theta_1)$ 'dir.

$$J(\theta_0, \theta_1) = \frac{1}{2m} \sum_{i=0}^m (h(x^{(i)}) - y^{(i)})^2 \quad (2)$$



Şekil 2. vs1 veri seti ikili özellikler arası ilişki

Maliyet fonksiyonun minimum değeri hesaplanana kadar, Eş. 3'teki θ_0 ve θ_1 parametreleri bir iterasyon ile elde edilir.

$$(\theta_0, \theta_1) \leftarrow (\theta_0, \theta_1) - \alpha \frac{\partial J(\theta_0, \theta_1)}{\partial} \quad (3)$$

Bu çalışmada giriş özelliklerinin çıkış değişkenine katkısını araştırmak amacıyla her bir özellik için doğrusal regresyon oluşturulmuş ve en optimum $y(x) = \theta_1 x + \theta_0$ belirlenmiştir. Her özelliğe ait başarımlar için TGDD yöntemindeki F-skoru hesaplanmıştır. Özellik sayısı k olmak üzere, $\bar{X}[k]$ ve $\bar{Y}[k]$ ortalama değer dizileri,

$$\bar{X}[k] = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_k[i] \text{ ve } \bar{Y}[k] = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_k[i] \quad (4)$$

olarak Eşit. 4'teki gibi verilebilir. Varyans dizileri $S_x^2[k]$ ve $S_y^2[k]$ Eşit. 5.'te verilmiştir.

$$S_x^2[k] = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (X_k[i] - \bar{X}[k])^2 \text{ ve } S_y^2[k] = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_k[i] - \bar{Y}[k])^2 \quad (5)$$

F-skoru Eşit. 6'daki gibi hesaplanır. Bu dizi, giriş özelliklerinin her biri için F-skor değerini vermektedir ve Tablo 1'de bu değerler üçüncü sütunda verilmektedir.

$$F[k] = \frac{S_x^2[k]}{S_y^2[k]} \quad (6)$$

B. KARAR DESTEK MAKİNESİ REGRESYONU (SVR)

SVR çekirdek-tabanlı dönüşümlerde, giriş verileri yüksek boyutlu özellik uzaylarına taşınır ve bu uzayda doğrusal regresyon gerçekleştirilir.

Giriş verisi $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^N$ olmak üzere, SVR yönteminin amaç ve kısıt ifadesi Eşit. 7 ile ifade edilir.

$$\underset{\mathbf{w}, C, \varepsilon_i}{\operatorname{argmin}} \frac{1}{2} \langle \mathbf{w}, \mathbf{w} \rangle + C \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i + \varepsilon_i^*) \quad (7)$$

$$\text{Kısıt: } \begin{cases} y_i - \langle \mathbf{w}, \mathbf{x}_i \rangle - \theta_0 \leq \varepsilon + \varepsilon_i \\ \langle \mathbf{w}, \mathbf{x}_i \rangle + \theta_0 - y_i \leq \varepsilon + \varepsilon_i^* \\ \varepsilon_i, \varepsilon_i^* \geq 0 \end{cases}$$

Amaç fonksiyonundaki C regülasyon parametresi, $\mathbf{w} = (\theta_1, -1)$, ε esnek kenar payı, ε_i ve ε_i^* ise esnek değişkenlerdir. İki kısıtı olan doğrusal olmayan bir fonksiyonun çözümü için dual-çözüm önerilmektedir [36]. Dual çözüm için kullanılan Lagrange parametreleri, Eşit. 7'ye (α, β) parametrelerinin eklenmesiyle oluşan lagrange fonksiyonu Eşit. 8'deki gibi elde edilmektedir.

$$L := \frac{1}{2} \langle \mathbf{w}, \mathbf{w} \rangle + C \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i + \varepsilon_i^*) - \sum_{i=1}^n (\beta_i \varepsilon_i + \beta_i^* \varepsilon_i^*) - \sum_{i=1}^n \alpha_i (\varepsilon + \varepsilon_i - \langle \mathbf{w}, \mathbf{x}_i \rangle + \theta_0 - y_i) - \sum_{i=1}^n \alpha_i^* (\varepsilon + \varepsilon_i^* + y_i - \langle \mathbf{w}, \mathbf{x}_i \rangle - \theta_0) \quad (8)$$

L fonksiyonunu en küçükleyen $\mathbf{w}, \theta_0, \varepsilon$ ve ε_i^* parametreleri için kısmi türevlerin alınıp, Eşit. 6'da yerine yazılırsa amaç ve kısıt fonksiyonu Eşit. 7'deki gibi oluşur.

$$\begin{cases} \max_{\alpha_i, \alpha_i^*} L = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*)(\alpha_j - \alpha_j^*) \langle \mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j \rangle - \varepsilon \sum_{i=1}^n (\alpha_i + \alpha_i^*) + y_i \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) \\ \text{kısıt fonksiyonu: } \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) = 0 \text{ ve } \alpha_i, \alpha_i^* \in [0, C] \end{cases} \quad (9)$$

(10)

$$w = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) x_i$$

$$f(x) = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) \langle x_i, x \rangle + \theta_0 \quad (11)$$

Eş. 10 ve Eş. 11 ile verilen denklemler doğrusal SVR olarak adlandırılmaktadır. Ancak, Eş. 11 doğrusal olmayan problemlerin çözümünde uygun olmayan sonuçlar üretebilmektedir. Bu nedenle giriş özellikleri bir üst uzaya taşınmaktadır ve üst uzayda uygulanacak olan lineer regresyonlar daha başarılı sonuçlar vermektedir. $\Phi: R^2 \rightarrow R^3$ haritalamayı ve çekirdek hilesi olan $K(x_i, x) = \langle \Phi(x_i), \Phi(x) \rangle$ olmak üzere, çekirdeğin Eş. 10 ve Eş. 11'de yerine yazılmasıyla doğrusal olmayan problemlerinde başarılı çıktılar üreten SVR regresyonu elde edilmektedir.

$$w = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) \Phi(x_i) \quad (12)$$

$$f(x) = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) k(x_i, x) + \theta_0 \quad (13)$$

Bu çalışmada sıkça kullanılan ve doğrusal olmayan problemlerde başarılı sonuçlar veren Radial temelli fonksiyon (RBF) kullanılmıştır. RBF kerneli $k(x_i, x) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2)$ olarak tanımlanmıştır.

C. RASTGELE ORMAN AĞAÇLARI (RF) İLE REGRESYON

Bir karar ağacı, hiyerarşik olarak organize edilmiş ve bir kökten ağacın bir uç düğümüne veya yaprağına arka arkaya uygulanan bir dizi kısıtlama veya koşulu temsil etmektedir [37]. Karar ağacı, bir kök düğümü ile başlar. Bu düğümde, karar ağacı öğrenme algoritmasına göre bölünmeler gerçekleşir. Nihai sonuç, her dalın olası bir karar senaryosu ve sonucunu temsil ettiği bir karar ağacıdır. RF yöntemi ise, birden fazla karar ağacını oluşturur ve daha doğru ve istikrarlı bir tahmin elde etmek için karar ağaçlarını birleştirilir [38]. RF ile bir x değerine ait tahmini hesaplamak için, her bağımsız ağaç için Eş. 14 kullanılır.

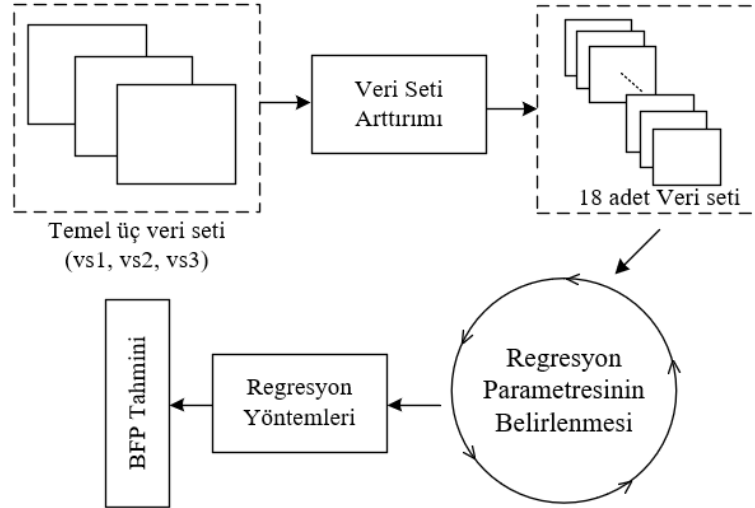
$$\widehat{f}_{rf}^B(x) = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B T(x; \Theta_b) \quad (14)$$

Θ_b , b inci rasgele orman ağacını, bölünmüş değişkenler, düğümlerdeki kesme noktalarını ve B ağaç sayısını ifade eder.

III. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve SONUÇLARI

Bu çalışmada BFP değerinin regresyon yöntemleriyle tahmini için gerçek bir veri seti (vs1) kullanılmaktadır. Bu veri setinden ilk önce vs2 ve vs3 oluşturulmuş, ardından TGDD ve PCA yöntemleri ile BFP değeri ile yüksek ilintili belli sayıda özellikler seçilerek ve temel bileşenler belirlenerek 15 adet veri seti daha üretilmiştir. Veri setlerinin özeti Tablo 2'de açıklanmıştır. Tablo 2'de verilen 18 veri setine SVR ve RF regresyon yöntemleri uygulanmaktadır. Örnek olarak, S3 adlı veri seti; 35 özellikli bir veri setidir. S11 adlı veri seti; vs1 veri setine PCA yöntemi uygulanarak elde edilen iki temel bileşen özelliğine sahip veri seti ve S15 ise vs2 veri setindeki F-skor değeri en iyi olan ilk 6 değişken özellikli bir veri setidir.

BFP tahmini için oluşturulan regresyon çalışmasının blok akış şeması Şekil 3'te verilmiştir. Regresyon yöntemlerinde eğitim parametrelerinin değerleri önemlidir. Bu nedenle en uygun regresyon parametrelerinin belirlenmesi için bir yöntem gereklidir. Bu amaçla, bir döngü oluşturularak (grid arama) regresyonlara ait en iyi sonucu veren parametreler belirlenmiş ve regresyon yöntemleri 20 kez koşturularak, sonuçların ortalaması alınmıştır.



Şekil 3. Yöntemlere ait akış diyagramı

Tablo 2. Regresyon yöntemlerinin uygulandığı 18 veri setinin adları ve açıklamaları

Veri Seti Adı	Uygulama Veri Seti	Özellik Sayısı	Veri Setinin Açıklaması
S1	vs1	13	Orijinal veri seti
S2	vs2	25	İstatiksel yeni özellikler
S3	vs3	38	vs1+vs2 veri seti
S4	vs1	2	PCA bileşenleri
S5	vs2	2	PCA bileşenleri
S6	vs3	2	PCA bileşenleri
S7	vs1	4	PCA bileşenleri
S8	vs2	4	PCA bileşenleri
S9	vs3	4	PCA bileşenleri
S10	vs1	2	F-skor ile elde edilen özellikler
S11	vs1	4	F-skor ile elde edilen özellikler
S12	vs1	6	F-skor ile elde edilen özellikler
S13	vs2	2	F-skor ile elde edilen özellikler
S14	vs2	4	F-skor ile elde edilen özellikler
S15	vs2	6	F-skor ile elde edilen özellikler
S16	vs3	2	F-skor ile elde edilen özellikler
S17	vs3	4	F-skor ile elde edilen özellikler
S18	vs3	6	F-skor ile elde edilen özellikler

Son adımda antropometrik ölçümler ile BFP arasındaki ilişki istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bu şekilde orijinal özelliklerin, türetilen özelliklerin, her iki özellik setinin birleştirilmesiyle oluşturulan toplam özelliklerin, PCA ile elde edilen temel bileşenlerin ve BFP ile ilintisi yüksek olan özellikler ile oluşturulan tüm veri setinin başarımları karşılaştırılmıştır.

A. REGRESYON PARAMETRELERİ VE KARŞILAŞTIRMA METRİKLERİ

Parametre ayarları ve doğrulama için, sırasıyla çapraz doğrulama ile grid arama teknikleri bir arada kullanılmıştır [39]. Regresyon yöntemlerinin başarımları için literatürde sıklıkla kullanılan karşılaştırma metrikleri kullanılmıştır.

Sonuçlara göre, SVR ve RF yöntemlerine ait parametreler Tablo 3 ve Tablo 4'deki gibi belirlenmiştir:

Tablo 3. SVR yöntemi sonuçlarının alınmasında kullanılan parametreler

Veri Seti Adı	Regülasyon Parametresi	SVR Çekirdeği	Gamma Parametresi
vs1	1100	RBF	0,1
vs2	2000	RBF	0,0001
vs3	0.1	RBF	0,001

Tablo 4. RF yöntemi sonuçlarının alınmasında kullanılan parametreler

Veri Seti Adı	Ağaç sayısı	Max. Ağaç Derinliği	Min. Düğüm Bölücü Sayısı	Yaprak Düğümde Min. Örnek Sayısı
vs1	391	50	5	1
vs2	500	50	5	4
vs3	64	100	2	2

SVM ve RF yöntemlerinin başarımları belirlemek amacıyla literatürde sıklıkla kullanılan, *ortalama mutlak yüzde hatası* (MAPE), *ortalama karesel hata* (RMSE), *medyan mutlak hata* (MAE), *determinasyon katsayısı* (R²), *korelasyon katsayısı* (R) kullanılmaktadır. Ayrıca veri setinin %80'i eğitim için, %20'si test ve skorlar için ayrılmıştır.

Deneylerimizde kullanılan vücut yağ veri setlerinin ölçeği dikkate alınarak, karşılaştırılan regresyon modellerinin performansını değerlendirmek için beş kat çapraz doğrulama uygulanmaktadır. Beş kat çapraz doğrulamada ise N numuneli bir veri seti verildiğinde, her setin N / 5 numunesi test için ve geri kalanı eğitim için kullanılmıştır. Veriler rastgele veri setinden seçilmiş ve her deney 20 kez tekrarlanmıştır. Ardından nihai sonuç için ortalama alma işlemi gerçekleştirilmiştir.

R², model tarafından görünmeyen örneklerin ne kadar iyi tahmin edilebileceğinin bir ölçüsünü sağlar. n veri sayısı, \bar{y} gerçek çıkış değerlerinin aritmetik ortalaması ve \hat{y}_i , i. çıkış örneği y_i 'nin tahmini olmak üzere R², Eşit. 15.'deki denklem ile ifade edilir.

$$R^2(y, \hat{y}) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (15)$$

Eşit. 16 ile formüle edilen MAE, mutlak hata kaybının veya l1-norm kaybının beklenen değerine karşılık gelen bir risk ölçütüdür.

$$MAE(y, \hat{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (16)$$

MSE ve RMSE hata veya kaybın beklenen değerine karşılık gelen bir risk ölçütüdür ve sırasıyla Eşit. 17 ve Eşit. 18 ile hesaplanmaktadır.

$$MSE(y, \hat{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (17)$$

$$RMSE(y, \hat{y}) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (18)$$

B. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, kişilerden elde edilen antropometrik veri seti ile BFP oranının RF ve SVR yöntemleri ile tespit edilmesi amaçlanmıştır. 13 özellikli bir veri setinin, başarımlı performansını arttırabilmek adına özellik sayısında bir artırımı gidilmesi hedeflenmiştir. Ancak yeni eklenecek özelliklerin, orijinal özellikleri doğru temsil edebilmesi ve ilişkileri daha iyi ortaya göstermesi gerekmektedir. Bu nedenle orijinal özellikler ve önerilen istatistiksel yöntemler kullanılarak (Tablo 1 [X14-X38]) yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti orijinal özellikleri içermemekte ve tamamen istatistiksel yöntemler kullanılarak elde edilmektedir. Orijinal veri seti, oluşturulan yeni veri seti ve her iki veri setinin birleşiminden oluşturulan üç veri seti ile RF ve SVR testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca her veri setine özellik azaltma ve seçme teknikleri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla iki yöntem seçilmiştir. Birincisi PCA ve ikinci TDDG analizidir. PCA ile tüm özellikleri barındıracak temel bileşenler belirlenerek, TDDG ile BFP oranı ile ilintili olan en iyi özellikler seçilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. RF ve SVR yöntemine ait doğru parametreler, çapraz doğrulama ve grid arama teknikleri kullanılarak elde edilmiştir.

Tablo 5 ve Tablo 6'da deney sonuçları verilmiştir. SVR ile yapılan 18 eğitimden, orijinal veri seti S1 ve S1'den türetilen S2 ve S3 veri setleriyle yapılan regresyonlar, BFP değeri ile yüksek ilintili özelliklerle eğitilmiş deneylere oranlara daha düşük başarımlı sonuçları ürettiği gözlemlenmiştir. S1 ve S2, S3 özellik sayısı en fazla olan veri setleridir. Ancak barındıkları bazı özellikler BFP ile zıt korelasyona sahiptir. Bu nedenle BFP ile doğrusal olan özellikler ile yapılan deneyler doğru tahmin değerleri vermektedir. Öncelikle sonuç tablolarındaki SVR1 deneyi, orijinal özellikleri içeren deney seti iken, SVR3 deneyi ise en büyük özellik sayısına sahip veri setinden gerçekleştirilen deneylerdir. SVR18 adlı deney, sadece en iyi 6 F-skor değerine sahip özelliklerle gerçekleştirilen deney olmasına rağmen en iyi SVR sonucunu vermektedir. Benzer şekilde SVR 17 adlı deney, en iyi ikinci başarımlı sonucu ürettiği gözlemlenebilir. Sırasıyla SVR 17 ve SVR18 deneyleri, 38 özellikli veri setlerinden elde edilen 4 ve 6 özellikli veri setleri olmasına karşın, sadece 13 (vs1) özellikli orijinal veri setinden elde edilen en iyi 6 ve 4 F-skor değerine sahip SVR12 ve SVR11 adlı deneylerde başarımlı sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir. Verilen açıklamaların sayısal olarak örneklendirmek istersek en iyi RMSE sonuçları SVR18, SVR17 ve SVR12 deneyleri için sırasıyla, 3,1741, 3,4366 ve 3,5378dir, benzer bir şekilde R2 sonuçları SVR18, SVR17 ve SVR11 deneyleri için sırasıyla, 0,823, 0,7925 ve 0,7763 olmaktadır. SVR sonuçlarından, en düşük eğitim sonucunu veren deneyler, orijinal veri seti ile yapılan SVR1 deneyi ile türetilmiş veri seti vs2'ye PCA yöntemi uygulanarak temel 2 bileşen içeren SVR8 adlı deneydir. Ancak SVR2 deney sonuçları için bir parantez açmak gerekir. SVR2 deneyi, orijinal veri setinden hiçbir özellik içermemektedir. Buna karşın, deneyde ulaşılan sonuçlar diğer deneylere nazaran tatmin edicidir.

Tablo 5'den elde edilen SVR sonuçlarından faydalanılarak BFP değerinin tespitinde SVR ile yapılan eğitimler için çıkarılabilecek sonuç; orijinal veri seti ile yapılan eğitimler, kendisinden türetilen yeni özellikli test verileri ile yapılan eğitimlerden daha düşük verebilmektedir. Ayrıca hem orijinal veri setinden hem de türetilen veri setinden elde edilen belli sayıda en iyi F-skor değerine sahip özelliklerle yapılan deneyler en başarımlı sonuçları vermektedir. Ayrıca PCA yöntemi ile elde edilen özelliklerle yapılan eğitimlerin başarımlarının, bazı metrikler bakımından diğer deneylerden düşük olduğu tespit edilmiştir.

RF yöntemi ile yapılan deneylerin başarımlı sonuçları Tablo 6 ile verilmiştir ve SVR yöntemi ile yapılan eğitimlere göre çok farklı sonuçlar göstermektedir. Örneğin RF yöntemi ile yapılan deneylerde, temel

bileşenler ile F-skor değeri yüksek olan özellikler seçilerek yapılan eğitimler, orijinal özelliklerle yapılan eğitimden başarılı sonuç vermemiştir. Bu durum SVR ile yapılan deneylerde tersi olduğu görülmektedir. Örnek olarak, RF1, RF2 ve RF3 adlı deneylerde yapılan tüm eğitimler, diğer deneylerden daha başarılı çıktılar üretmiştir. Ancak RF2'nin başarımı dikkat çekmektedir. S2 veri setindeki özellikler, orijinal özelliklerin hiçbirini içermemektedir ancak orijinal verilerden elde edilen bir eğitim veri setiydi. Niceliksel olarak bu durum örneklenir ise, en yüksek ve en düşük tahmin doğruluğunu veren deneyler sırasıyla RF2 ve RF10 adlı deneylerdir. Sırasıyla RMSE'de 2,2519 ile 5,4905, MAE'de 2,006 ile 4,7847, R2'de 0,9267 ile 0,2097 gibi sonuçlar elde edilmiştir. En iyi üç sonucu veren deneyler dışında, orijinal veri setinin F-skor değeri en yüksek olan 2 özelliğini kullanan S10 veri seti de dikkat çekmektedir. Dolayısıyla RF yöntemi için üretilebilecek yeni veri setlerinin, orijinal veri setine göre daha başarılı sonuçlar verebileceği kanaatine varılabilir. Örneğin, RMSE değeri en düşük olan ilk 4 deney RF1, RF2, RF3 ve RF10 için sırasıyla 2,2519, 2,4389, 2,4974 ve 2,4982 değerlerine ulaşmıştır.

Tablo 5. SVR performans sonuçları

Deney Adı	Uygulama Veri Seti	RMSE	MSE	MAE	R2	R
SVR1	S1	4,5806	20,9818	3,793	0,532	0,7757
SVR2	S2	3,5711	12,7528	2,9465	0,7748	0,8755
SVR3	S3	3,5593	12,6685	2,9239	0,7763	0,8911
SVR4	S4	4,1497	17,2201	3,4903	0,6773	0,774
SVR5	S5	4,1871	17,532	3,4533	0,6904	0,8639
SVR6	S6	4,2826	18,3407	3,5566	0,6761	0,8637
SVR7	S7	3,8922	15,1492	3,2427	0,7325	0,8863
SVR8	S8	5,2748	27,8231	4,2458	0,3674	0,7506
SVR9	S9	4,6506	21,6279	3,7928	0,5231	0,7548
SVR10	S10	3,6788	13,5334	3,1146	0,761	0,881
SVR11	S11	3,5589	12,6654	3,015	0,7763	0,8962
SVR12	S12	3,5378	12,5159	2,9994	0,779	0,8772
SVR13	S13	6,1539	37,8704	4,8844	0,132	0,5222
SVR14	S14	4,6244	21,385	3,764	0,5285	0,7273
SVR15	S15	3,8982	15,1956	3,308	0,697	0,8226
SVR16	S16	3,6314	13,1872	2,8897	0,7683	0,8948
SVR17	S17	3,4366	11,8099	2,7079	0,7925	0,8932
SVR18	S18	3,1741	10,0747	2,4865	0,823	0,8756

Tablo 6. RF performans sonuçları

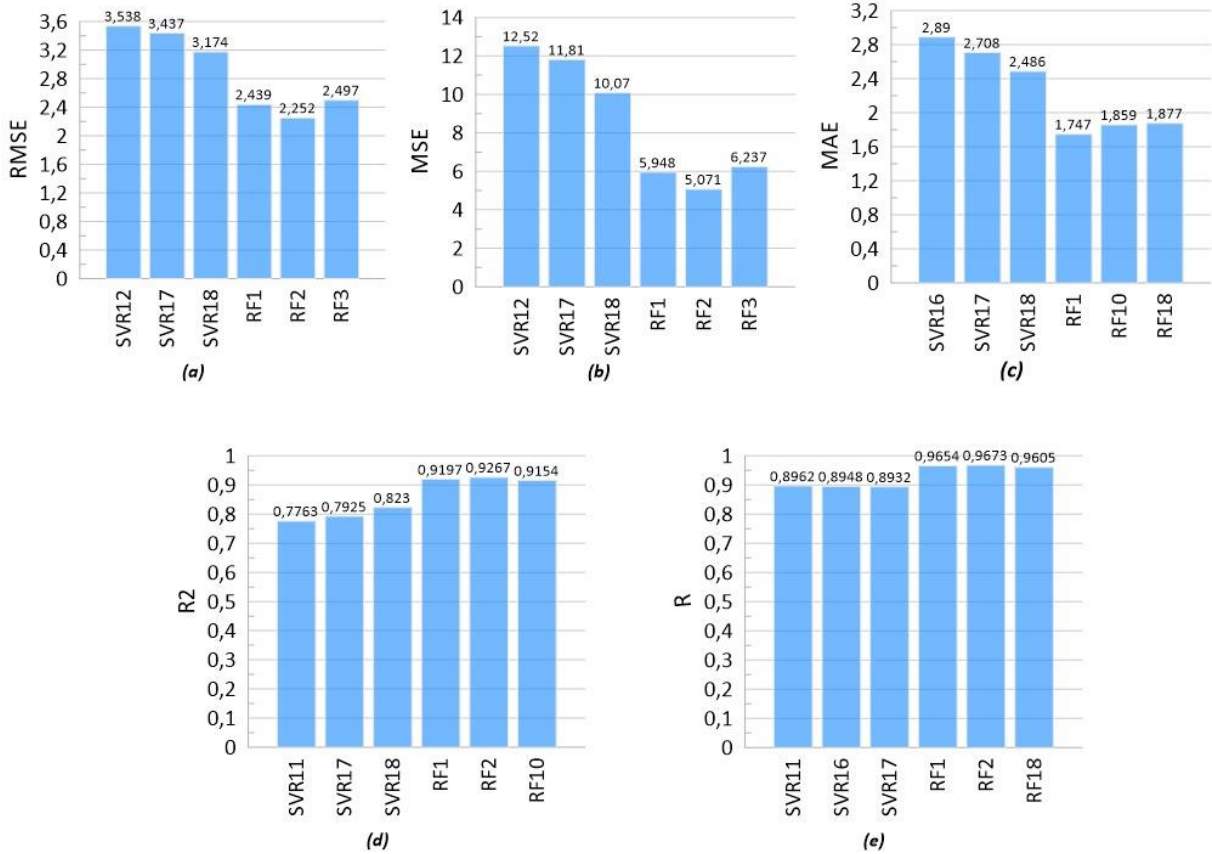
Deney Adı	Uygulama Veri Seti	RMSE	MSE	MAE	R2	R
RF1	S1	2,4389	5,9483	1,747	0,9197	0,9654
RF2	S2	2,2519	5,0712	2,006	0,9267	0,9673
RF3	S3	2,4974	6,237	2,226	0,9099	0,968
RF4	S4	3,6101	13,0325	2,873	0,7964	0,8586
RF5	S5	3,1271	9,779	2,7175	0,8106	0,9308
RF6	S6	3,2379	10,484	2,6975	0,8156	0,8909
RF7	S7	2,9029	8,4268	2,206	0,8779	0,886
RF8	S8	3,3129	10,9754	2,748	0,7949	0,8525

Tablo 6. (devam) RF performans sonuçları

Deney Adı	Uygulama Veri Seti	RMSE	MSE	MAE	R2	R
RF9	S9	2,7738	7,6941	2,2515	0,8069	0,9252
RF10	S10	2,4982	6,2411	1,859	0,9154	0,9489
RF11	S11	2,6986	7,2823	2,2325	0,8808	0,9203
RF12	S12	2,7571	7,6017	2,4592	0,8756	0,9398
RF13	S13	5,4905	30,1455	4,7847	0,2097	0,5656
RF14	S14	2,9058	8,4439	2,3745	0,8599	0,9206
RF15	S15	3,0469	9,2837	2,369	0,8658	0,9183
RF16	S16	2,6897	7,2347	1,9757	0,8456	0,8887
RF17	S17	2,8125	7,91	2,2205	0,8857	0,9153
RF18	S18	2,4808	6,1544	1,8765	0,911	0,9605

IV. SONUÇ

BFP oranının tahmininde, RF yönteminin SVR yönteminden karşılaştırma metrikleri bakımından daha üstün olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4'te SVR ve RF yöntemlerinin verilen metriklere göre her birisine ait en iyi sonuç üreten ilk 3 sonuç gösterilmektedir. Şekil 4 (a) ve Şekil 4 (b)'de RMSE ve MSE metriklerinde RF2 deneyi, Şekil 4 (c)'de MAE metriğinde RF1 deneyi, Şekil 4 (d)'de R2 metriğinde RF2 deneyi ve Şekil 4 (e)'de R metriğinde RF2 deneyi BFP değerini en iyi tahmin eden deneyler olduğu görülmektedir.



Şekil 4. SVR ve RF deneylerindeki en iyi 3 performansın karşılaştırılması

Şekil 4.a'da verilen RMSE kıstası bakımından, istatikselsel olan özellikler (önerilen istatistiksel yöntemler ile oluşturulan vs2 veri seti, 25 özellikli) ile gerçekleştirilen RF deneyi 2,252 ile en iyi tahmin skoruna sahip iken, SVR ile yapılan deneylerde 38 özellikli (vs1+vs2) veri setinden elde edilen en iyi 6 F-skor değerine sahip özellikler ile gerçekleştirilen deney 3,174 skor değerine ulaşılmıştır. MSE kriteri bakımından başarımlar değerleri, RMSE başarımlar değerleri ile benzer olacağı aşıkardır.

Şekil 4.c'de MAE değerleri için, RF1 uygulanmasında, orijinal veri setinde (vs1) en iyi skor değerine ulaşılmıştır. Ancak orijinal veri setinden elde edilen ve sadece en iyi 2 F-skor değeri olan özellikler ile gerçekleştirilen RF10 deneyi, neredeyse RF1 deneyi kadar etkili olduğu görülmektedir. RF1 ve RF10 için sırasıyla 1,747 ve 1,859 skor değerleri elde edilmiştir. MAE için, SVR tahminlerinde, en geniş veri setinde (vs3 veri seti, 35 özellikli) F-skor değerleri için yapılmış deneylerin tahmin değerleri göze çarpmaktadır. En iyi 6, 4 ve 2 sayıda F-skor değerine sahip özellikler ile yapılan deneylerde sırasıyla 2,486, 2,708 ve 2,89 değerlerine ulaşılmıştır.

RF deneylerinde Şekil 4.d'de verilen R2 kıstasına göre, orijinal ve türetilen yeni veri seti ile gerçekleştirilen tahminlerin (RF1 ve RF2 deneyleri) başarımlar oranlarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak orijinal veri setine ait en iyi 2 F-skor değeri ile elde edilen özellikler ile yapılan deney (RF10) neredeyse orijinal veri seti ile yapılan deneye eşdeğerdir. SVR deneyleri için ise, 35 özellikli (vs3 yani orijinal ve türetilen veri setlerinin birleşimi) veri setlerinden elde edilen en iyi 4 ve 6 özellikli veri setlerinin başarımlar diğer SVR deneylerinden yüksektir. R kriteri bakımından başarımlar değerleri, R2 başarımlar değerleri ile benzerdir.

Önerilen yöntemlerin, literatürde yer alan diğer çalışmalar ile başarımlar karşılaştırması Tablo 7'de verilmiştir. Tabloda verilen tüm çalışmalarda, [31] çalışmasından elde edilen antropometrik veri seti üzerinde yöntemler uygulanmıştır. SVR yöntemine yeni bir parametre eklenerek yeni bir yöntem olarak sunulan IRE-SVM [23] ile yapılan BFP tahmin sonuçları Tablo 7'de ilk sırada verilmiştir. Tablonun 2 ile 6 arasındaki sonuçlar, hibrit makine öğrenmesi yöntemleri uygulanarak elde edilmiştir [27]. 7 ve 8 satırdaki sonuçlar, standart RF ve SVM parametreleri ile elde edilmiştir. 9 ile 13 arasındaki sonuçlar, bu çalışmadan elde edilen en iyi tahmin sonuçlarının ulaşıldığı deneylerdir. Tabloda boş olarak verilen sonuç değerleri ilgili çalışmalardan elde edilememektedir.

Tablo 7. Literatür ile karşılaştırma

Sıra	Literatür çalışmaları ve önerilen yöntemler	Uygulama Veri Seti	RMSE	MAE	R	R2
1	[23]-IRE-SVM	S1	4,4334	3,6261	-	-
2	[27]-MLFNN	S1	8,535	-	0,451	0,203
3	[27]-MLFNN+DT	S1	5,832	-	0,656	0,43
4	[27]-MLFNN+SVM	S1	5,662	-	0,631	0,398
5	[27]-DT+SVM	S1	4,817	-	0,74	0,547
6	[27]-MLFNN+DT+SVM	S1	11,33	-	0,717	0,514
7	Standart SVR	S1	5,32	4,17	0,69	0,47
8	Standart RF	S1	4,218	3,826	0,7652	0,548
9	SVR1	S1	4,5806	3,793	0,7757	0,532
10	SVR18	S18	3,174	2,486	0,8756	0,823
11	RF1	S1	2,4389	1,747	0,9654	0,9197
12	RF2	S2	2,2519	2,006	0,9267	0,9673
13	RF18	S18	2,4808	1,8765	0,9605	0,911

Karşılaştırma metrikleri bakımından, istatistiksel yöntemler kullanılarak elde edilen yeni veri seti ile yapılan RF deneyi (Tablo 7, satır 12) en başarılı performansı göstermiştir. Benzer şekilde hem orijinal hem de türetilen veri setlerinin birleşimden oluşturulan veri setinden elde edilen sadece 6 özellikli veri setinde (Tablo 7, satır 13) başarılı tahmin sonuçlarına ulaşılmıştır. En iyi performans sonuçları olarak RMSE, MAE, R2 başarımlar kriterleri bakımından sırasıyla RF2 deneyinde 2,2519, RF1 deneyinde 1,747 ve RF2

deneyinde 0,9673 değerleri elde edilmiştir. SVR yöntemlerinde, [23] çalışmasında RMSE değeri 4,4334, standart SVR deneyinde 5,32 ve SVR18 deneyinde 3,174 değerlerine ulaşılmıştır. SVR18 deneyi, 38 özellikli türetilmiş veri setinden elde edilen en iyi 6 F-skor değerine sahip özellikler ile oluşturulmuş veri setine SVR uygulanmış bir deneydir.

BFP değerinin, SVR ve RF yöntemleriyle tahmininde oldukça başarılı sonuçlara ulaşılmaktadır. 13 özellikli 252 veriye sahip bir veri setinde regresyon yöntemleri ile BFP değeri yüksek doğrulukta tahmin edilebildiği görülmektedir. Ancak RF yöntemi, SVR yöntemlerine nazaran daha doğru tahmin değerlerine ulaştığı sonuçlardan görülmektedir. Ayrıca bir veri setinden üretilebilecek yeni veri setlerinin ve veri setlerine uygulanabilecek özellik seçme yöntemleri ile oluşturulacak yeni veri setlerinin başarılı çıktılar üreteceği bu çalışmada gösterilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] F. McLellan, "Obesity rising to alarming levels around the world," *The Lancet*, c. 359, s. 9315, ss. 1412, 2002.
- [2] C. L. Edelman, C. L. Mandle ve E. C. Kudzma, *Health Promotion Throughout the Life Span-E-Book*, 9. baskı, Missouri, United States of America: Elsevier Health Sciences, 2017, bl. 2, ss. 23-24.
- [3] I. G. Polat, "Effect of Er stress and Sik2 Reciprocal relationship on human precursor fat cell (LiSa-2) differentiation," Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2017.
- [4] F. Ortega, C. Lavie ve S. Blair, "Obesity and cardiovascular disease," *Circulation Research*, c. 118, s. 11, ss. 1752-1770, 2016.
- [5] C. Lavie, A. Schutter, P. Parto, E. Jahangir, P. Kokkinos, F. Ortega, R. Arena ve R. Milani, "Obesity and prevalence of cardiovascular diseases and prognosis—the obesity paradox updated," *Progress in Cardiovascular Diseases*, c. 58, s. 5, ss. 537-547, 2016.
- [6] A. Keys, F. Fidanza, M. Karvonen, N. Kimura ve H. Taylor, "Indices of relative weight and obesity," *Journal of Chronic Diseases*, c. 25, s. 6-7, ss. 329-343, 1972.
- [7] R. Huxley, S. Mendis, E. Zheleznyakov, S. Reddy ve J. Chan, "Body mass index, waist circumference and waist:hip ratio as predictors of cardiovascular risk," *Obesity and Metabolism*, c. 8, s. 1, ss. 69-69, 2011.
- [8] C. Lee, R. Huxley, R. Wildman ve M. Woodward, "Indices of abdominal obesity are better discriminators of cardiovascular risk factors than BMI: A meta-analysis," *Journal of Clinical Epidemiology*, c. 61, s. 7, ss. 646-653, 2008.
- [9] B. Srdi, B. Obradovi, G. Dimitri, E. Stoki ve S. Babovi, "Relationship between body mass index and body fat in children—age and gender differences," *Obesity Research & Clinical Practice*, c. 6, s. 2, ss. 167-173, 2012.
- [10] A. Kupusinac, E. Stoki ve R. Doroslovaki, "Predicting body fat percentage based on gender, age and BMI by using artificial neural networks," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, c. 113, s. 2, ss. 610-619, 2014.

- [11] P. Deurenberg ve M. Yap, "The Assessment of Obesity: Methods for measuring body fat and global prevalence of obesity," *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, c. 13, s. 1, ss. 1-11, 1999.
- [12] N. Jensky-Squires, C. Dieli-Conwright, A. Rossuello, D. Erceg, S. McCauley ve E. Schroeder, "Validity and reliability of body composition analysers in children and adults," *British Journal of Nutrition*, c. 100, s. 4, ss. 859-865, 2008.
- [13] W. Beeson, M. Batech, E. Schultz, L. Salto, A. Firek, M. Deleon, H. Balcazar ve Z. Cordero-Macintyre, "Comparison of body composition by bioelectrical impedance analysis and dual-energy X-ray absorptiometry in hispanic diabetics," *International Journal of Body Composition Research*, c. 8, s. 2, ss. 45-50, 2010.
- [14] A. M. Bongiollo, K. Castro ve M. A. da Silva. "Bioelectrical impedance analysis: body composition in children and adolescents with Down Syndrome," *Minerva Pediatrica*, c. 69, s. 6, ss. 560-563, 2017.
- [15] D. Anblagan, R. Deshpande, N. Jones, C. Costigan, G. Bugg, N. Raine-Fenning, P. Gowland ve P. Mansell, "Measurement of fetal fat in utero in normal and diabetic pregnancies using magnetic resonance imaging," *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, c. 42, s. 3, ss. 335-340, 2013.
- [16] J. Josefson, M. Nodzinski, O. Talbot, D. Scholtens ve P. Catalano, "Fat mass estimation in neonates: anthropometric models compared with air displacement plethysmography," *British Journal of Nutrition*, c. 121, s. 3, ss. 285-290, 2019.
- [17] D. Fukuda, M. Wray, K. Kendall, A. Smith-Ryan ve J. Stout, "Validity of near-infrared interactance (FUTREX 6100/XL) for estimating body fat percentage in elite rowers," *Clinical Physiology and Functional Imaging*, c. 37, s. 4, ss. 456-458, 2017.
- [18] A. Fernández-Sánchez, E. Madrigal-Santillán, M. Bautista, J. Esquivel-Soto, Á. Morales-González, C. Esquivel-Chirino, I. Durante-Montiel, G. Sánchez-Rivera, C. Valadez-Vega ve J. A. Morales-González, "Inflammation, oxidative stress, and obesity," *International Journal of Molecular Sciences*, c. 12, s. 5, ss. 3117-3132, 2011.
- [19] T. Ferenci, "Two Applications Of Biostatistics in The Analysis of Pathophysiological Processes," Doktora Tezi, Óbuda Univeristy, Budapest, Hungary, 2013.
- [20] T. Ferenci ve L. Kovács, "Predicting body fat percentage from anthropometric and laboratory measurements using artificial neural networks," *Applied Soft Computing*, c. 67, ss. 834-839, 2018.
- [21] S. Balasundaram, "On lagrangian support vector regression," *Expert Systems with Applications*, c. 37, s. 12, ss. 8784-8792, 2010.
- [22] Y. Xu ve L. Wang, "A weighted twin support vector regression," *Knowledge-Based Systems*, c. 33, ss. 92-101, 2012.
- [23] R. Chiong, Z. Fan, Z. Hu ve F. Chiong, "Using an improved relative error support vector machine for body fat prediction," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, c. 198, ss. 105749, 2020.

- [24] P. Deurenberg, M. Yap ve W. van Staveren, "Body mass index and percent body fat: a meta analysis among different ethnic groups," *International Journal of Obesity*, c. 22, s. 12, ss. 1164-1171, 1998.
- [25] A. Jackson P. Stanforth, J. Gagnon, T. Rankinen, A. Leon, D. Rao, J. Skinner, C. Bouchard ve J. Wilmore, "The Effect of sex, age and race on estimating percentage body fat from body mass index: the heritage family study," *International Journal of Obesity*, c. 26, s. 6, ss. 789-796, 2002.
- [26] Y. Shao, "Body fat percentage prediction using intelligent hybrid approaches," *The Scientific World Journal*, c. 2014, ss. 1-8, 2014.
- [27] M. Uçar, Z. Uçar, F. Köksal ve N. Daldal, "Estimation of body fat percentage using hybrid machine learning algorithms," *Measurement*, c. 167, ss. 108173, 2020.
- [28] K. DeGregory, P. Kuiper, T. DeSilvio, J. D. Pleuss, R. Miller, J. W. Roginski, C. B. Fisher, D. Harness, S. Viswanath, S. B. Heymsfield, I. Dungan ve D. M. Thomas, "A review of machine learning in obesity," *Obesity Reviews*, c. 19, s. 5, ss. 668-685, 2018.
- [29] M. Akman, M. K. Uçar, Z. Uçar, K. Uçar, B. Baraklı ve M. R. Bozkurt, "Determination of body fat percentage by gender based with photoplethysmography signal using machine learning algorithm," *Innovation and Research in BioMedical Engineering*, Basımda.
- [30] C. Cortes ve V. Vapnik, "Support-vector networks," *Machine learning*, c. 20, s. 3, ss. 273-297. 1995.
- [31] T. K. Ho, "Random decision forests", In: *Proceedings of 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition*. IEEE, Montreal, QC, Canada, 1995, ss. 278-282.
- [32] R. Johnson, "Fitting percentage of body fat to simple body measurements," *Journal of Statistics Education*, c. 4, s. 1, 1996.
- [33] W. E. Siri, "body composition from fluid spaces and density: analysis of methods," *University of Michigan Library*, ss. 1-33, 1956.
- [34] X. Yan ve S. Xiaogang, "Linear regression analysis: theory and computing," *World Scientific*, ss. 1-2, 2009.
- [35] H. B. Curry, "The method of steepest descent for non-linear minimization problems," *Quart. Appl. Math.*, s. 2, ss. 258-261, 1944.
- [36] S. Boyd ve L. Vandenberghe, "*Convex Optimization*", 7. baskı, Newyork, United States of America: Cambridge University Press, 2004, böl. 5, ss. 215-216
- [37] L. Breiman, J. Friedman, C. J., Stone ve R. A. Olshen, "*Classification and Regression Trees*," 1. baskı, London, England: CRC Press, 1984, böl. 11, ss. 246-259
- [38] L. Breiman, "Random forests," *Machine Learning*, c. 45, s. 1, ss. 5-32, 2001.
- [39] B. Schölkopf, "*Statistical Learning and Kernel Methods*", In: *Data Fusion and Perception*, G. Della Riccia, HJ. Lenz, R. Kruse, *International Centre for Mechanical Sciences Book Series*, 1. baskı, Vienna, Austria :Springer, 2001, böl. 431, ss. 3-24.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Finansal Piyasalarda Hisse Fiyatlarının Derin Öğrenme ve Yapay Sinir Ağı Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi; S&P 500 Endeksi Örneği

 Ali İsa TAŞ^a,  Pelin GÜLÜM^b,  Gökalg TULUM^{c,*}

^a Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul AREL Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

^b Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İstanbul AREL Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

^c Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İstanbul AREL Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.820620

ÖZET

Gelişen teknolojiler sayesinde günümüzde bilgisayarların gücü artmış ve bununla birlikte farklı amaçlara hizmet eden birçok algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmalar birçok alanda olduğu gibi finans alanında da sıkça kullanılmakta ve karar vermenin farklı boyutlarında destekleyici bir rol üstlenmektedir. Özellikle ortaya çıkması muhtemel durumların önceden öngörülmesinin hayati önem taşıdığı borsa işlemlerinde tahmin yöntemlerine sıkça başvurulmaktadır. Bu çalışmada Yahoo Finans üzerinden elde edilen S&P 500 endeksine ait veriler kullanılarak derin öğrenme ve sığ öğrenme yöntemleri yardımıyla geleceğe yönelik fiyat tahminleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda 12.08.2000 ile 13.8.2020 tarihleri arasındaki günlük fiyat verileri ilk 19 sene (veri setinin %95'i) eğitim, son 1 sene (veri setinin %5'i) test olacak şekilde ayrılarak uzun kısa süreli bellek (LSTM) ve çok katmanlı algılayıcılar (MLP) yöntemleri tahmin gerçekleştirilmiştir. Eğitim, test ve tüm veri kök ortalama karesel hatalarının LSTM ağı için sırasıyla 17.3, 65.3 ve 22 dolar, MLP ağı için sırasıyla 16.1, 61.2 ve 20.6 dolar bulunmuştur. Bu da kullanılan her iki yöntemde elde edilen eğitim ve test hatalarının birbirine yakın sonuçlar verdiğini ve bu yöntemlerin tahmin çalışmaları için uygun seçenekler olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme, LSTM, Sığ Yapay Sinir Ağı, Zaman Serileri

Deep Learning and Artificial Neural Network Estimation of Stock Prices in Financial Markets; S&P 500 Index Application

ABSTRACT

Thanks to the developing technologies, the power of computers has increased and many algorithms have been developed that serve different purposes. These algorithms are frequently used in finance as well as in many other fields and play a supportive role in different dimensions of decision-making. Forecasting methods are frequently used especially in stock exchange transactions where predicting possible situations in advance is vital. In this study, the future price estimation study was carried out with the help of deep learning and shallow learning methods using the data of the S&P 500 index obtained through Yahoo Finance. In this context, the daily price data between 12.08.2000 and 13.8.2020 is divided into the first 19 years (95% of the data set) training, the last 1 year (5% of the data set) as a test, and long short term memory (LSTM) and multilayer perceptron (MLP) methods have been estimated. Training, test, and all data root mean square errors were 17.3, 65.3 and 22 dollars for the LSTM network, 16.1, 61.2 and 20.6 dollars for the MLP network, respectively. This shows that the training and test errors obtained in both methods used give similar results and these methods are suitable options for prediction studies.

Keywords: Deep Learning, LSTM, Shallow Artificial Intelligence

I. GİRİŞ

Tahmin etmek, hangi değişkenlerin diğer değişkenleri öngördüğünü anlamak anlamına gelir. Bu, birçok değişken arasındaki olası gecikme ilişkilerinin zamanlamasının net bir şekilde anlaşılması, olası gecikme ilişkilerinin istatistiksel önemini ortaya konulması ve piyasa hareketlerinin tahmin edilmesi için sinyal olarak izlenecek değişkenlerden hangilerinin daha önemli olduğunu öğrenmek demektir. Tahmin etme, her zaman pazar profesyonellerinin ve araştırmacıların dikkatini çeken bir konu olduğundan bu bağlamda çeşitli modeller geliştirilmiştir. Söz konusu modellerden özellikle fiyat analizi ve teknik analizler aktif olarak kullanılmasına rağmen finansal varlıkların doğası gereği tutarlı sonuçlar elde etmek oldukça zordur. Teknolojik gelişmelere paralel olarak bilgisayarların hesaplama gücündeki artış özellikle makine öğrenmesi algoritmalarının gelişimini desteklemiş ve daha güçlü algoritmalar ortaya çıkmıştır. Finansal piyasalarda fiyat tahmini yapmak üzere kullanılan birçok tahmin algoritması da bu gelişmeler ışığında gün geçtikçe gelişim göstermiştir.

Literatürde birçok farklı yapay sinir ağı modelinin piyasa değerini tahmin etmek için istatistiksel modellere göre daha fazla tercih edildiği dikkat çekmektedir. Bunun esas nedeni yapay sinir ağı modellerinin çoğu durumda diğer yöntemlere kıyasla daha iyi sonuçlar vermesidir. Bununla birlikte farklı yapay sinir ağı modellerinin kendi içlerinde karşılaştırmasının yapıldığı az sayıda çalışma vardır. Bu çalışmanın, çok uzun bir süreyi kapsayan geniş bir veri seti yardımıyla iki farklı algoritmayı farklı açılardan mukayese ederek gerek araştırmacılara gerek bu konudaki profesyonellere karşılaştırmalı bir bakış açısı sunması hedeflenmektedir.

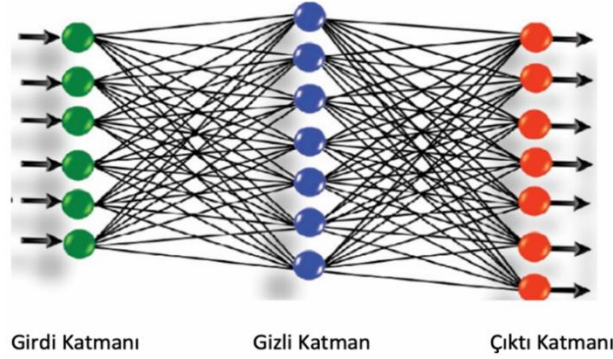
Bu amaçla finansal verilerin çok katmanlı algılayıcı ağları ve uzun-kısa süreli bellek yöntemi ile tahmin edilmesi çalışılmıştır. Bu tahminlerin gerçek yatırımlar ve diğer finansal piyasa endekslerinin genel yönünün analiz edilmesi açısından faydalı olduğu düşünülmektedir. Çalışmanın birincil amacı Uzun Kısa Vadeli Bellek (LSTM) ile Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) yöntemlerini tahmin performansı bakımından karşılaştırmaktır. Araştırmanın ikincil amacı ise daha iyi performans gösteren model hakkında ayrıntılı bilgi vererek modelin özelliklerini ve eksikliklerini analiz etmektir. Bu amaç doğrultusunda Yahoo Finance S&P günlük verilerini kullanılarak söz konusu iki model uygulanmış ve LSTM mimarisinin tahmin gücünün MLP yöntemine göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Çalışmanın devamında literatürden örnek çalışmalara değinildikten sonra sığ öğrenme ve MLP, uzun kısa süreli bellek (LSTM) yöntemleri kısaca açıklanmış ve ardından materyal ve metod bölümünde söz konusu yöntemlerin kullanımına ilişkin açıklamalara yer verilmiştir. Yahoo Finance'den elde edilen S&P 500 verileri kullanılarak borsa fiyat tahmini uygulaması gerçekleştirilerek her iki yöntem için sonuçlar değerlendirilmiş ve tartışma bölümünün ardından gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuş ve araştırma sonlandırılmıştır.

A. SIĞ ÖĞRENME VE MLP

Yakın zamana kadar, çoğu makine öğrenimi ve sinyal işleme tekniği sığ yapıları mimarilerden yararlanmaktaydı. Sığ mimariler arasında, geleneksel gizli Markov modeller, doğrusal veya doğrusal olmayan dinamik sistemler, koşullu rastgele alanlar, maksimum entropi modelleri, Destek Vektör Makineleri (SVM), lojistik regresyon, çekirdek regresyon ve çoklu tek bir gizli katmana sahip katman algılayıcı sinir ağları vardır. Sığ öğrenme modellerinde giriş sinyallerini veya özelliklerini probleme özgü bir özellik alanına dönüştürmekten sorumlu yalnızca bir katmandan oluşan basit mimariler söz konusudur [1]. Şekil 1'deki diyagram, üç katmanlı bir MLP'yi göstermektedir. Soldaki birinci katmandaki (giriş katmanı) her algılayıcı, ikinci katmandaki (gizli katman) tüm algılayıcılara çıktılar gönderir ve ikinci katmandaki tüm algılayıcılar çıktıları sağdaki son katmana gönderirler. Her algılayıcı kendisinden sonraki katmana bir sinyal yollar ve her sinyal için farklı ağırlıklar kullanılır. Her katman çok sayıda algılayıcıya sahip olabilirken birden çok katman da olabilir ki böylece çok katmanlı algılayıcı hızla çok karmaşık bir sistem haline gelebilir. MLP'lerden gelişen sinir ağlarında, genellikle 0 ile 1 arasında veya -1 ile 1 arasında gerçek değerlerin çıktıları ile sonuçlanan diğer etkinleştirme işlevleri kullanılabilir. Bu, olasılığa dayalı tahminlere veya öğelerin çoklu etiketlere sınıflandırılmasına imkân verir [2].

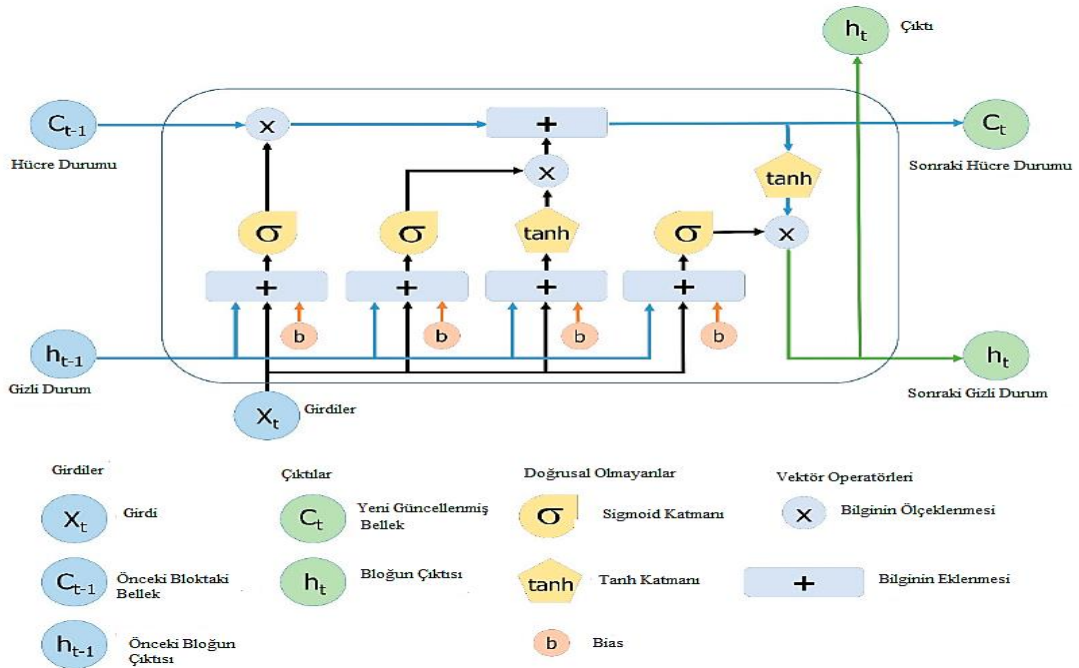
MLP algoritması denetimli öğrenme yöntemlerinden hatanın geri yayılımı algoritmasını kullanmaktadır. Bu yöntemde her bir nöronun ilk ağırlık değeri rastgele belirlenmektedir. Her iterasyonda ağırlık güncellemesi, gerçek çıkış değeri ile hesaplanan sonuç arasındaki hatanın ağına sonundan girişlere doğru yayılması ile gerçekleştirilmektedir. İterasyon işlemi hesaplanan sonuçlar ile denetimli eğitimde kullanılan gerçek değerler arasındaki hatanın belirlenen eşik değerinin altına inene kadar devam etmektedir.



Şekil 1. Sığ öğrenmeli MLP yapısı [3].

B. UZUN KISA SÜRELİ BELLEK (LSTM)

Yıllar içinde öz yinelemeli sinir ağlarının eğitime zorluklarının üstesinden gelmek için bir takım girişimlerde bulunulmuştur. Bu zorluklar, diziyeye dayalı görevlerin uzun vadeli bağımlılıklarını öğrenmek için geçitli yapıya sahip bir öz yinelemeli sinir ağı türü olan LSTM tarafından başarıyla aşılmıştır [4]. LSTM, Olah'a göre zincir yapısı şeklinde tasarlanmıştır. Ancak, yinelenen modül farklı bir yapıya sahiptir. Standart bir öz yinelemeli sinir ağı gibi tek bir sinir ağı yerine, benzersiz bir iletişim yöntemiyle etkileşen dört katmanı vardır [5].



Şekil 2. LSTM mimarisi [6].

LSTM ağı, Şekil 'den de görülebileceği üzere hücreler adı verilen bellek bloklarından oluşur. Hücre durumu ve gizli durum bir sonraki hücreye aktarılmaktadır. Hücre durumu, verilerin temelde değişmeden ileriye doğru akmasına izin veren ana akış veri zinciridir. Ancak, bazı doğrusal dönüşümler meydana gelebilir. Verilerin hücre durumuna eklenmesi veya hücre durumundan çıkarılması gibi olaylar sigmoid kapılar yolu ile gerçekleştirilebilir. Bir geçit, farklı ağırlıklar içeren bir katmana veya bir dizi matris işlemine benzer. LSTM yapıları uzun süreli bağımlılık probleminden kaçınmak amacıyla ezberleme sürecini kontrol eden kapılardan meydana gelmişlerdir.

Bir LSTM ağı oluşturmanın iki adımı vardır bunlardan ilki gerekli olmayan ve o adımda hücreden çıkarılacak bilgileri tanımlamaktır. Verileri tanımlama ve hariç tutma işlemine, (t-1) zamanında son LSTM biriminin (h_{t-1}) ve t zamanında akım girişinin (X_t) çıkışını alan sigmoid işlevi karar verir. Ek olarak, sigmoid işlevi eski çıktının hangi kısmının ortadan kaldırılması gerektiğini belirler. Bu kapıya unutmaya kapısı (veya f_t) denir; burada f_t , hücre durumundaki her sayıya (C_{t-1}) karşılık gelen, 0 ile 1 arasında değişen değerlere sahip bir vektördür.

$$f_t = \sigma(W_f[h_{t-1}, X_t] + b_f) \quad (1)$$

Burada σ , sigmoid fonksiyonudur ve W_f ile b_f unutmaya geçidinin sırasıyla ağırlık matrisleri ve sapma değerleridir. Bir sonraki adım ise, hücre durumunda yeni girişin (X_t) bilgisine karar vermek, depolamak ve hücre durumunu güncellemektir. Bu adım, sigmoid katman ve tanh katmanı olarak iki bölümden oluşur. Birincisi, sigmoid katman yeni bilgilerin güncellenip güncellenmeyeceğine karar verir (0 veya 1) ve ikincisi tanh fonksiyonu, önem düzeylerine (-1 ile 1) karar vererek geçen değerlere ağırlık verir.

$$i_t = \sigma(W_i[h_{t-1}, X_t] + b_i), \quad (2)$$

$$N_t = \tanh(W_n[h_{t-1}, X_t] + b_n), \quad (3)$$

$$C_t = C_{t-1}f_t + N_t i_t \quad (4)$$

Burada, C_{t-1} ve C_t , sırası ile (t-1) ve t zamanlarındaki hücre durumları iken, W ve b , sırasıyla hücre durumunun ağırlık matrisleri ve sapmasıdır. Son adımda, çıkış değerleri (h_t) çıkış hücresi durumuna (O_t) dayanır, ancak filtrelenmiş bir türüdür. İlk olarak, sigmoid bir katman, hücre durumunun hangi bölümlerinin çıktıya ulaşacağına karar verir. Daha sonra sigmoid geçidinin (O_t) çıkışı, tanh tabakası tarafından hücre durumundan (C_t) oluşturulan yeni değerlerle çarpılır ve -1 ile 1 arasında bir değer elde edilir.

$$O_t = \sigma(W_o[h_{t-1}, X_t] + b_o), \quad (5)$$

$$h_t = O_t \tanh(C_t). \quad (6)$$

Burada W_o ve b_o , çıkış kapısının sırasıyla ağırlık matrisleri ve sapmasıdır [7].

II. GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

Geleneksel tahmin modellerine kıyasla daha az hata payı ile daha doğru sonuçlar sunan LSTM mimarisi son yıllarda oldukça fazla kullanılmaktadır. Standart ileri beslemeli ağlardan farklı olarak LSTM mimarisinin geri bildirim ağları olması özellikle zaman serisi verileri ile sınıflandırma ve tahmin konularında oldukça etkili sonuçlar vermektedir.

Bu bağlamda yapılan çalışmalar incelendiğinde, Liu ve arkadaşları [8], Otoregresif Hareketli Ortalama Modeline (ARMA) dayalı olarak, hem gizli durumları hem de sermaye varlığı fiyatlandırma modelini dikkate almışlardır. Orta vadeli hisse senedi tahmini için orta-LSTM kullanmış olup LSTM, gizli Markov modeli ve doğrusal regresyon ağları olmak üzere üç bileşenden oluşan bir ara LSTM tabanlı

derin sinir ağı tasarlamaşlardır. Ortaya konulan orta-LSTM ağı tasarımının, büyük tahmin hatalarını azaltmak için anormallikleri önleyebilme ve hisse senedi fiyatlarını etkileyen faktörler üzerinde açıklayıcı etkilere sahip olma gibi özellikleri ön plana çıkmaktadır.S&P 500 hisse senetleri üzerinde yaptıkları deneyde önerilen orta-LSTM'nin tahmin doğruluğunda %2-4 iyileşme sağladığını göstermişlerdir.

Kim ve arkadaşları [9], KOSPI 200 endeksinin eğilimlerini tahmin etmek için çeşitli derin öğrenme modellerini kullanmışlardır. Sıralı veri uygulamalarında yaygın olarak kullanılan modellerden MLP, Bir Boyutlu Konvolüsyonel Sinir Ağları (1D-CNN), LSTM ve dikkat ağlarını test etmişlerdir.

Çalışmalarında geçmişe dönük 60 işlem gününü incelemiş ve önerdikleri yaklaşımın çeşitli modellerde daha yüksek tahmin performansı gösterdiğini belirlemişlerdir. Girdi verilerini genişleterek daha fazla günü tahmin çalışmasına dâhil etmenin tahmin doğruluğunu arttıracığı sonucuna varmışlar ve özellikle LSTM içeren modellerin tahmin gücünün diğerlerinden daha iyi olduğunu keşfetmişlerdir.

Mevcut koşulları doğru analiz ederek gelecekteki risk ve fırsatları ön görmenin kritik öneme sahip olduğu alanlardan birisi finanstır. Siami ve arkadaşları [10] yaptıkları çalışma ile LSTM yöntemi gibi zaman serisi verilerini tahmin etmek amacıyla geliştirilmiş derin öğrenme tabanlı algoritmaların, finansal tahminlerde Otoresif Süreçler (AR), Hareketli Ortalama (MA), Basit Exponansiyel Yumuşatma (SES) ve Bütünleşik Otoresif Hareketli Ortalama (ARIMA) gibi geleneksel tahmin yöntemlerinden daha üstün performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Bu bağlamda yaptıkları araştırma ile LSTM yöntemiyle yapılan tahminlerin ARIMA 'ya kıyasla kök ortalama karesel hata (RMSE) hata oranlarında %84-87 arasında azalmaya neden olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca çalışmada derin öğrenmedeki eğitim sürelerinin sayısının eğitilmiş ağı tahmin performansına bir etkisi olmadığı ve rastgele bir davranış sergilediği de ileri sürülmüştür. Bu çalışmanın aksine Roondiwala ve arkadaşları [11] hisse senetleri tahmini için Tekrarlı Sinir Ağı (RNN) ve LSTM yaklaşımlarını kullandıkları çalışmalarının sonunda RMSE 0.00983 eğitim, RMSE 0.00859 test sonucunun 500 devir ve açılış, kapanış, yüksek, düşük olmak üzere 4 parametre ile elde edildiğini gözlemleyerek devir sayısının önemine değinmişlerdir.

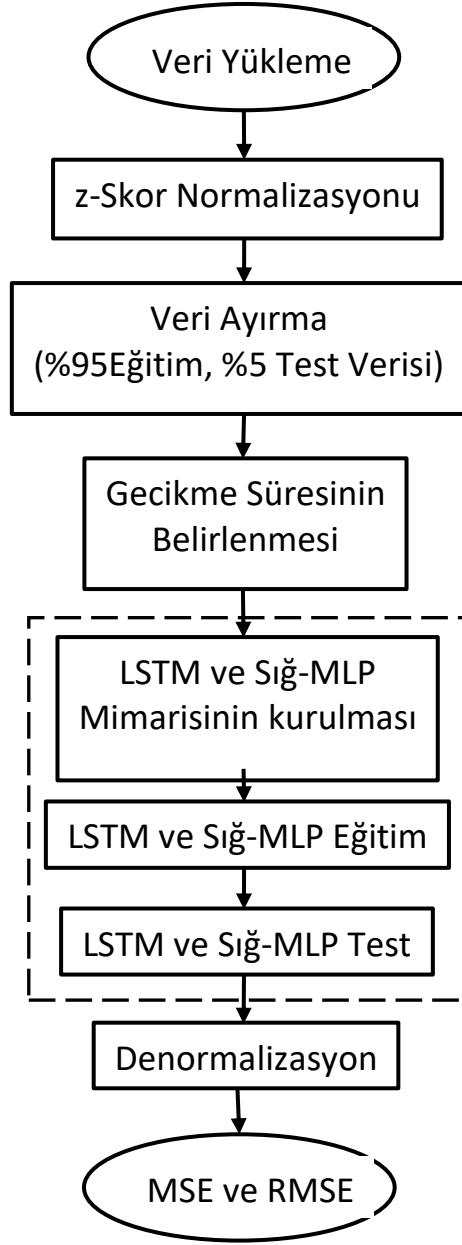
Manurung ve arkadaşları [12] hisse senedi fiyatları tahmini için Yahoo Finance 2013-2018 yılı Bank Central Asia (BCA) verilerini kullanarak verideki önemli parametreler için (açılış, yüksek, düşük, kapanış) LSTM ile tahmin çalışması gerçekleştirmişlerdir. Analizin sonucunda LSTM'deki en doğru tahminin 3 yıllık veya 5 yıllık eğitim verisi kullanmak yerine 1 yıldan az kısa vadeli veri kullanarak elde edildiği ve LSTM'nin %56 doğruluk oranına sahip geleneksel tahmin yöntemi ARIMA'ya kıyasla %94'e kadar kısa vadeli verilerde üstün olduğunu ortaya koymuştur. Böylece LSTM mimarisinin performansının dikkate alınacak zaman aralığından etkilendiği sonucu ortaya koyulurken bunun yanında geleneksel modellerden farkı da tespit edilmiştir [12]. Benzer konuda yaptıkları çalışma ile Zhuge ve arkadaşları [13] hisse senedi açılış fiyatlarını tahmin etmek amacıyla duygusal analiz (emotional analysis) ve LSTM modelinden oluşan iki aşamalı bir yaklaşım önermişlerdir. Verileri sınıflandırmak için ilk adımda Bayesian temelli sınıflandırıcı kullanılmış ve ardından önceki deneylerden elde edilen duygusal veriler, uzun davranış verileri LSTM öğrenme modeli için eğitim verisi olarak gerçek davranış verileri ile birleştirilerek kullanılmıştır. Sonuç olarak tahmin doğruluğu performansının büyük ölçüde iyileştiği ve önerilen iki aşamalı tekniğin geleneksel sinir ağı yaklaşımlarından daha üstün olduğu ortaya koyulmuştur. Fischer ve arkadaşları [14] uzun kısa süreli bellek (LSTM) ağı kullanarak 1992'den 2015'e kadar S&P 500'ün kurucu hisse senetleri için örneklem dışı yön hareketlerini tahmin etmişlerdir. İşlem maliyetlerinden önce yüzde 0,46'lık günlük getiri ve 5,8 keskinlik oranıyla, LSTM ağlarının daha iyi tahminleme yaptığını göstermişlerdir.

Kai ve arkadaşları, LSTM kullanarak Çin hisse senedi getirilerini modelleyip ve tahmin etmiştir. Çin hisse senedi piyasasının tarihsel verileri, 10 öğrenme özelliği ve 3 günlük kazanç oranı etiketleme ile 30 günlük dizilere dönüştürülmüştür. Rastgele tahmin yöntemiyle karşılaştırıldığında, LSTM modeli hisse senedi getirisi tahmininin doğruluğunu % 14,3'ten % 27,2'ye yükseltmiştir [15]. Ferdiansyah ve arkadaşları [16], Yahoo Finans borsasından bitcoin işlem verilerini kullanarak tahmin yaptıkları çalışmalarında zaman serisi teknikleri ile kurdukları model yardımıyla sonraki günler için fiyatı tahmini gerçekleştirmişlerdir. Piyasa dalgalanmaları, siyasi olaylar ,yerel veya küresel ekonomik sorunlar gibi birçok belirsizlik faktöründen etkilenen borsa için bitcoin yatırım kararlarını LSTM ile analiz

etmişlerdir. Jithin ve arkadaşları[17], zamansal verileri analiz etmede verilerden özelliklerin çıkarımı ve çift yönlü LSTM için birden fazla CNN hattını birleştiren yeni bir derin öğrenme modeli önermişlerdir. Geleneksel Destek Vektör Makineleri modeli ile karşılaştırıldığında iki yönlü LSTM ile birleştirilmiş CNN katmanlarının daha gelişmiş tahmin performansı gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca çalışmada kullanılan üç ayrı işlem hattındaki en iyi sonuçları birleştiren tek işlem hattının daha iyi bir sonuç sunduğunu ortaya koymuşlardır. Bu yaklaşım derin öğrenme modellerinin zaman serisi eğilimlerini tahmin etmede uygulanabilirliğini göstermiştir. Ioannis ve arkadaşları [18] altın fiyatı hareketlerinin tahmini için CNN-LSTM entegrasyonlu yeni bir tahmin modeli önermişlerdir. Bu çalışmadaki CNN-LSTM modelinin iki türünden birisi farklı sayıda filtrele ve iki evrişimli katmanlara sahip derin öğrenme ve diğeri makine öğrenimi temelli tahmin modelleridir. Birincisi en düşük MAE ve RMSE performansını veren regresyon problemleri için en iyi tahmin performansını gösterirken, ikincisi fiyat hareketleri için geleneksel zaman serisi modellerinden daha iyi performans göstermiştir. Sonuç olarak LSTM modellerinin altın fiyatı zaman serileri için yaygın olarak kabul gören bir yaklaşım olmasına rağmen ek evrişimli katmanlarla birlikte kullanımının tahmin performansında dikkate değer bir artışa neden olduğu belirlenmiştir.

III. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan yöntemlere ilişkin akış Şekil 3'te verilmiştir. LSTM ve MLP yöntemlerinin tahmin gücünü karşılaştırmaya yönelik gerçekleştirilen bu çalışmanın ilk adımı tahmin için kullanılacak verilerin elde edilmesi ve uygun forma getirilmesidir. Ardından sırası ile LSTM ve MLP teknikleri ile tahmin yapılarının kurulması ve ağların eğitilerek sonuçlarının elde edilmesi adımları gelmektedir. Çalışmanın devamında tahmin hatalarını belirlemek için RMSE ve MSE değerlerinin elde edilmesi ve sonuçların analizi yer almaktadır.



Şekil 3. Geliştirilen tahmin algoritması.

A. VERİ SETİ

Bu çalışmada Finance Yahoo (<https://finance.yahoo.com/>) sitesinden alınan S&P veri seti kullanılmıştır. Veri setinin high, open, close, low gibi değerleri vardır. Burada veri setinin high, dönem içinde ulaşılan en yüksek değer. Open, işlem süresinin başlangıç zamanında aldığı ilk değerdir. Close dönemin sonunda alınan son değeri ifade eder. Low dönem içinde alınan en düşük değeri ifade eder [19]. Çalışma kapsamında ise close değerleri kullanılarak işlemler gerçekleştirilmiştir. Veriler 12.08.2000 ile 13.8.2020 tarihleri arasında 5051 günlük değerleri içermektedir.

B. VERİLERİN NORMALİZASYONU VE AYRILMASI

Veri setini tek bir düzeye indirgemek amacıyla normalizasyon uygulanmıştır. Literatürde z skor, min-max ve ondalık ölçekleme gibi farklı normalizasyon teknikleri bulunmaktadır. Bu çalışmada z-skor normalizasyonu tercih edilmiştir. İlk adım olarak finans verileri sisteme yüklenmiş daha sonra z-skor

normalizasyonu uygulanarak veriler -1 ile +1 değerleri arasına getirilmiştir. z-skor normalizasyon verinin ortalamasından çıkartılıp standart sapmasına bölünmesiyle elde edilmiştir [20].

Kurulan ağ yapılarını eğitmek amacıyla veri seti eğitim ve test olmak üzere ayrılmıştır. Bu ayırım için literatürde yer alan (80-20),(70-30), (90-10) gibi oranlar incelenerek ele alınan problem ve veri seti büyüklüğü özelinde en uygun oranın deneme yanılma yolu ile %95 eğitim ve %5 test olduğu görülmüştür[21]. Bu doğrultuda LSTM ve Sığ MLP ağlarının eğitimi ve eğitilmiş ağların test aşamaları için veri setinin başlangıçtan itibaren %95'lik kısmı eğitim (ilk 19 sene eğitim) ve %5'lik kısmı (son 1 sene test) test için ayrılmıştır.

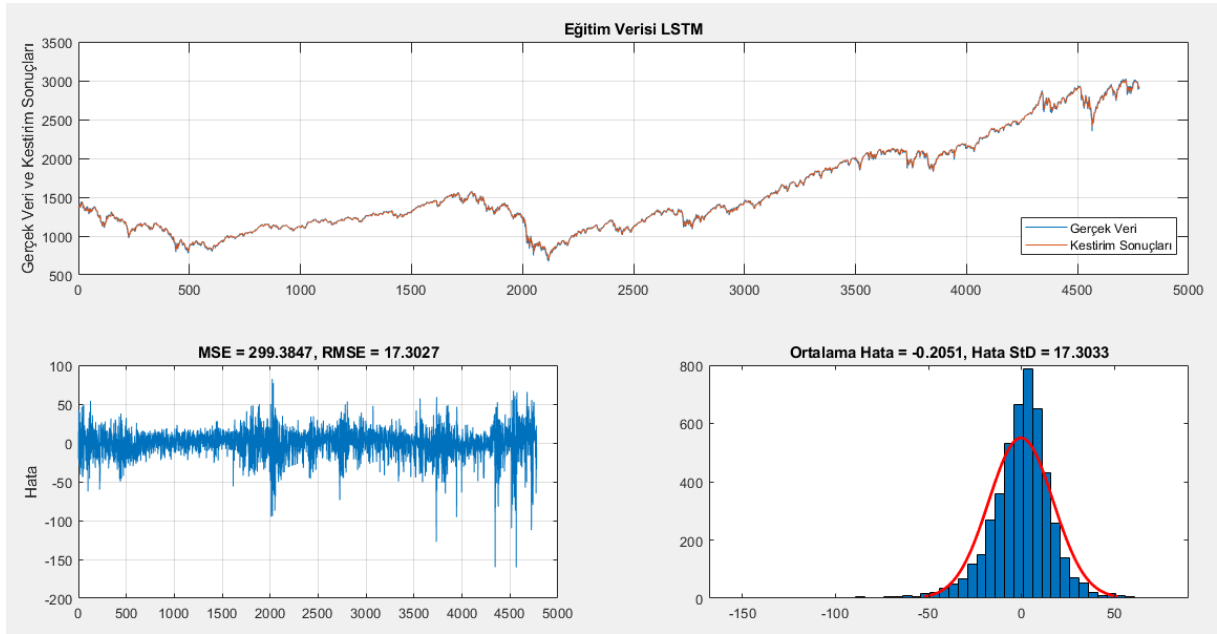
C. GECİKME SÜRELERİ VE AĞ YAPILARI

LSTM ve Sığ MLP ağlarının girişleri için Yahoo finans veri serisinin 11 farklı gün gecikme değerleri kullanılmıştır Bu girişler 1-5, 6, 10, 11, 15, 16 ve 20. gün olacak şekilde deneysel olarak belirlenmiştir. Gecikme seçimi tasarlanırken tahmini yapılacak günün önceki 5 günü, iki, üç ve dördüncü haftalarından da aralarında beşer gün olacak şekilde iki seçim yapılmıştır.

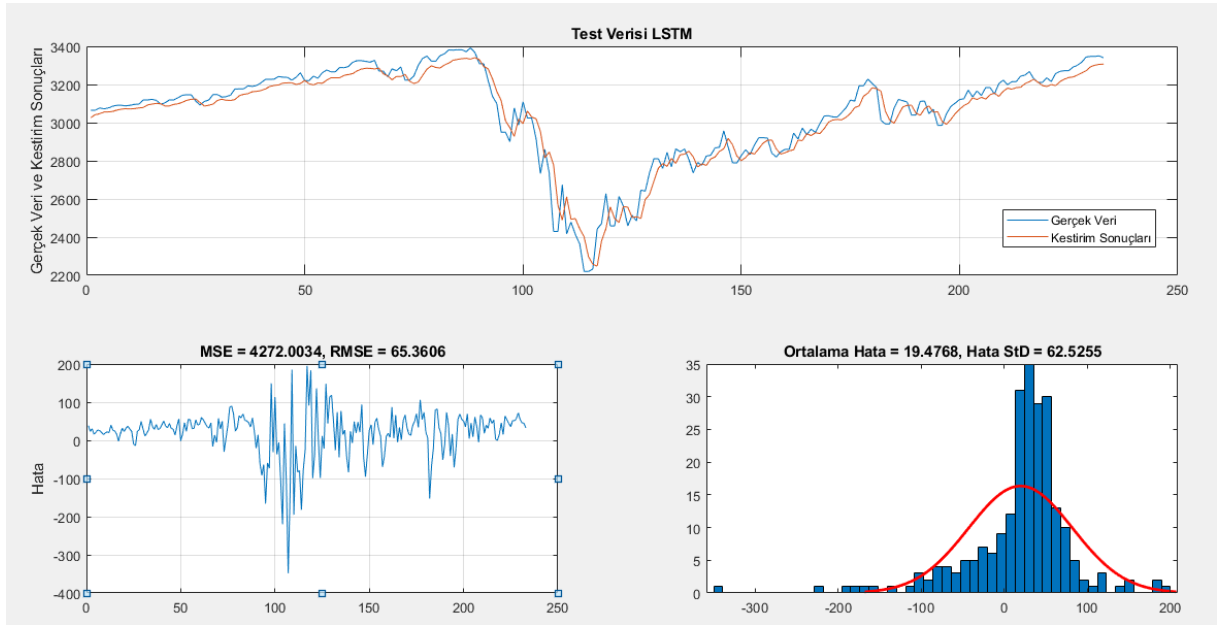
LSTM mimarisi iki gizli katman ve her gizli katmanlarda 300 nöron olacak şekilde tasarlanmıştır. Seyreltme değeri (dropout) 0.2 olarak seçilirken grup (batch size) boyutu 120 ve iterasyon sayısı 1000 olarak belirlenmiştir. Sığ MLP mimarisinde ise gizli katman sayısı iki olarak belirlenmiş (birinci gizli katman 15 nöron, ikinci gizli katman 30 nöron) maksimum iterasyon sayısı 100 olarak seçilerek eğitim için Bayes Düzenlemeli geri yayılım (Bayesian regularization packpropagation) algoritması kullanılmıştır. Eğitim ve test aşamalarından elde edilen çıktıları z-skor denormalizasyonu uygulanarak elde edilen sonuçlar ortalama MSE ve RMSE, cinsinden karşılaştırılmıştır. Ayrıca literatürde verilen sonuçların önerilen çalışmadaki elde edilen sonuçlarla tartışma bölümünde karşılaştırılabilmesi için ortalama mutlak yüzde yapması (MAPE) değerleri de hesaplanmıştır.

IV. UYGULAMA

Yöntem bölümünde detaylı olarak açıklandığı gibi LSTM ve MLP ağları kurulmuş ve belirlenene %95 eğitim %5 test verileri ile eğitilmiştir. Bu adımlar sonucunda elde edilen sonuçlar eğitim, test ve tüm veri olarak ayrı ayrı incelenmiştir. LSTM mimarisi ile elde edilen sonuçların MSE ve RMSE değerleri, ayrıca hatanın histogram ortalama ve standart sapma sonuçları eğitim için Şekil 4'te, test için Şekil 5'te ve tüm veri için Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde, ortalama karesel hatanın 300 dolar civarında olduğu ve hatanın çoğunlukla -50 dolar ile 50 dolar arasında dağılım gösterdiği görülmektedir. Şekil 5'te verilen test başarısında ise ortalama karesel hatanın 4727 dolar civarında olduğu ve en büyük hatanın Kovid sürecinin başladığı tarih olan 2020 Mart ayı civarında ortaya çıktığı görülmektedir. Eğitim ve test sonuçları bir arada incelendiğinde histogram eğrilerinden eğitim aşamasında ortalama hatanın 0'a yakın olduğu ve standart sapma değerinin 17 dolar civarı olduğu test aşamasında ise ortalama hata 19 dolara yakın iken standart sapma hatasının 62 dolar mertebesinde değiştiği söylenebilmektedir.

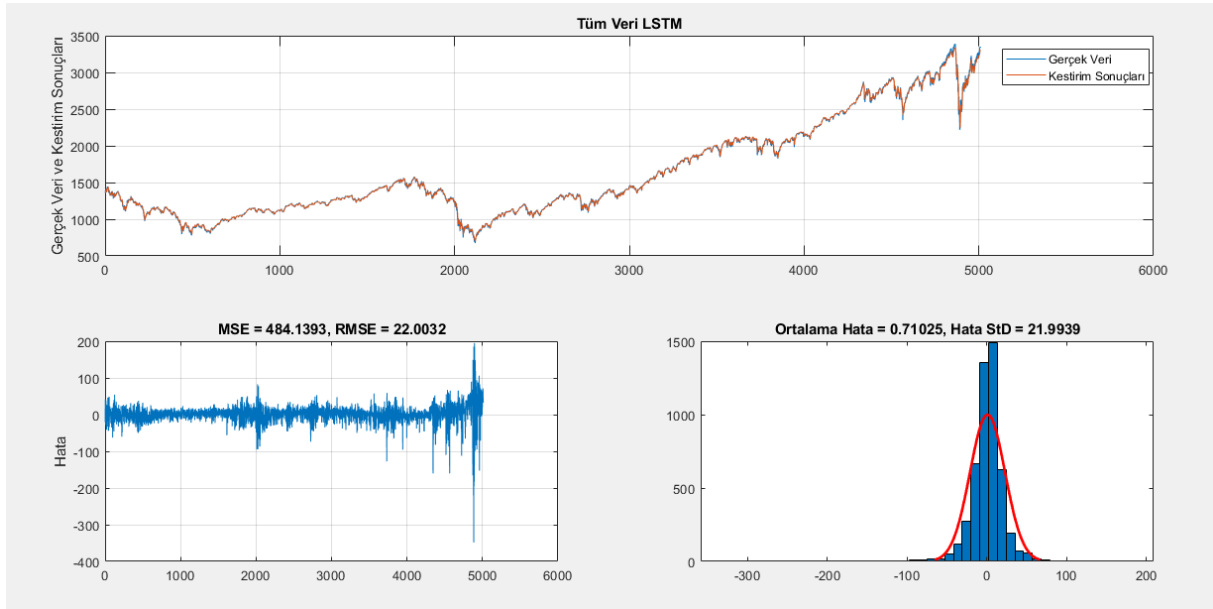


Şekil 4. LSTM eğitim sonuçları.



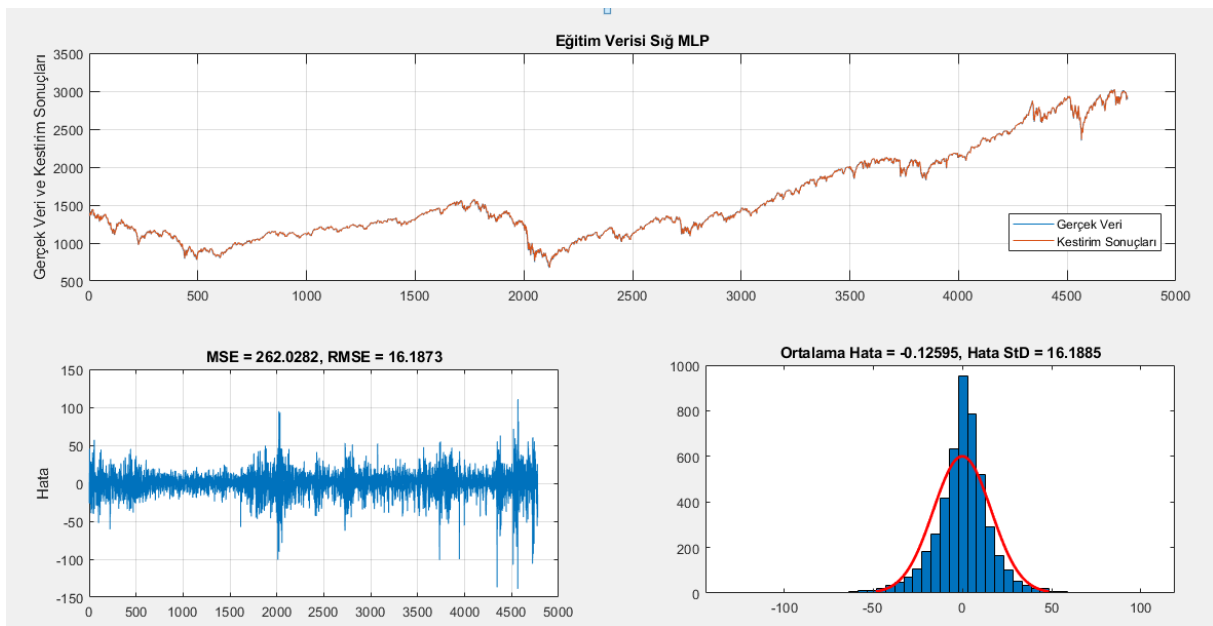
Şekil 5. LSTM test sonuçları.

LSTM mimarisi sonucunda elde edilen eğitim ve test aşamaları birleştirildiğinde ise kök ortalama hatanın 22 dolar mertebesine yakın olduğu ve hata histogram tablosundan ortalama hatanın 0,7 dolar civarında ve standart sapmanın 22 doları geçmediği görülmüştür.

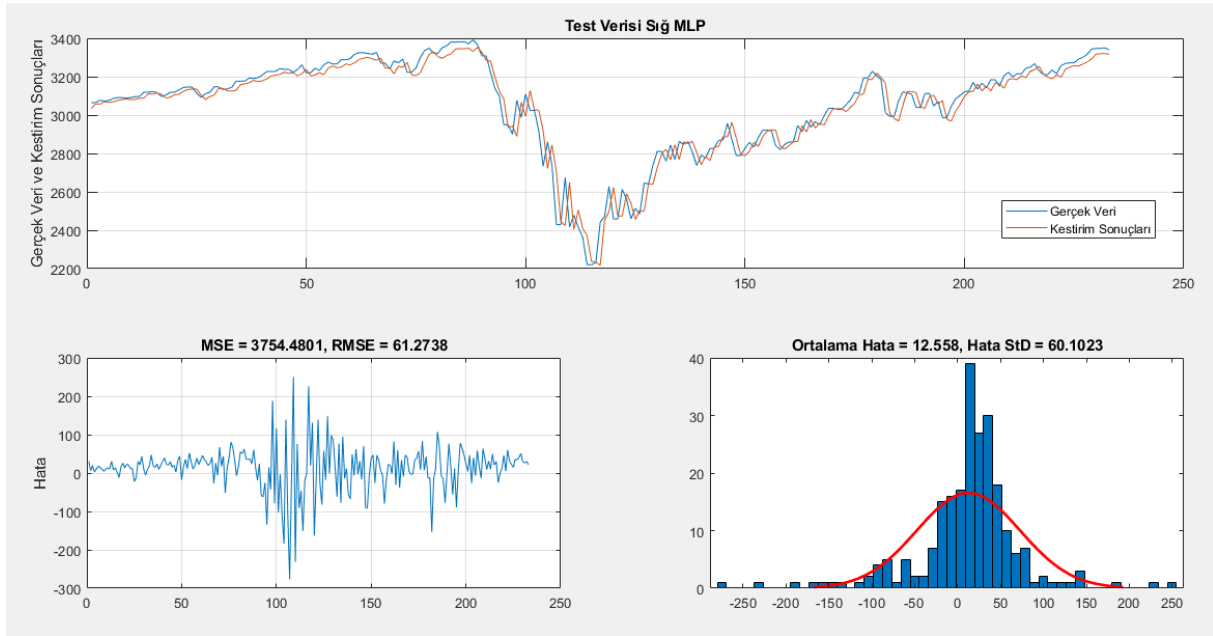


Şekil 6. LSTM tüm veri sonuçları.

Sığ MLP mimarisi ile elde edilen sonuçların MSE ve RMSE değerleri, ayrıca hatanın histogram ortalama ve standart sapma sonuçları eğitim için Şekil 7’de, test için Şekil 8’de ve tüm veri için Şekil 9’da verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, ortalama karesel hatanın 260 dolar civarında olduğu ve hatanın çoğunlukla -40 dolar ile 40 dolar arasında dağılım gösterdiği görülmüştür. Şekil 8’de verilen test başarısında ise ortalama karesel hatanın 3755 dolar civarında olduğu ve yine en büyük hatanın Kovid sürecinin başladığı tarih olan 2020 Mart ayı civarında ortaya çıktığı görülmektedir. Eğitim ve test sonuçları bir arada incelendiğinde histogram eğrilerinden eğitim aşamasında ortalama hatanın 0 dolara yakın olduğu ve standart sapma değerinin 16 dolar civarı olduğu test aşamasında ise ortalama hatanın 12,5 dolara yakın olduğu fakat standart sapma hatasının 60 dolar mertebesine yükseldiği görülebilmektedir.

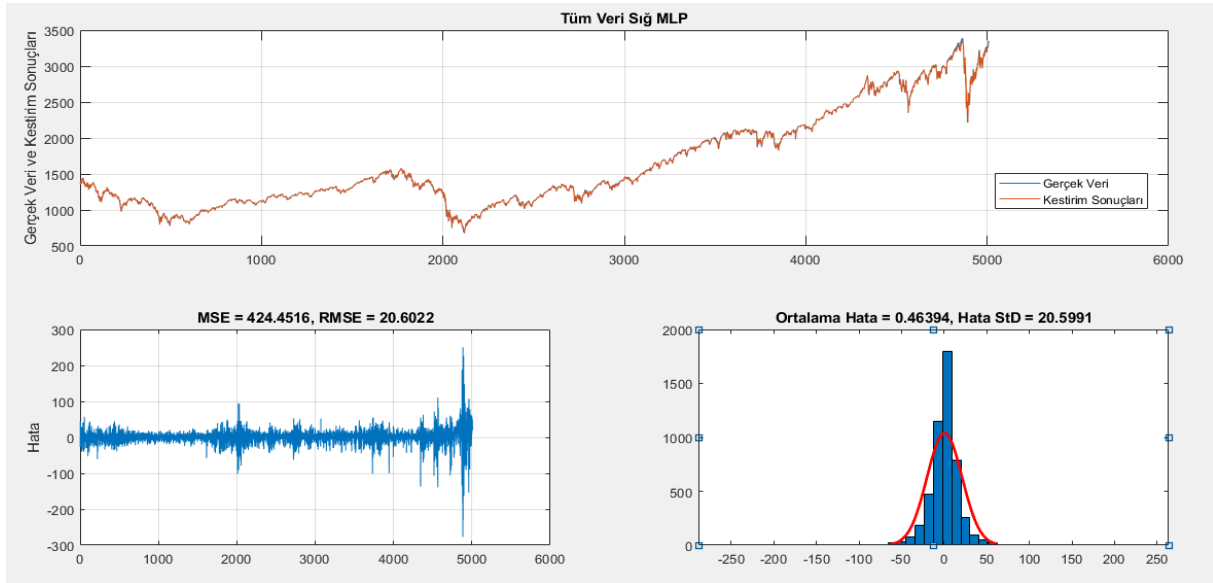


Şekil 7. Sığ MLP eğitim sonuçları.



Şekil 8. Sığ MLP test sonuçları.

Sığ MLP mimarisi sonucunda elde edilen eğitim ve test aşamaları bir arada incelendiğinde kök ortalama hatanın 20 dolar mertebesine yakın olduğu ve hata histogram tablosundan ortalama hatanın 0,5 dolar civarında ve standart sapmanın ise 20,5 dolar hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 9. Sığ MLP tüm veri sonuçları.

Tasarlanan mimariler sonucunda elde edilen hata değerlerinin karşılaştırıldığı Tablo 1 incelendiğinde, eğitim başarısı açısından Sığ MLP mimarisinin LSTM mimarisine göre daha başarılı bir kestirim sonucu elde edildiği görülmektedir. Eğitilmiş ağların doğrulanması için gerçekleştirilen test adımında MSE ve RMSE değerleri açısından LSTM mimarisinin Sığ MLP'ye yakın değerler sağladığı görülmektedir. Sığ MLP ve LSTM ağlarının eğitim başarıları RMSE değerleri açısından karşılaştırıldığında Sığ MLP değerinin yaklaşık olarak 1 dolar kadar daha az hata yaptığı görülürken test aşamasında ise Sığ MLP kestirim başarısı yaklaşık olarak 5 dolar kadar daha iyi sonuç vermektedir. Eğitim ve Test adımları bir arada göz önüne alındığında ise Sığ MLP mimarisinin 1,5 dolar kadar daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Tablo 1. LSTM ve sığ MLP yapılarının hata karşılaştırması.

HATA (\$)	Tüm Veri		Eğitim Verisi		Test Verisi	
	LSTM	Sığ MLP	LSTM	Sığ MLP	LSTM	Sığ MLP
MSE	484,14	424,45	299,38	262,08	4272.0	3754,48
RMSE	22,0	20,60	17.30	16.19	65.36	61,27

Tablo 2’ de her iki mimarinin hata değerlerinden elde edilen hata histogram sonuçları karşılaştırıldığında; Eğitim için beklenen değer (ortalama hata) sonuçlarının her iki mimari içinde yaklaşık olarak 0’a yakın olduğu gözlemlenmiştir. Test verisi için ise ortalama hata olarak MLP mimarisinin yaklaşık olarak 7 dolar kadar daha düşük olduğu görülmektedir. Her iki mimari standart sapma açısından incelendiğinde LSTM ve Sığ MLP mimarilerinin benzer bir dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Doğrulama adımında her iki mimari karşılaştırılırsa, Sığ MLP ve LSTM mimarisinin yaklaşık 20 dolarlık bir sapma değerine sahip olduğu hesaplanmıştır.

Tablo 2. LSTM ve sığ MLP hata histogram sonuçları.

HATA HİSTOGRAM	Tüm Veri		Eğitim Verisi		Test Verisi	
	LSTM	Sığ MLP	LSTM	Sığ MLP	LSTM	Sığ MLP
Ortalama Hata	0.710	0.463	-0.205	-0.1259	19.476	12.558
Hata std	21.99	20.599	17.303	16.188	62.525	60.1023

V. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

A. TARTIŞMA

Literatürde S&P veri seti ile gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde farklı algoritmalar ve farklı zamanlardan elde edilen zaman serisi için gerçekleştirilen çalışmalar mevcuttur. Khaled ve arkadaşları 1 Ocak 2010 ile 30 Kasım 2017 arasındaki tarihlerden oluşturdukları S&P veri setini %80 eğitim ve %20 test verisi olarak kullanmış ve Bi-LSTM ve LSTM mimarileri ile gerçek değer kestirim işlemini gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar incelendiğinde eğitim başarısı açısından 24.452 RMSE ve 0,0119 MAPE değerleri ile en iyi sonucu Bi-LSTM mimarisi ile hesapladıkları görülmektedir. Test verisi açısından yine Bi-LSTM mimarisinin %30 oranında daha düşük bir RMSE değeri sağladığı görülmektedir [22]. Önerilen çalışmada elde edilen sonuçlar ile Khaled ve arkadaşlarının elde ettiği sonuçlar incelendiğinde eğitim işleminde elde edilen RMSE değerinin (MLP için 16.187 ve LSTM için 17.302) daha az hatalı olduğu Tablo 3’ten görülmektedir. Test verisi açısından her iki çalışma karşılaştırıldığında ise LSTM mimarilerinin benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. Cao ve arkadaşları ise 13 Aralık 2007 ve 12 Aralık 2017 tarihleri arasında oluşturdukları 10 senelik veri setini %90 eğitim ve %10 olacak şekilde bölüp farklı algoritmalar ile kestirim sonuçlarını hesaplamış; tüm veri için 18,2 ile 4.8 arasında değişen RMSE değerleri bulmuşlardır [23]. Aynı tarih aralığında Li ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada ise (9 Kasım 2007 ile 25 Nisan 2017 tarihleri arası) sadece tüm veri seti için MAPE değerleri hesaplanmıştır [8]. Çalışmaların gerçekleştirildiği zaman aralığı incelendiğinde bu süreçte dünya genelinde herhangi bir kriz süreci yaşanmadığı ve S&P borsa verisinin düzenli artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Önerilen çalışmada RMSE ve MAPE değerini oldukça düşüren iki kriz faktörü bulunmaktadır. Bunlardan birincisi 2018’de yaşanan ekonomik kriz (Şekil 6 ve Şekil 9 tüm veri grafiği 4500. Adım civarı) ve Mart 2020 tarihli etkisini gösteren covid sürecidir (4.800. adım civarında 3400 \$ mertebesinden 2200 \$ mertebesine düşüş). Yaşanan bu süreçlere rağmen MLP ve LSTM mimarileri ile elde edilen MAPE değerleri (Sığ MLP 0.00815 ve LSTM 0,00897) Bu çalışmalara oldukça yakındır.

Tablo 3. Literatür karşılaştırması.

	Kullanılan Algoritma	Eğitim Verisi		Test Verisi		Tüm Veri	
		RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE
Khaled ve diğerleri [22]	BLSTM	24,452	0,01196	46,409	0,02302		
	LSTM	26,418	6	61,393	3		
			0,01302		0,03100		
			0		1		
Cao ve diğerleri [23]	LSTM					18,232	0,00611
	SVM					1	5
	CEEMDAN-SVM					10,244	0,00399
	CEEMDAN-LSTM					8	3
	CEEMDAN-MLP					6,8118	0,00221
						6,1412	3
					4,8291	0,00205	
						1	0,00161
						7	
Li ve diğerleri [8]	Linear Regression						0,0747
	Ridge Regression						0,0747
	Random Forest						0,0765
	LSTM						0,0742
Kılıç ve diğerleri [24]	ARIMA	120.152	0,07668	33,293	0,28405		
				5	9		
Önerilen Çalışma	MLP	16,1873	0.00784	61,273	0.01447	20,602	0.00815
	LSTM	17,3027	4	8	1	2	2
			0,00859	65,360	0,01679	22,003	0,00897
			4	6	3	2	5

Kılıç ve Arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada [24] ise 1 Ocak 1990 ile 1 Ocak 2011 arasındaki S&P borsa verisinden dalgacık katsayıları çıkartılarak ARIMA regresyon yöntemi kullanılmıştır. Önerilen çalışma ile Kılıç ve arkadaşlarının elde ettikleri RMSE sonuçları karşılaştırıldığında eğitim hatasının önerilen çalışmaya göre yaklaşık 5 dolarlık bir hata yaptığı gözlemlenmektedir. Fakat burada Kılıç ve arkadaşları tarafından eğitim için kullanılan veride borsa değerleri 1000 dolar civarında iken önerilen çalışmada borsa değeri 2000 dolar ile 3000 dolar mertebesinde değişmektedir. Bu neden ile dolar bazlı olarak gerçekleştirilen hata hesaplamasında değerler göz önünde bulundurulmalıdır.

Önerilen çalışmada tüm veri üzerinde başarıyı en çok etkileyen faktör test verisinin kestirilmesinde ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni küresel ölçekte yaşanan ve tüm dünya borsalarının %30 civarında değer kaybetmesine neden olan kovid sürecidir (Şekil 5 ve Şekil 8). Çalışmada önerilen algoritmalar bu süreçte kestirim adımını atlamayarak sadece artış trendi gösteren zaman dilimleri için değil, anlık düşüş ve yükseliş gösteren trendler için de başarılı bir kestirim tahmininde bulunduğu söylenebilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] L. Deng, "An overview of deep-structured learning for information processing," in *Proc. Asian-Pacific Signal & Information Annual Summit & Conference (APSIPA-ASC)*, Xi'an, China, 2011
- [2] The deep learning platform. (2018, Sept. 18). *Perceptrons and multi-layer perceptrons: the artificial neuron at the core of deep learning*. [Online]. Available: <https://missinglink.ai/guides/neural->

[network-concepts/perceptrons-and-multi-layer-perceptrons-the-artificial-neuron-at-the-core-of-deep-learning/](#)

- [3] A. Serwa, "Studying the effect of activation function on classification accuracy using deep artificial neural networks," *Journal of Remote Sensing & GIS*, vol. 06, 2017.
- [4] S. Hochreiter, J. Schmidhuber, "Long short-term memory," *Neural Computation*, vol. 9, pp. 1735-1780, 1997.
- [5] C. Olah. (2015, Aug. 27). Understanding LSTM Networks. [Online]. Available: <https://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>.
- [6] S. Yan. (2016, Mar. 13). *Understanding LSTM and its diagrams*. [Online]. Available: <https://medium.com/mlreview/understanding-lstm-and-its-diagrams-37e2f46f1714>.
- [7] X. H. Le, H. V. Ho, G. Lee, S.Jung, "Application of long short-term memory (LSTM) neural network for flood forecasting," *Water*, vol. 11, pp. 1387-1406, 2019
- [8] X. Li, Y. Li, X.Y. Liu, C. D. Wang, "Risk management via anomaly circumvent: mnemonic deep learning for midterm stock prediction," in *Proc. 2nd KDD Workshop on Anomaly Detection in Finance*, Anchorage, AK, USA, 2019
- [9] S. Kim, M. Kang, "Financial series prediction using attention LSTM," 2019, *arXiv:1902.10877*.
- [10] S. Siami-Namini ve A. Siami Namin, "Forecasting economics and financial time series: ARIMA vs. LSTM," 2018, *arXiv:1803.06386*.
- [11] M. Roondiwala, H. Patel, S. Varma, "Predicting stock prices using LSTM," *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 6, pp. 1754-1756, 2017.
- [12] A. H. Manurung, W. Budiharto, H. Prabowo, "Algorithm and modeling of stock prices forecasting based on long short-term memory (LSTM)," *International Journal of Innovative Computing Information and Control*, vol. 12, pp. 1277-1283, 2018.
- [13] Q. Zhuge, L. Xu, G.Zhang, "LSTM neural network with emotional analysis for prediction of stock price," *Engineering Letters*, vol. 25, pp. 167-175, 2017
- [14] T. Fischer, C. Krauss, "Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions," *European Journal of Operational Research*, vol. 270, pp. 654-669, 2018
- [15] K. Chen, Y. Zhoui, F.Dai," A LSTM-based method for stock returns prediction : A case study of China stock market," in *2015 IEEE International conference on big data (big data)*, 2015, pp. 2823-2824.
- [16] F. Ferdiansyah, S.H. Othman, R.Z.R.M.Radzi," A LSTM-Method for Bitcoin Price Prediction: A Case Study Yahoo Finance Stock Market," *International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)*, 2019, pp. 206-210.
- [17] J. Eapen, D. Bein, A. Verma," Novel deep learning model with CNN and bi-directional LSTM for improved stock market index prediction," In *2019 IEEE 9th annual computing and communication workshop and conference (CCWC)*, 2019, pp. 0264-0270.

- [18] I. E. Livieris, E. Pintelas, P. Pintelas, "A CNN-LSTM model for gold price time-series forecasting," *Neural computing and applications*, vol.32, pp.17351-17360, 2020.
- [19] K. Bayındır, "Financial time series prediction with LSTM recurrent neural networks," Yüksek Lisans tezi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2017.
- [20] Patro, S., & Sahu, K. K. (2015). Normalization: A preprocessing stage. arXiv preprint arXiv:1503.06462
- [21] D. Hammerstrom, 'Working with neural networks', *IEEE spectrum*, vol. 30, no. 7, pp. 46-53, 1993.
- [22] K. A. Althelaya, E.El-Alfy, S. Mohammed, "Evaluation of bidirectional lstm for short-and long-term stock market prediction," *9th international conference on information and communication systems (ICICS)*, 2018, pp. 151-156.
- [23] J. Cao, Z. Li, J. Li, "Financial time series forecasting model based on CEEMDAN and LSTM," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 519, pp. 127-139, 2018.
- [24] D. K. Kılıç, Ö. Uğur, "Multiresolution analysis of S&P500 time series," *Annals of Operations Research*, vol.260, pp. 197-216, 2018.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

13 Atomlu Cu-Ag-Au Üçlü Nanoalaşımın Kimyasal Sıralama ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi

 Hüseyin YILDIRIM ^{a,*}

^a Yenice Meslek Yüksekokulu, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.845551

ÖZET

Bu çalışmada, 13 atomlu Cu-Ag-Au üçlü metal nanoalaşımın kimyasal sıralama ve yapısal özellikleri Gupta ve DFT düzeylerinde ve üç farklı kompozisyon sisteminde incelenmiştir. Cu-Ag-Au üçlü nanoalaşımın Gupta düzeyindeki lokal optimizasyonları Basın-Hopping algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sonuçları Ag atomlarının yüzeye yerleşmeyi tercih ettiğini göstermektedir. Cu ve Au atomlarının nanoalaşımın yüzeyine veya merkezine ayrışma eğilimlerinin ise kompozisyon sistemine göre değiştiği bulunmuştur. Cu-Ag-Au nanoalaşımının tüm kompozisyonları için en kararlı kimyasal düzene sahip yapılar DFT relaksasyonu ile yeniden optimize edilmiştir ve Gupta ve DFT düzeylerinin karışma enerjileri karşılaştırılmıştır. Karışma enerjisi analizi, Gupta seviyesinde bulunan $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sistemlerinin en kararlı yapısının DFT ile uyuşmadığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Altın, Bakır, DFT, Gupta, Gümüş, Üçlü Nanoalaşım

Investigation of The Chemical Ordering and Structural Properties of 13 Atom Cu-Ag-Au Ternary Nanoalloys

ABSTRACT

In this study, chemical ordering and structural properties of 13-atom Cu-Ag-Au ternary metal nanoalloys were investigated at Gupta and DFT levels and in three different composition systems. Local optimizations of Cu-Ag-Au ternary nanoalloys at Gupta level were performed by using Basin-Hopping algorithm. The optimization results show that Ag atoms prefer to locate to the surface. It is found that the tendency to segregation to the surface or centre of nanoalloys of Cu and Au atoms vary according to the composition system. The most stable chemical ordering structures for all compositions of Cu-Ag-Au nanoalloys have been re-optimized with DFT relaxations and the mixing energies of the Gupta and DFT levels are compared. The mixing energy analysis showed that the most stable structure of $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) and $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) composition systems found at Gupta level does not agree with those of DFT.

Keywords: Copper, DFT, Gold, Gupta, Silver, Ternary nanoalloy

I. GİRİŞ

Son yıllarda, ikili ve üçlü nanoalaşımalar üzerine yapılan araştırmalar, metal nanoalaşımların kataliz, katı-hal fiziği, kimyasal fizik, biyotıp, optik, elektronik ve manyetik alanlardaki potansiyel uygulamaları nedeniyle önemli ilerlemeler kaydetmiştir [1, 2]. Özellikle üçlü nanoalaşımlar daha karmaşık olmasına rağmen, yüksek katalitik aktivite ve seçiciliğe sahip olması nedeniyle ilgi çekmektedir [2]. Ayrıca, üçlü nanoalaşımlar nanokatalizörlerin aktivitesini iyileştirerek, daha düşük maliyetli ve isteğe bağlı özelliklere sahip yeni işlevsel nanomalzemelerin tasarlanması için daha geniş olanaklar sunmaktadır [1, 3].

Grup 11 metalleri (Cu, Ag, Au), çoğu katalizörün önemli bileşenleri olması ve bu metallerin elektronegatiflikleri, yüksek iletkenlikleri, kimyasal kararlılıkları, termal iletkenlikleri, düşük ısıl genleşmeleri ve yüksek aktiviteyi nedeniyle modern katalizde büyük ilgi görmektedir. [4-7]. Bakır düşük maliyeti, bol rezervleri ve çok yönlülüğü nedeniyle kataliz olarak hidrojenasyon reaksiyonları ve dehidrojenasyonda yaygın olarak kullanılmaktadır [7, 8]. Gümüş, oksijen moleküllerinin aktivasyonu ve adsorpsiyon yeteneklerinden dolayı oksidasyon reaksiyonlarında en etkili katalizörlerden biri olarak kabul edilmektedir [8]. Altın ise katalizör olarak, oksidasyon, hidrojenasyon ve diğer birçok dönüşüm için başarı ile kullanılmaktadır [7]. Bu sonuçlar ışığında, Grup 11 metalleri, oksidasyon aktivitelerinde önemli bir rol oynadığı için yakıt hücrelerindeki oksijen indirgeme reaksiyonu (ORR) için en iyi katalizörlerden biri olarak kabul edilmektedir [9-11]. Ayrıca, Cu-Ag-Au nanoalaşımları, yüzey ayrışmaları giderek daha fazla önem kazandığı için ve özellikleri iyi bilinen Grup 11 metallerinden oluştuğu için ilgi çekmektedirler [2, 12]. Bu nedenle, Grup 11 metallerinin kimyasal kökenini bulmak, katalitik davranışlarının anlaşılmasında önemli bir etkiye sahip olacağı ve gelecekteki uygulamalarının tasarımına rehberlik edeceği için, son yıllarda Grup 11 metalleri teorik olarak [13-19] oldukça fazla çalışılmıştır.

Rapallo ve arkadaşları, 34 ve 38 atomlu Ag-Cu nanoalaşımlarını optimize etmişlerdir ve optimizasyon sonucunda Ag-Cu nanoalaşımlarında boyut uyumsuzluğu ve Ag atomlarının yüzeye yerleşme eğiliminde olduklarını bulmuşlardır [13]. Wilson ve Johnston, ikosahedron Cu-Au nanoalaşımları için en düşük enerjili izomerleri araştırmışlardır ve Au atomlarının nanoalaşımın yüzey bölgesine, Cu atomlarının nanoalaşımın merkezine yerleşme eğiliminde olduklarını bulmuşlardır [14]. Wu ve arkadaşları, 55 atomlu Ag-Au nanoalaşımlarını Gupta düzeyinde optimize etmişlerdir ve optimizasyon sonucunda nanoalaşımların hepsinin İkosahedron yapıya sahip olmadığını ve yapısal olarak üç sınıfa ayrıldığını bulmuşlardır [15]. Wu ve arkadaşları 19 ve 55 atomdan oluşan Cu-Ag-Au üçlü nanoalaşımların optimizasyonunu içeren çalışmalarında, 19 atomdan oluşan Cu-Ag-Au üçlü nanoalaşımların optimizasyonu sonrasında bütün nanoalaşımların iç içe geçmiş ikili ikosahedron yapıya sahip olduğunu ve 55 atomdan oluşan Cu-Ag-Au nanoalaşımların ise optimizasyondan sonra Cu ve Ag atomlarının nanoalaşımın merkezine ve yüzeye, Au atomlarının çoğunlukla ikinci kabuğa yerleştiğini bulmuşlardır [2]. Cheng ve arkadaşları Ag-Cu-Au üçlü nanoalaşımların yüzey ayrışmalarını incelemişlerdir ve Ag atomlarının genellikle nanoalaşımların yüzeyinde toplandığını, Au atomlarının nanoalaşımın iç kabuklarına yerleştiğini ve Cu atomlarının ise nanoalaşımın merkezinde yer aldığını bulmuşlardır [12]. Yıldırım ve Arslan iki ayrı çalışmada 23, 26, 38 ve 55 atomlu Cu-Ag-Au nanoalaşımlarının yapısal özelliklerini her büyüklükteki nanoalaşımlarda sadece Cu atom sayısını sabit tutarak Gupta düzeyinde incelemişlerdir. Optimizasyonlar sonucunda Ag ve Au atomlarının yüzeylere, Cu atomunun ise genellikle iç kabuklara yerleşme eğiliminde olduklarını bulmuşlardır [16, 17]. Goh ve arkadaşları AuCu nanoalaşımları için yeni bir Gupta potansiyel parametre seti önermişlerdir ve sonuçlarını Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (Density Functional Theory, DFT) hesaplamalarıyla karşılaştırmışlardır. Önerilen parametre setinde elde edilen kimyasal sıralama sonuçlarının DFT hesaplamaları ile elde edilen sonuçlar ile çok uyumlu olduğunu bulmuşlardır. [18]. Jiang ve arkadaşları DFT düzeyinde küçük $Cu_{n-1}Ag$ ($2 \leq n \leq 8$) nanoalaşımları için Ag'nin yüzey ayrışma eğilimini incelemişlerdir ve Ag atomlarının yüzey pozisyonlarını işgal etme eğiliminde olduklarını bulmuşlardır [19].

Nanoalaşımın kimyasal düzeni ve geometrik şekli, nanoalaşımın özelliklerinin belirlenmesinde, kullanışlı ve pahalı olmayan katalitik malzeme tasarlanmasında önemli rol oynamaktadır [20, 21]. Özellikle, çekirdek kabuk yapısına sahip nanoalaşımın yüksek simetriye sahip olması ve çekirdek ve kabuk atomları arasındaki yüzey geriliminin katalitik aktiviteyi etkilemesinden dolayı ilgi çekmektedirler [17, 20, 22, 23]. Bu çalışmada 13 atomlu ikosahedron geometriye yoğunlaşmamızın sebebi, ikosahedron geometrinin farklı geometriler arasında en yüksek simetriye sahip olması ve 13'ün ikosahedron geometri için sihirli bir sayı ve çekirdek-kabuk yapısına sahip olmasıdır [17, 21, 24].

Bu çalışmada, 13 atomlu Cu-Ag-Au nanoalaşımının yapısal özellikleri hakkında yeterli literatür bilgisi olmadığı için, Cu-Ag-Au nanoalaşımını üç farklı kompozisyon sistemi ile ele alınarak incelenmiştir. Üç farklı sistemi oluşturan $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$), $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımının bir tane atomu sabit alınarak ve diğer iki atomun toplam sayısı 12 olacak şekilde lokal optimizasyonları gerçekleştirilmiştir. 13 atomdan oluşan Cu-Ag-Au nanoalaşımının Gupta düzeyindeki lokal optimizasyonları sonucunda bulunan en kararlı kimyasal düzene sahip yapılar daha sonra DFT relaksasyonu ile yeniden optimize edilmiştir ve Gupta ve DFT düzeylerinin karışma enerjileri karşılaştırılmıştır. DFT, atomlarla ilgili modellerin doğruluğunu değerlendirmeye izin verdiğinden, nanoalaşımın yapısal davranışlarını keşfetmek için en popüler yaklaşımlardan biridir ve çoğu durumda Gupta potansiyeli ile oldukça iyi bir uyum elde etmektedir [1, 3].

II. HESAPLAMA YÖNTEMİ

Bu çalışmada $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$), $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) üçlü nanoalaşımın yapısal analizleri atomistik ve DFT hesaplamalarıyla yapılmıştır. Yapısal araştırmamız için ilk olarak $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$), $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) üçlü nanoalaşımın en kararlı kimyasal düzene sahip yapıları Basın-Hopping algoritması kullanılarak GMIN programı ile elde edilmiştir [25]. Her nanoalaşım için Basın-Hopping algoritması 2×10^5 adımda gerçekleştirilmiştir. 13 atomlu Cu-Ag-Au nanoalaşımında Cu, Ag ve Au atomları arasındaki etkileşimler Gupta çok cisim potansiyel enerji fonksiyonu ile modellenmiştir [26]. Gupta çok cisim potansiyel enerji fonksiyonu, V_i^r itici çift bileşen ve V_i^m çekici çok cisim bileşen terimlerinin toplamıdır [27-29].

$$V = \sum_i^N (V_i^r - V_i^m) \quad (1)$$

$$V_i^r = \sum_{j \neq i}^N A(a, b) \exp \left(-p(a, b) \left(\frac{r_{ij} - r_0(a, b)}{r_0(a, b)} \right) \right) \quad (2)$$

$$V_i^m = \sum_{j \neq i}^N \xi^2(a, b) \exp \left[-2q(a, b) \left(\frac{r_{ij} - r_0(a, b)}{r_0(a, b)} \right) \right]^2 \quad (3)$$

Gupta potansiyelinde a ve b , i ve j atomlarının türlerini, r_{ij} , i ve j atomlar arası uzaklığı ve r_0 en yakın komşu mesafesini ifade eden parametrelerdir. A , p , q ve ξ parametreleri kohesif enerji, örgü parametreleri ve bağımsız elastik sabitlerin deneysel değerlerine mutlak sıfırdaki referans bulk kristal yapı için fit edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan Gupta parametreleri Tablo 1'de verilmiştir [2].

Lokal optimizasyonlar sonucunda elde edilen en kararlı kimyasal düzene sahip yapılar DFT relaksasyonu için başlangıç konfigürasyonları olarak kullanılmıştır. DFT hesaplamaları ise, Quantum Espresso'da (QE) PWscf kodu [30, 31], pseudopotansiyeller [32] ve Perdew Burke Ernzerhof (PBE) tarafından önerilen genelleştirilmiş gradyent yaklaşımı (GGA) kullanılarak yapılmıştır [33]. Dalga fonksiyonu enerji kesim değeri 41.0 Ry ve yük yoğunluğu enerji kesim değeri 364.0 Ry olarak

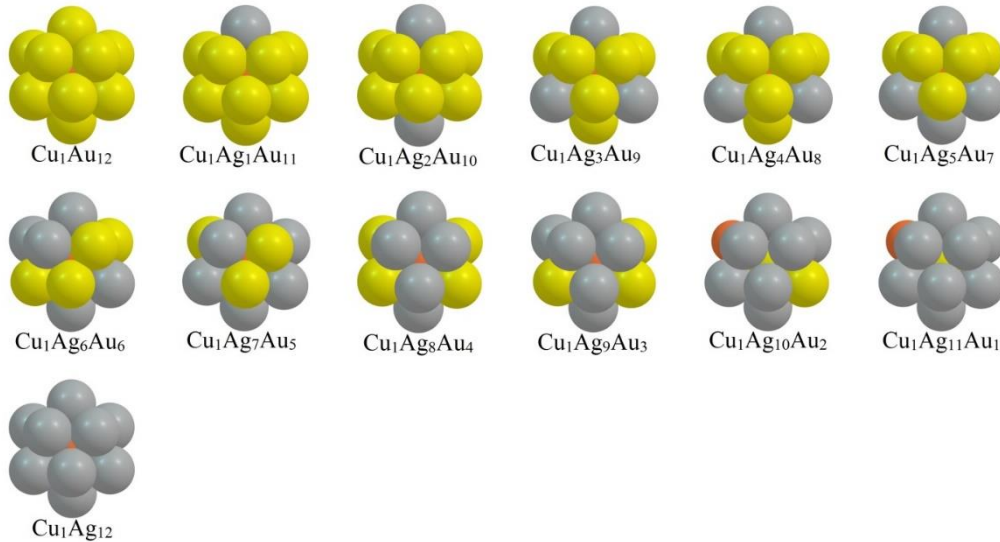
seçilmiştir. Marzari-Vanderbilt smearing tekniği 0.02 Ry genişletilerek uygulanmıştır. Tüm DFT hesaplamalarında küme bir kenarı 17 Å olan kübik bir hücrenin merkezine yerleştirilmiştir.

Tablo 1. Gupta potansiyel enerji fonksiyonu parametreleri.

	A (eV)	p	q	ξ (eV)	r₀ (Å)
Cu-Cu	0.0855	10.960	2.2780	1.2240	2.5562
Cu-Ag	0.0980	10.700	2.8050	1.2274	2.7224
Cu-Au	0.1539	11.050	3.0475	1.5605	2.5562
Ag-Ag	0.1028	10.928	3.1390	1.1780	2.8885
Ag-Au	0.1490	10.494	3.6070	1.4874	2.8864
Au-Au	0.2061	10.229	4.0360	1.7900	2.8843

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, 13 atomlu Cu-Ag-Au nanoalaşımalarının yapısal özelliklerini incelemek için $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$), $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) gibi üç farklı kompozisyon sistemi ele alınmıştır. Bu kompozisyon sistemlerinde yer alan nanoalaşımaların lokal optimizasyonları Basin-Hopping algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gupta düzeyindeki optimizasyonlar sonucunda üç farklı sistemde bulunan bütün nanoalaşımaların en kararlı kimyasal düzene sahip yapılarının OVITO'daki [34] Ortak Komşu Analizine göre ikosahedron yapıdadır. Ortak Komşu Analizi (Common Neighbour Analysis), FCC, HCP, BCC ve ikosahedron gibi farklı geometrik yapıları ayırt etmek için kullanılan faydalı bir araçtır [35]. 13 atomlu ikosahedron geometrinin bir atomu merkezde diğer 12 atomu ise yüzeyde bulunmaktadır. $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımalarının lokal optimizasyonları sonucunda bulunan Gupta düzeyindeki en düşük enerjiye ve en kararlı kimyasal düzene sahip yapıları Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de Cu, Ag ve Au atomları sırasıyla kırmızı, gri ve sarı renkli küreler ile gösterilmiştir.

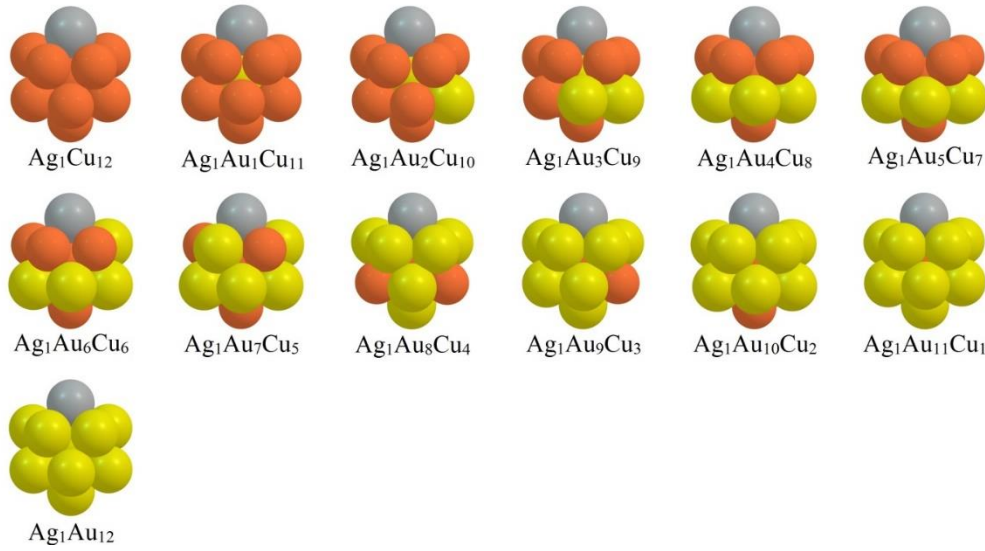


Şekil 1. $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımalarının lokal optimizasyonları sonucunda elde edilen en kararlı kimyasal düzene sahip yapılar.

Şekil 1'e göre, Cu_1Au_{12} ve Cu_1Ag_{12} ikili nanoalaşımalarında 1 tane Cu atomunun nanoalaşımın merkezine, sırasıyla 12 Au ve 12 Ag atomunun ise yüzeye yerleştiği görülmektedir. Cu_1Au_{12} nanoalaşımından, $Cu_1Ag_9Au_3$ nanoalaşımına kadar ikosahedron yapının merkezine Cu atomunun

yerleştiği görülmektedir. $Cu_1Ag_{10}Au_2$ ve $Cu_1Ag_{11}Au_1$ nanoalaşımalarında ise merkezdeki 1 Cu atomu ile yüzeydeki 1 Au atomu yer değiştirerek, 1 Au atomu merkeze, 1 Cu atomu ise yüzeye yerleşmektedir.

$Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımalarının lokal optimizasyonları sonucunda bulunan Gupta düzeyindeki en düşük enerjiye ve en kararlı kimyasal düzene sahip yapıları Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekil 2’ye göre Ag_1Cu_{12} ikili nanoalaşımında 1 Ag atomunun nanoalaşımın yüzeyine yerleştiği görülmektedir. Nanoalaşımın merkezine ise Cu atomu yerleşmiştir. $Ag_1Au_1Cu_{11}$ nanoalaşımından $Ag_1Au_3Cu_9$ nanoalaşımına kadar nanoalaşımın merkezine Au atomu yerleşirken, Cu ve Ag atomları nanoalaşımın yüzeyine yerleşmektedir. $Ag_1Au_4Cu_8$ nanoalaşımından $Ag_1Au_{11}Cu_1$ nanoalaşımına kadar nanoalaşımın merkezine Cu atomu yerleşirken, yüzeydeki diğer Cu atomları ile Au atomları yer değiştirmektedir. Bu nanoalaşımarda 1 Ag atomu daima nanoalaşımın yüzeyine yerleşmektedir. Ag_1Au_{12} ikili nanoalaşımında ise 1 Ag atomu nanoalaşımın yüzeyine yerleşirken, nanoalaşımın merkezine Au atomunun yerleştiği görülmektedir.



Şekil 2. $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımalarının lokal optimizasyonları sonucunda elde edilen en kararlı kimyasal düzene sahip yapılar.

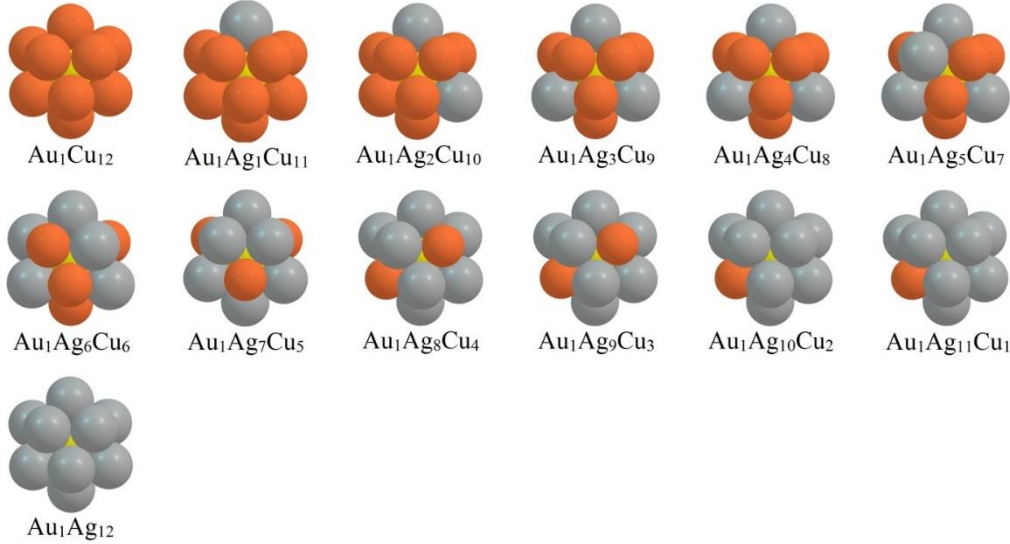
$Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımalarının lokal optimizasyonları sonucunda bulunan Gupta düzeyindeki en düşük enerjiye ve en kararlı kimyasal düzene sahip yapıları Şekil 3’te gösterilmiştir. Şekil 3’ye göre, bu nanoalaşımaların hepsinde 1 Au atomu daima nanoalaşımın merkezine yerleşirken, nanoalaşımdaki Ag atomu sayısı arttıkça, yüzeydeki Ag ve Cu atomları yer değiştirmektedir.

Tablo 2. Ag, Au, Cu elementlerinin özellikleri.

	$E_{yüzey}$ ($meV\text{Å}^{-2}$)	r_{atomik} yarıçap (Å)
Ag	78.0	1.45
Au	96.8	1.44
Cu	113.9	1.28

Sonuç olarak, Gupta düzeyinde $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımalarında Cu, Ag ve Au atomlarının merkeze veya yüzeye yerleşme eğilimlerinin birbirine benzediği görülmüştür. Cu atomları genellikle merkeze yerleşmeyi tercih ederken, Ag ve Au atomları ise yüzeye yerleşmeyi tercih etmektedirler. Cu, Ag ve Au atomlarının merkeze veya yüzeye yerleşme eğilimi atomların yüzey enerjilerine ve atomik yarıçaplarına bağlı olarak açıklanabilmektedir. Nanoalaşımarda diğer atomlardan daha büyük yüzey enerjisine ve daha küçük atomik yarıçapa sahip atomlar nanoalaşımın merkezine yerleşmektedirler. Cu atomu Tablo 2’de [36] verildiği üzere, diğer atomlardan daha büyük yüzey

enerjisine ve daha düşük atomik yarıçapa sahip olduğu için bu iki kompozisyon sisteminde genellikle merkeze yerleşmiştir. $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımında ise $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımına göre Cu, Ag ve Au atomlarının farklı yerleşme eğilimine sahip olduğu görülmüştür. Bu kompozisyon sisteminde Au atomu bütün nanoalaşımlarda merkeze yerleşmektedir. $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sistemleri, yüzey enerjisi ve atomik yarıçap değerlerine göre öne sürülen $Cu_{merkez}(AgAu)_{yüzey}$ yerleşimlerini desteklerken, $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sistemi desteklememektedir. Cu, Ag ve Au atomlarının Gupta düzeyinde nanoalaşımdaki yapısal davranışlarında kompozisyon sisteminin etkisi olduğu görülmektedir.



Şekil 3. $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımının lokal optimizasyonları sonucunda elde edilen en kararlı kimyasal düzene sahip yapılar.

Nanoalaşımın yapısal olarak incelenmesi için önemli analiz yöntemlerinden biri de nanoalaşımın kompozisyona göre kararlılığını araştırmak için en kararlı kimyasal düzene sahip yapıların enerjilerini kullanan karışma enerjisi (E_{exc}) analizidir. Nanoalaşımda sayısı sabitlenen atom türü varsa, lokal optimizasyonlar sonucunda elde edilen üçlü nanoalaşım için karışma enerjisi Eşitlik (4) ile tanımlanmaktadır [17].

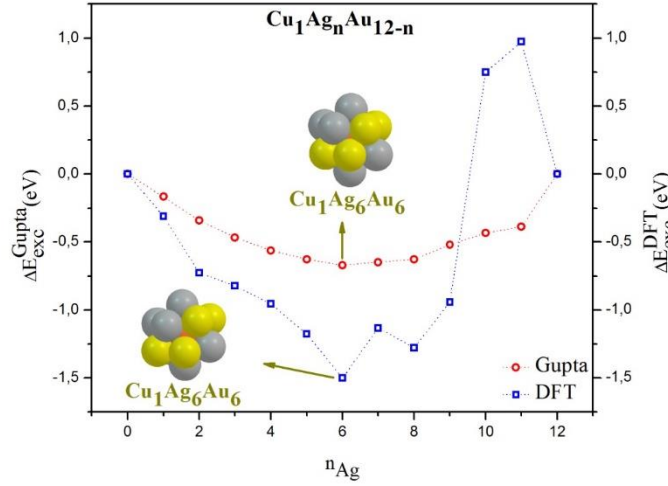
$$\Delta E_{exc}^{Gupta}(C_kA_nB_m) = E(C_kA_nB_m) - n \frac{E(C_kA_{n+m})}{n+m} - m \frac{E(C_kB_{n+m})}{n+m} \quad (4)$$

Burada, $E(C_kA_nB_m)$ üçlü nanoalaşımının toplam Gupta enerjisini, $E(C_kA_{n+m})$ ve $E(C_kB_{n+m})$ ise ikili nanoalaşımın toplam Gupta enerjilerini temsil etmektedir. Bu eşitlik ΔE_{exc}^{DFT} için kullanıldığında $E(C_kA_nB_m)$, $E(C_kA_{n+m})$ ve $E(C_kB_{n+m})$ DFT toplam enerjileri ifade etmektedir [37]. Nanoalaşım için uyarlanan karışma enerjisi, nanoalaşımı oluşturan metallerin karışma derecesini vermektedir. Bu derecenin en düşük değeri, karışımın en uygun olduğu ve dolayısıyla en kararlı nanoalaşımı temsil etmektedir.

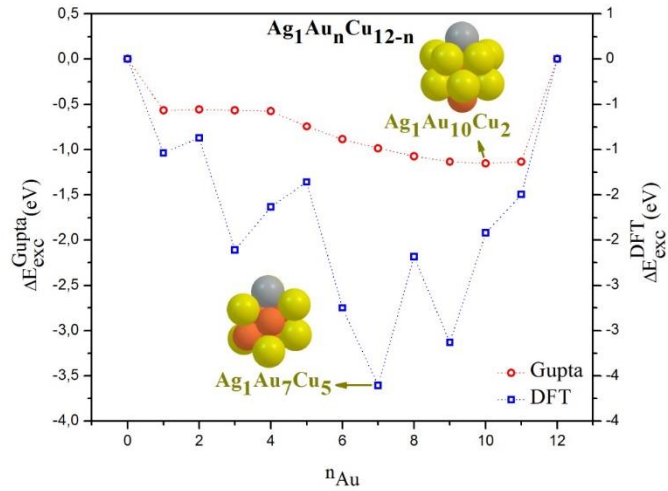
Cu-Ag-Au nanoalaşımının Gupta ve DFT düzeyindeki E_{exc} eğrileri Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.

Ag atomlarının sayısının (n) bir fonksiyonu olarak $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımının karışma enerjisi grafiği Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'e göre, $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımının hem Gupta düzeyinde hem de DFT düzeyinde en kararlı nanoalaşımı $Cu_1Ag_6Au_6$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuç $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sistemi için Gupta ve DFT düzeylerinin birbiriyle uyumlu olduğunu göstermektedir. $Cu_1Ag_6Au_6$ nanoalaşımının Ortak Komşu Analizine göre hem Gupta

düzeyinde hem de DFT düzeyinde ikosahedron geometriye sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca hem Gupta düzeyindeki hem de DFT düzeyindeki $\text{Cu}_1\text{Ag}_6\text{Au}_6$ nanoalaşımında 1 Cu atomu nanoalaşımın merkezine yerleşirken, 6 Ag ve 6 Au atomu nanoalaşımın yüzeyine birbirleriyle karışarak yerleşmiştir. $\text{Cu}_1\text{Ag}_n\text{Au}_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sistemi için Cu, Ag ve Au atomlarının Gupta düzeyinde ve DFT düzeyinde en kararlı nanoalaşımlara yerleşme eğilimlerinin benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 4. $\text{Cu}_1\text{Ag}_n\text{Au}_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımlarının Gupta ve DFT düzeyinde karışma enerjilerinin Ag sayısına göre değişimi.

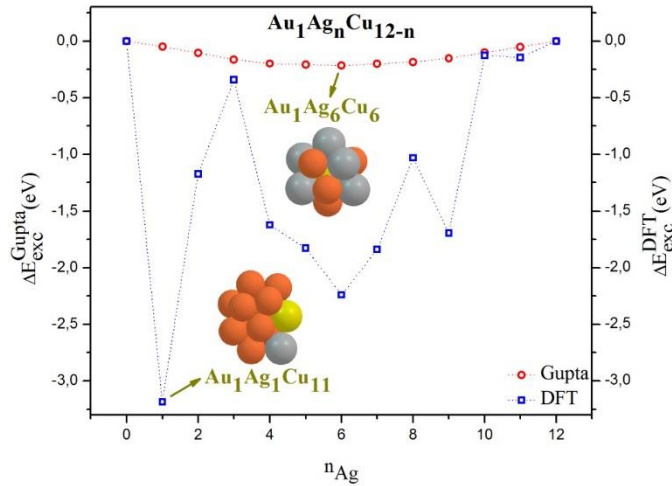


Şekil 5. $\text{Ag}_1\text{Au}_n\text{Cu}_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımlarının Gupta ve DFT düzeyinde karışma enerjilerinin Au sayısına göre değişimi.

Au atomlarının sayısının (n) bir fonksiyonu olarak $\text{Ag}_1\text{Au}_n\text{Cu}_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımlarının karışma enerjisi grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5'e göre, $\text{Ag}_1\text{Au}_n\text{Cu}_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımlarının Gupta düzeyinde en kararlı nanoalaşımı $\text{Ag}_1\text{Au}_{10}\text{Cu}_2$, DFT düzeyinde en kararlı nanoalaşımı ise $\text{Ag}_1\text{Au}_7\text{Cu}_5$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuç $\text{Ag}_1\text{Au}_n\text{Cu}_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sistemi için Gupta ve DFT düzeylerinin birbirleriyle uyumlu olmadığını göstermektedir. Gupta düzeyindeki en kararlı kompozisyon $\text{Ag}_1\text{Au}_{10}\text{Cu}_2$ nanoalaşımı Ortak Komşu Analizine göre ikosahedron yapıda iken, DFT düzeyindeki en kararlı kompozisyon $\text{Ag}_1\text{Au}_7\text{Cu}_5$ nanoalaşımı amorf bir yapıya sahiptir. Ayrıca, $\text{Ag}_1\text{Au}_n\text{Cu}_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sistemi için hem Gupta düzeyinde hem de DFT düzeyinde Cu, Ag

ve Au atomlarının en kararlı nanoalaşıma yerleşme eğilimi benzerlik göstermektedir. Nanoalaşımların merkezine Cu atomu yerleşirken, yüzeyine Ag ve Au atomları yerleşmektedir.

Ag atomlarının sayısının (n) bir fonksiyonu olarak $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımlarının karışma enerjisi grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'a göre, $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımlarının Gupta düzeyinde en kararlı nanoalaşımı $Au_1Ag_6Cu_6$, DFT düzeyinde en kararlı nanoalaşımı ise $Au_1Ag_1Cu_{11}$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuç $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sistemi için Gupta ve DFT düzeylerinin birbirleriyle uyumlu olmadığını göstermektedir. Gupta düzeyindeki en kararlı kompozisyon $Au_1Ag_6Cu_6$ nanoalaşımı Ortak Komşu Analizine göre ikosaedron yapıda iken, DFT düzeyindeki en kararlı kompozisyon $Au_1Ag_1Cu_{11}$ nanoalaşımı amorf bir yapıya sahiptir. Ayrıca, Gupta düzeyindeki $Au_1Ag_6Cu_6$ nanoalaşımında Ag ve Cu atomları birbirleriyle karışarak yüzeye yerleşirken, merkeze ise Au atomu yerleşmektedir. DFT düzeyindeki $Au_1Ag_1Cu_{11}$ nanoalaşımında ise merkeze Cu atomu yerleşirken, Ag ve Au atomları birbirinden ayrılarak yüzeye yerleşmektedir. $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sistemi için Cu, Ag ve Au atomlarının, Gupta düzeyinde ve DFT düzeyinde elde edilen en kararlı nanoalaşımlara yerleşme eğilimlerinin farklı olduğu görülmektedir.



Şekil 6. $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımlarının Gupta ve DFT düzeyinde karışma enerjilerinin Ag sayısına göre değişimi.

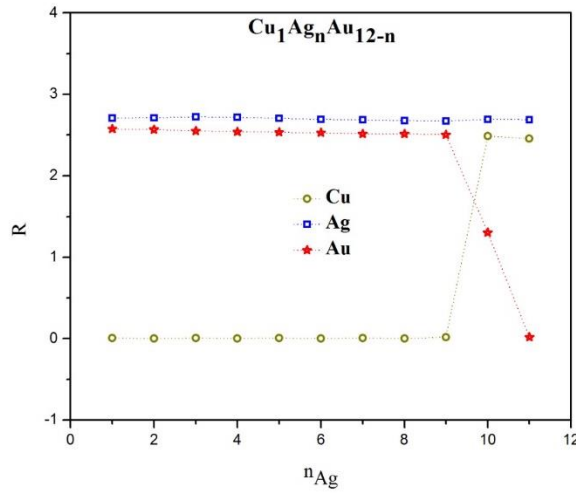
$Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$), $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sistemlerinde ikili nanoalaşımların karışma enerjisi değerleri hem Gupta hem de DFT düzeyinde $E_{exc}=0$ olduğu görülmektedir. Bu sonuç üçlü nanoalaşımların hem Gupta düzeyinde hem de DFT düzeyinde genellikle ikili nanoalaşımlara göre daha kararlı olduğu anlamına gelmektedir. Yani üçlü nanoalaşımlar enerji analizine göre karışma daha elverişlidir. Ayrıca, $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sistemlerinde en kararlı nanoalaşımlar açısından Gupta ve DFT düzeyleri birbirleriyle uyumsuz sonuçlar verirken, $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sisteminde birbirleriyle uyumlu sonuç vermiştir.

$Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$), $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımlarında Cu, Ag ve Au atomlarının yerleşme eğilimini daha iyi analiz edebilmek için nanoalaşımı oluşturan her bir tür atomun nanoalaşımın merkezinden ortalama uzaklığını ifade eden R_A parametresi [20] değerleri elde edilmiştir.

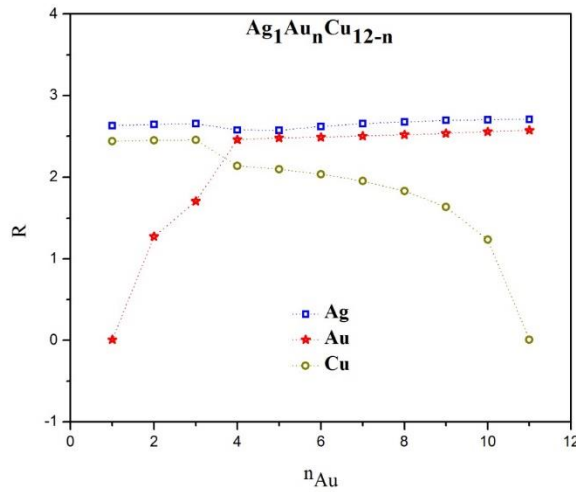
$$R_A = \frac{1}{n_A} \sum_{i=1}^{n_A} \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2} \quad (5)$$

Burada, n_A üçlü nanoalaşımardaki her bir atom türünün atom sayısını, x_i , y_i ve z_i ise atomların konumunu göstermektedir. Büyük R değerleri atomların yüzeye yerleşme eğiliminde olduğunu gösterirken, küçük R değerleri ise atomların merkeze yerleşme eğiliminde olduğunu göstermektedir.

$\text{Cu}_1\text{Ag}_n\text{Au}_{12-n}$ ($n=0-12$), $\text{Ag}_1\text{Au}_n\text{Cu}_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $\text{Au}_1\text{Ag}_n\text{Cu}_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımalarının R parametrelerinin değişimi sırasıyla Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9’da gösterilmiştir. Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9 incelediğinde üç kompozisyon sisteminde de R_{Ag} değeri tüm nanoalaşımarda R_{Au} ve R_{Cu} değerinden büyük olduğu görülmektedir. Bu sonuç Ag atomlarının tüm nanoalaşımarda yüzeye yerleşmeyi tercih ettiğini göstermektedir. $\text{Cu}_1\text{Ag}_n\text{Au}_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımalarına ait R parametre değişimleri incelendiğinde 1 Cu atomu $\text{Cu}_1\text{Ag}_1\text{Au}_{11}$ nanoalaşımından $\text{Cu}_1\text{Ag}_9\text{Au}_3$ nanoalaşımına kadar merkeze yerleşmeyi tercih ettiği için R_{Cu} değeri R_{Au} değerinden küçüktür. $\text{Cu}_1\text{Ag}_{10}\text{Au}_2$ ve $\text{Cu}_1\text{Ag}_{11}\text{Au}_1$ nanoalaşımalarında ise Au atomları merkeze yerleştiği için R_{Cu} değeri R_{Au} değerinden büyük olmaktadır.



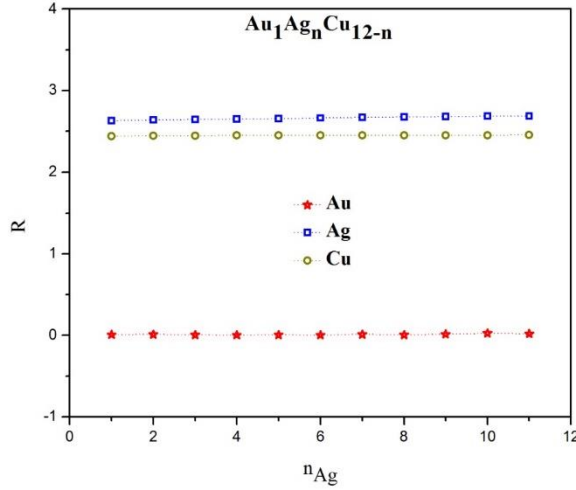
Şekil 7. $\text{Cu}_1\text{Ag}_n\text{Au}_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımalarının R parametrelerinin değişimi.



Şekil 8. $\text{Ag}_1\text{Au}_n\text{Cu}_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımalarının R parametrelerinin değişimi.

$\text{Ag}_1\text{Au}_n\text{Cu}_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımalarına ait R parametre değişimleri incelendiğinde $\text{Ag}_1\text{Au}_1\text{Cu}_{11}$ nanoalaşımından $\text{Ag}_1\text{Au}_3\text{Cu}_9$ nanoalaşımına kadar Au atomları merkeze yerleşmeyi tercih ettiği için R_{Au}

değeri R_{Cu} değerinden küçüktür. $Ag_1Au_4Cu_8$ nanoalaşımından $Ag_1Au_{11}Cu_1$ nanoalaşımına kadar Cu atomları merkeze yerleşmeyi tercih ettikleri için R_{Cu} değeri, azalan Cu atomu sayısı ile azalmaktadır. $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımına ait R parametre değişimleri incelendiğinde ise Au atomları tüm nanoalaşımlarda merkeze yerleşmeyi tercih ettiği için R_{Au} değeri R_{Cu} değerinden küçüktür. R_{Cu} değerinin, R_{Au} değerine göre R_{Ag} değerine yakın olması ise Cu atomlarının Ag atomları ile birlikte yüzeye yerleşme eğilimi gösterdiğini ifade etmektedir. Sonuç olarak, $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sistemlerinde atomların merkeze veya yüzeye yerleşme eğilimi kompozisyona göre az da olsa değişiklik gösterirken, $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sisteminde atomların merkeze veya yüzeye yerleşme eğilimi kompozisyona göre değişmemektedir.



Şekil 9. $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) nanoalaşımının R parametrelerinin değişimi.

IV. SONUC

13 atomlu Cu-Ag-Au nanoalaşımının yapısal özellikleri $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$), $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) olacak şekilde oluşturulan üç farklı kompozisyon sisteminde Gupta ve DFT düzeylerinde incelenmiştir. Gupta düzeyinde Cu, Ag, Au atomlarının yerleşme eğilimleri $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sistemlerinde benzerlik gösterirken, $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sisteminde ise farklı olmaktadır. Ag atomlarının tüm kompozisyon sistemlerinde nanoalaşımın yüzeyine yerleşmeyi tercih ettiği görülmüştür. Cu ve Au atomlarının merkeze veya yüzeye yerleşme eğilimlerinin ise kompozisyon sistemine göre değiştiği görülmüştür. Gupta ve DFT düzeylerindeki karışma enerjisi analizlerine göre elde edilen en kararlı nanoalaşımın açısından $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sistemlerinde Gupta ve DFT düzeyleri birbiriyle uyumsuz sonuçlar verirken, $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sisteminde birbiriyle uyumlu sonuç verdiği görülmüştür. DFT düzeyinde $Cu_1Ag_nAu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sisteminde en kararlı kimyasal düzene sahip nanoalaşım ikosahedron geometriye sahipken, $Ag_1Au_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) ve $Au_1Ag_nCu_{12-n}$ ($n=0-12$) kompozisyon sistemlerinde amorf yapıya sahip olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, Cu-Ag-Au nanoalaşımının yapısal özelliklerinin kompozisyon sistemine ve uygulanan yonteme göre değişiklik gösterdiği elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada gerçekleştirilen lokal optimizasyonlar Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenen bilgisayar olanakları kullanarak yapılmıştır (Proje no: 2016-22794455-01, 2016-22794455-02). DFT hesaplamaları ise, TÜBİTAK-ULAKBİM TRUBA kaynaklarında gerçekleştirilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. K. Garip, H. Arslan, D. Rapetti, R. Ferrando, "A DFT study of chemical ordering and oxygen adsorption in AuPtPd ternary nanoalloys," *Materials Today Communications*, vol. 25, pp. 101545, 2020.
- [2] X. Wu, G. Wu, Y. Chen, Y. Qiao, "Structural optimization of Cu-Ag-Au trimetallic clusters by adaptive immune optimization algorithm," *The Journal of Physical Chemistry A*, vol. 115, no. 46, pp. 13316-13323, 2011.
- [3] S. Taran, H. Arslan, "Stability and magnetic behaviour of 19-,23- and 26- atom trimetallic Pt-Ni-Ag nanoalloys," *Molecular Physics*, vol. 118, no. 23, pp. e1818859, 2020.
- [4] S. A. C. Carabineiro, "Special Issue coinage metal (Copper, Silver, and Gold) catalysis," *Molecules*, vol. 21, no. 6, pp. 746, 2016.
- [5] Y. Hashimoto, G. Seniutinas, A. Balcytis, S. Juodkazis, Y. Nishijima, "Au-Ag-Cu nano-alloys tailoring of permittivity," *Scientific Reports*, vol. 6, pp. 25010, 2016.
- [6] C. Nwosu, "An electronegativity approach to catalytic performance," *Journal of Technical Science and Technologies*, vol. 1, no. 2, pp. 25-28, 2012.
- [7] A. M. Echavarren, N. Jiao, V. Gevorgyan, "Coinage metals in organic synthesis," *Chemical Society Reviews*, vol. 45, no. 16, pp. 4445-4447, 2016.
- [8] J. M. Conesa, M. V. Morales, C. Lopez-Olmos, I. Rodriguez-Ramos, A. Guerrero-Ruiz, "Comparative study of Cu, Ag and Ag-Cu catalysts over graphite in the ethanol dehydrogenation reaction: Catalytic activity, deactivation and regeneration," *Applied Catalysis A, General*, vol. 576, pp. 54-64, 2019.
- [9] C. Syu, H. Yang, F. Hsu, J. Wang, "The chemical origin and catalytic activity of coinage metals: from oxidation to dehydrogenation," *Physical Chemistry Chemical Physics*, vol. 16, no. 16, pp. 7481-7490, 2014.
- [10] K. Shin, D. H. Kim, H. M. Lee, "Catalytic characteristics of AgCu bimetallic nanoparticles in the oxygen reduction reaction," *ChemSusChem*, vol. 6, no. 6, pp. 1-7, 2013.
- [11] N. Zhang, F. Chen, X. Wu, Q. Wang, A. Qaseem, Z. Xia, "The activity origin of core-shell and alloy AgCu bimetallic nanoparticles for the oxygen reduction reaction," *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 5, no. 15, pp. 7043-7054, 2017.
- [12] D. Cheng, X. Liu, D. Cao, W. Wang, S. Huang, "Surface segregation of Ag-Cu-Au trimetallic clusters," *Nanotechnology*, vol. 18, no. 47, pp. 475702, 2007.
- [13] A. Rapallo, G. Rossi, R. Ferrando, A. Fortunelli, B. C. Curley, L. D. Lloyd, G. M. Tarbuck, R. L. Johnston, "Global optimization of bimetallic cluster structures. I. Size-mismatched Ag-Cu, Ag-Ni, and Au-Cu systems," *The Journal of Chemical Physics*, vol. 122, no. 19, pp. 194308, 2005.
- [14] N. T. Wilson, R. L. Johnston, "A theoretical study of atom ordering in copper-gold nanoalloy clusters," *Journal of Materials Chemistry*, vol. 12, pp. 2913-2922, 2002.
- [15] X. Wu, W. Cai, X. Shao, "Optimization of bimetallic Cu-Au and Ag-Au clusters by using a modified adaptive immune optimization algorithm," *Journal of Computational Chemistry*, vol. 30, no. 13, pp.1992-2000, 2009.

- [16] H. Yıldırım, H. Arslan, "CuAgAu üçlü nanoalaşımın optimizasyonu ve erime dinamiği," *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 21, s. 1, ss. 336-351, 2019.
- [17] H. Yıldırım, H. Arslan, "Size and composition effect on structural properties and melting behaviors of Cu-Ag-Au ternary nanoalloys," *International Journal of Modern Physics C*, vol. 31, no. 6, pp. 2050078, 2020.
- [18] J. Goh, J. Akola, R. Ferrando, "Geometric structure and chemical ordering of large AuCu clusters: A computational study," *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 121, no. 20, pp. 10809-10816, 2017.
- [19] Z. Jiang, K. Lee, S. Li, S. Chu, "Structures and charge distributions of cationic and neutral Cu_n-Ag clusters ($n=2-8$)," *Physical Review B*, vol. 73, no.23, pp. 235423, 2006.
- [20] S. Taran, A. K. Garip, H. Arslan, "Investigation of the chemical ordering and structural properties of the trimetallic (PtNi)@Ag nanoalloys," *Journal of Cluster Science*, vol. 32, pp. 199-208, 2021.
- [21] S. Taran, "13 atomlu Cu-Au-Pt üçlü metal nanoalaşımın yapısal özellikleri," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, ss. 1204-1216, 2019.
- [22] S. Taran, "Composition effect on melting behaviors of Cu-Au-Pt trimetallic nanoalloys," *Computational and Theoretical Chemistry*, vol. 1166, pp. 112576, 2019.
- [23] S. Taran, "Alloying effect on the local atomic pressures of nanoclusters," *Sakarya University Journal of Science*, vol. 24, no. 3, pp. 501-510, 2020.
- [24] R. Ferrando, "Structure and properties of nanoalloys," in *Frontiers of Nanoscience*, c.10, 1st. Ed. Elsevier, 2016, ss. 350. [Online]. <https://www.elsevier.com>.
- [25] D. J. Wales, J. P. K. Doye, "Global optimization by basin-hopping and the lowest energy structures of lennard-jones clusters containing up to 110 Atoms," *The Journal of Physical Chemistry A*, vol. 101, no. 28, pp. 5111-5116, 1997.
- [26] F. Cleri, V. Rosato, "Tight-binding potentials for transition metals and alloys," *Physical Review B*, vol. 48, no. 1, pp. 22-33, 1993.
- [27] L. O. Paz-Borbon, R. L. Johnston, G. Barcaro, A. Fortunelli, "Structural motifs, mixing, and segregation effects in 38-atom binary clusters," *The Journal of Chemical Physics*, vol. 128, no. 13, pp. 134517, 2008.
- [28] A. K. Garip, H. Arslan, "40 atomlu Pd-Co ikili metal atom topaklarının yapısal özelliklerinin incelenmesi," *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 4, s. 2, ss. 38-45, 2014.
- [29] A. K. Garip, "Kesilmiş oktahedron yapısına sahip $Pd_nPt_{(6-n)}Au_{32}$ nanoalaşımının erime dinamiği," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, ss. 1732-1745, 2020.
- [30] P. Giannozzi, S. Baroni, N. Bonini, M. Calandra, R. Car, C. Cavazzoni, D. Ceresoli, G. L. Chiarotti, M. Cococcioni, I. Dabo, A. Dal Corso, S. De Gironcoli, S. Fabris, G. Fratesi, R. Gebauer, U. Gerstmann, C. Gougoussis, A. Kokalj, M. Lazzeri, L. Martin-Samos, N. Marzari, F. Mauri, R. Mazzarello, S. Paolini, A. Pasquarello, L. Paulatto, C. Sbraccia, S. Scandolo, G. Sclauzero, A. P. Seitsonen, A. Smogunov, P. Umari, R. M. Wentzcovitch, "QUANTUM ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials," *Journal of Physics: Condensed Matter*, vol. 21, no. 39, pp. 395502, 2009.

- [31] P. Giannozzi, O. Andreussi, T. Brumme, O. Bunau, M. B. Nardelli, M. Calandra, R. Car, C. Cavazzoni, D. Ceresoli, M. Cococcioni, N. Colonna, I. Carnimeo, A. Dal Corso, S. De Gironcoli, P. Delugas, R. A. DiStasio Jr., A. Ferretti, A. Floris, G. Fratesi, G. Fugallo, R. Gebauer, U. Gerstmann, F. Giustino, T. Gorni, J. Jia, M. Kawamura, H. Ko, A. Kokalj, E. Küçükbenli, M. Lazzeri, M. Marsili, N. Marzari, F. Mauri, N. L. Nguyen, H. Nguyen, A. De La Roza, L. Paulatto, S. Ponce, D. Rocca, R. Sabatini, B. Santra, M. Schlipf, A. P. Seitsonen, A. Smogunov, I. Timrov, T. Thonhauser, P. Umari, N. Vast, X. Wu, S. Baroni, “Advanced capabilities for materials modelling with Quantum ESPRESSO,” *Journal of Physics:Condensed Matter*, vol. 29, no. 46, pp. 465901, 2017.
- [32] D. Vanderbilt, “Soft self-consistent pseudopotentials in a generalized eigenvalue formalism,” *Physical Review B*, vol. 41, no. 11, pp. 7892-7895, 1990.
- [33] J. P. Perdew, K. Burke, M. Ernzerhof, “Generalized gradient approximation made simple,” *Physical Review Letters*, vol. 77, no. 18, pp. 3865-3868, 1996.
- [34] A. Stukowski, “Visualization and analysis of atomistic simulation data with OVITO—the Open Visualization Tool,” *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, vol. 18, no.1, pp. 015012, 2010.
- [35] A. Stukowski, “Structure identification methods for atomistic simulations of crystalline materials,” *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, vol. 20, no. 4, pp. 045021, 2012.
- [36] R. Ferrando, J. Jellinek, R. L. Johnston, “Nanoalloys: From Theory to Applications of Alloy Clusters and Nanoparticles,” *Chemical Reviews*, vol.108, no. 3, pp. 845–910, 2008.
- [37] S. Taran, A. K. Garip, H. Arslan, “A theoretical study on chemical ordering of 38-atom trimetallic Pd-Ag-Pt nanoalloys,” *Chinese Physics B*, vol. 29, no. 7, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bazı Karayosunu Türlerinin *In Vitro* Antimikrobiyal Aktivitelerinin Belirlenmesi

 Atakan BENEK ^{a,*},  Merve ŞENTURAN ^b,  Özcan ŞİMŞEK ^c,  Kerem CANLI ^d,
 Ergin Murat ALTUNER ^e

^a *Biyoloji Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, TÜRKİYE*

^b *Biyoloji Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, TÜRKİYE*

^c *Ormanlık Bölümü, Yenice Meslek Yüksekokulu, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Çanakkale, TÜRKİYE*

^d *Biyoloji Bölümü, Fen Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE*

^e *Biyoloji Bölümü, Fen Fakültesi, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, TÜRKİYE*

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

DOI: 10.29130/dubited.872689

ÖZET

Karayosunlarının hastalıklara karşı etkisi olduğu çok uzun yıllardan beri bilinmektedir ve yaraların tedavi edilmesi ve enfeksiyonlar ile mücadele gibi alanlarda etkin olarak kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada *Plagiomnium elatum*, *Rhynchostegium megapolitanum*, *Tortella fasciculata* ve *Tortella tortuosa* karayosunu örneklerinin etil alkol ekstraktları disk difüzyon yöntemi kullanılarak, 8 gram pozitif, 9 gram negatif bakteri ve 1 maya olmak üzere, toplam 18 mikroorganizma üzerinde test edilerek antimikrobiyal aktiviteleri belirlenmiştir. Disk difüzyon testi sonucunda tüm karayosunu örneklerinin birkaç mikroorganizmaya karşı antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu ve özellikle gram pozitif olan *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ve gram negatif olan *Escherichia coli* ATCC 25922 üzerinde belirgin bir antimikrobiyal aktivitesinin olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Plagiomnium elatum*, *Rhynchostegium megapolitanum*, *Tortella fasciculata*, *Tortella tortuosa*, Antimikrobiyal aktivite, Disk difüzyon

Determination Of *In Vitro* Antimicrobial Activities of Some Moss Species

ABSTRACT

Mosses have been known for many years to be effective against diseases and they are successfully used in areas such as treating wounds and fighting infections. In this study, ethyl alcohol extracts of *Plagiomnium elatum*, *Rhynchostegium megapolitanum*, *Tortella fasciculata* and *Tortella tortuosa* were tested using disk diffusion method on a total of 18 microorganisms, 8 gram positive, 9 gram negative bacteria and 1 yeast, and their antimicrobial activities were determined. As a result of the disk diffusion test, it was demonstrated that all moss samples had antimicrobial activity against several strains, but they had significant antimicrobial activities especially on gram positive *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 and gram negative *Escherichia coli* ATCC 25922.

Keywords: *Plagiomnium elatum*, *Rhynchostegium megapolitanum*, *Tortella fasciculata*, *Tortella tortuosa*, Antimicrobial activity, Disk diffusion

I. GİRİŞ

Günümüzde artan Dünya nüfusu, gıda ürünlerinde azalan doğallık ve endüstriyel atıkların giderek artması sonucunda sağlık problemleri de hızla artmaktadır. Toplumların en büyük sağlık problemlerinden biri de enfeksiyon hastalıklarıdır. Enfeksiyon hastalıkları ile mücadelede kullanılan doğal veya sentetik olarak üretilen antibiyotiklerin, mikroorganizmaların direnç oluşturmaları nedeniyle etkisiz kalmaya başlamasının yanı sıra, yan etkilerinin ortaya konması bilim insanlarının yeni antimikrobiyal etkiye sahip maddeleri keşfetmesi ve yeni sağlık stratejileri geliştirmesini zorunlu hale getirmiştir [1,2].

Tarih boyunca hastalıkların tedavisinde ve enfeksiyonlar ile mücadelede bitkiler kullanılmıştır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından dünya genelinde 20.000 bitkinin tedavi amaçlı kullanıldığı rapor edilmiştir [3]. Tedavi amacıyla kullanılan bitki gruplarından biri de Musci (Karayosunları), Hepaticae (Tallussu ve yapraksı ciğerotları), Anthocerotae (Boynuzsu ciğerotları) sınıflarını içinde bulunduran yaklaşık 1.036 cins ve 18.409 türden oluşan Briyofitlerdir [4]. Briyofitler içerisinde yer alan karayosunlarının çok eski dönemlerden beri iyileştirici özelliği bilinmekte ve tedavi amacıyla kullanılmaktadır [5].

Karayosunlarının Dünya genelinde yaklaşık 12.700 türü ülkemizde ise 7 türü endemik olmak üzere toplam 835 türü bulunmaktadır [6, 7]. Ekosistemin önemli parçalarından biri olan karayosunları, genellikle ekonomik değeri fazla olmayan ve büyük bir kısmının ayırt edilebilmesi zor olan küçük tohumlu bitkilerdir [8]. Karayosunları üzerine yapılan çalışmalar, basit yapılarına rağmen karayosunlarının sahip oldukları sekonder metabolitlerin bazılarının yaraların iyileşmesinde etkili olduğu ve bazı mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etki gösterdiklerini ortaya koymuştur [9]. Bu çalışmada *Plagiomnium elatum* (Bruch & Schimp.) T.J.Kop., *Rhynchostegium megapolitanum* (Blandow. ex F. Weber & D. Mohr) Schimp, *Tortella fasciculata* (Culm.) Culm. ve *Tortella tortuosa* (Hedw.) Limpr karayosunu örneklerinin etanol ekstraktlarının 18 mikroorganizma üzerinde antimikrobiyal aktiviteleri belirlenmiştir.

II. MATERYAL METOD

A. KARAYOSUNU ÖRNEKLERİ

Bu çalışmada kullanılan karayosunu örnekleri Doçent Doktor Kerem Canlı tarafından Amasya Akdağ'dan toplanmış ve tür teşhisleri yapılmıştır. Şahit örnekler Dokuz Eylül Üniversitesi, Biyoloji Bölümü'nde saklanmıştır.

Tablo 1. Bu çalışmada kullanılan bryofitlerin lokasyonları.

Karayosunu Türleri	Lokasyon	Rakım	Koordinat
1 <i>Plagiomnium elatum</i>	Akdağ, Amasya	872	N 40° 41.006' E 036° 3,902'
2 <i>Rhynchostegium megapolitanum</i>	Akdağ, Amasya	498	N 40° 41.154' E 035° 57,471'
3 <i>Tortella fasciculata</i>	Akdağ, Amasya	1550	N 40° 47.935' E 036° 6,600'
4 <i>Tortella tortuosa</i>	Akdağ, Amasya	1650	N 40° 48.358'E 036° 5,140'

B. EKSTRAKSİYON YÖNTEMİ

Karayosunu örnekleri toplanıp kurutulduktan sonra 100 gram örnek blender ile toz haline alana kadar öğütülmüştür. Öğütme işleminin ardından toz haline gelen örnekler 200 mL saf etil alkol (Sigma-Aldrich) içinde 48 saat boyunca 140 ppm'de ve oda koşullarında çalkalanmıştır. 48 saatin sonunda Whatman No. 1 filtre kağıdı kullanılarak cam balonlar içerisine süzölmüştür. Süzme işleminin ardından etil alkol 30°C'de döner buharlaştırıcı (Buchi R3) ile vakum altında buharlaştırılmıştır. Buharlaştırma işleminin tamamlanmasından sonra ölçümler yapılmış, kalıntılar toplanmış ve ekstrakt hazırlamak için kullanılmıştır [10]. *P. elatum* 180 mg, 15 mL etanol içerisinde, *R. megapolitanum* 170 mg, 15 mL etanol içerisinde, *T. fasciculata* 50 mg, 5 mL etanol içerisinde ve *T. tortuosa* 50 mg, etanol 10 mL içerisinde çözdürülerek ekstrakt stokları hazırlanmıştır.

C. MİKROORGANİZMALAR

P. elatum, *R. megapolitanum*, *T. fasciculata*, *T. tortuosa* türlerinin antimikrobiyal aktivitelerinin belirlenmesi için 8 gram pozitif, 9 gram negatif bakteri ve 1 maya toplam 18 mikroorganizma Mueller Hinton Agar (BD Difco, ABD) üzerinde zenginleştirilerek kullanılmıştır [10]. Kullanılan suşların 11'i standart bakteri, 6'sı standart dışı gıda izole bakteri ve 1 tanesi de standart maya suşudur. Beş tanesi standart gram pozitif bakterilerdir ve bunlar *Bacillus subtilis* DSMZ 1971, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Listeria monocytogenes* ATCC 7644, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ve *Staphylococcus epidermidis* DSMZ 20044 bakterileridir. Kalan bakterilerin altı tanesi standart gram negatif bakteridir ve *Pseudomonas fluorescens* P1, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* DSMZ 50071, *Enterobacter aerogenes* ATCC 13048, *Salmonella enteritidis* ATCC 13075, *Salmonella typhimurium* SL1344, türleridir. Çalışmada *Candida albicans* DSMZ 1386 olmak üzere 1 standart maya kullanılmıştır. Ayrıca gıdalardan izole edilen altı bakteri de çalışılmıştır. Bu bakterilerden *Enterococcus faecium*, *Enterococcus durans*, *Listeria innocua* gram pozitif, *Klebsiella pneumoniae*, *Salmonella infantis* ve *Salmonella kentucky* gram negatiftir.

D. İNOKULUM HAZIRLAMA

Antimikrobiyal aktivitesi belirlenen bakteri türleri 37 ° C'de 24 saat, kullanılan tek maya türü *C. albicans* 27 ° C'de 48 saat inkübe edilmiştir [11]. Bakteri türlerinde yaklaşık 10⁸ cfu.mL⁻¹ ve *C. albicans*'da yaklaşık 10⁷ cfu.mL⁻¹ içeren inokülasyonları standart hale getirmek amacıyla tüm bakteri ile maya türleri steril % 0,9 NaCl çözeltisi içerisinde 0,5 Mc Farland standardına getirildikten sonra çalışma yapılmıştır [12, 13].

E. ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTE TESTİ

Karayosunu örneklerinin etanol ekstraktlarının antimikrobiyal aktiviteleri Andrews [14] tarafından açıklanan şekilde disk difüzyon testi ile belirlenmiştir. Başlangıç aşamasında Mueller Hinton Agar (BD Difco, ABD) 4,0 mm ± 0,5 mm'lik bir kalınlıkta olacak şekilde 90 mm steril petri kabına dökülmüştür. Ardından *P. elatum* 30, 60, 100µL, *R. megapolitanum* 30, 60, 100µL, *T. fasciculata* 20, 30, 60µL ve *T. tortuosa* 30, 60, 150µL miktarlarında 6 mm yarıçapa sahip Oxoid Antimikrobiyal Duyarlılık Test Disklerine yüklenmiştir. Diskler üzerinde bulunan ve test sonuçlarına etki edebilme ihtimali olan kalan etil alkolü disklerden uçurmak için bir gece 30° C'de steril koşullar altında kurumaya bırakılmıştır. Kuruma işleminin ardından steril NaCl çözeltisi içerisinde standardize edilmiş mikroorganizmalar Petri kaplarına dökülmüş olan besi yerlerinin yüzeyini tamamen kaplayacak şekilde ekimleri yapılmıştır [15]. Ekim işleminin tamamlanmasının ardından son olarak ekstrakt yüklü olan diskler mikroorganizma ekimi yapılmış olan besi yerlerinin üzerine yerleştirilerek inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi

tamamlandıktan sonra disklerin etrafında oluşan inhibisyon zonlarının çapları mm olarak ölçülmüş kaydedilmiştir [16].

F. KONTROLLER

Ekstraksiyon solventi (etanol) ile steril boş diskler negatif kontrol olarak kullanılmıştır. Ayrıca Gentamisin antibiyotiği de pozitif kontrol olarak kullanılarak sonuçların karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

G. İSTATİSTİK

Yapılan bütün testler üç tekrarlı olacak şekilde uygulanmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler, tekrarlar arasındaki farkın önemini göstermek için ANOVA testi ile analiz edilmiş ve ekstraktın antimikrobiyal aktivitesi ile artan konsantrasyonlar arasında bir korelasyon olup olmadığını göstermek için Pearson korelasyon katsayısı kullanılmıştır. İstatistiksel analiz için R Studio, versiyon 3.3.2 kullanılmıştır [17].

III. BULGULAR

P. elatum, *R. megapolitanum*, *T. fasciculata* ve *T. tortuosa* türlerinin antimikrobiyal aktivitelerinin belirlenmesi amacıyla 18 mikroorganizma üzerinde yapılan disk difüzyon testinde 16 mikroorganizmaya karşı etki tespit edilmiştir. *P. elatum* türü *S. aureus* (10 mm), *L. monocytogenes* (9 mm), *S. enteritidis* (9 mm), *E. faecium* (8 mm), *E. coli* (8 mm), *K. pneumoniae* (8 mm), *S. epidermidis* (8 mm), *P. aeruginosa* (7 mm) ve *E. aerogenes* (7 mm) suşlarına karşı etki göstermiştir. *R. megapolitanum* türü *E. coli* (9 mm), *E. aerogenes* (8 mm), *S. enteritidis* (8 mm), *S. epidermidis* (8 mm), *L. monocytogenes* (8 mm), *K. pneumoniae* (7 mm), *P. aeruginosa* (7 mm) ve *S. typhimurium* (7 mm) suşları üzerinde etkili olmuştur. *T. bambergi* türü *E. aerogenes* (8 mm), *S. kentucky* (8 mm), *E. coli* (7 mm), *P. aeruginosa* (7 mm) suşlarına karşı etkili olmuştur. *T. tortuosa* türü *S. aureus* (9 mm), *B. subtilis* (9 mm), *E. faecium* (8 mm), *K. pneumoniae* (8 mm), *S. epidermidis* (8 mm), *E. aerogenes* (7 mm), *E. faecalis* (7 mm), *E. coli* (7 mm), *L. innocua* (7 mm), *P. fluorescens* (7 mm), *S. enteritidis* (7 mm), *S. infantis* (7 mm) ve *S. kentucky* (7 mm) suşlarına karşı etkili olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada pozitif kontrol olarak gentamisin antibiyotik diskleri kullanılmıştır.

Tablo 2. Bu çalışmada kullanılan bryofitlerin disk difüzyon testi sonuçları.

	<i>Plagiomnium elatum</i>			<i>Rhynchostegium megapolitanum</i>			<i>Tortella fasciculata</i>			<i>Tortella tortuosa</i>			Gentamicin
	30µL	60µL	100µL	30µL	60µL	100µL	20µL	30µL	60µL	30µL	60µL	150µL	
<i>Bacillus subtilis</i> DSMZ 1971	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.00 ± 0.00	8.00 ± 0.58	30
<i>Candida albicans</i> DSMZ 1386	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Enterobacter aerogenes</i> ATCC 13048	-	-	7.00 ± 0.00	-	8.00 ± 0.00	8.00 ± 0.58	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.58	8.00 ± 0.58	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.58	23
<i>Enterococcus durans</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14
<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 29212	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.00 ± 0.00	13
<i>Enterococcus . faecium</i>	-	7.00 ± 0.00	8.00 ± 0.58	-	-	-	-	-	-	-	7.00 ± 0.00	8.00 ± 0.58	28
<i>Esherichia coli</i> ATCC 25922	8.00 ± 0.58	7.00 ± 0.00	8.00 ± 0.00	-	7.00 ± 0.00	9.00 ± 0.58	-	-	7.00 ± 0.00	-	-	7.00 ± 0.00	20
<i>Klebsiella pneumonia</i>	7.00 ± 0.00	8.00 ± 0.00	8.00 ± 0.58	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	-	-	-	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.58	8.00 ± 0.58	22
<i>Listeria innocua</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.00 ± 0.00	23
<i>Listeria monocytogenes</i> ATCC 7644	7.00 ± 0.00	8.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	8.00 ± 0.58	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	-	-	-	-	-	-	28
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> DSMZ 50071	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	-	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.58	-	-	-	15
<i>Pseudomonas fluorescens</i> P1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.00 ± 0.00	12
<i>Salmonella enteritidis</i> ATCC 13075	7.00 ± 0.00	8.00 ± 0.58	9.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	8.00 ± 0.00	-	-	-	-	-	7.00 ± 0.00	24
<i>Salmonella infantis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	24
<i>Salmonella kentucky</i>	-	-	-	-	-	-	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	8.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.58	13
<i>Salmonella typhimurium</i> SL1344	-	-	-	-	-	7.00 ± 0.00	-	-	-	-	-	-	23
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	8.00 ± 0.58	9.00 ± 0.00	10.00 ± 0.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24
<i>Staphylococcusepidermidis</i> DSMZ 20044	-	7.00 ± 0.00	8.00 ± 0.00	-	7.00 ± 0.00	8.00 ± 0.00	-	-	-	7.00 ± 0.00	8.00 ± 0.00	9.00 ± 0.58	25

IV. SONUÇ

Bu çalışmada *P. elatum*, *R. megapolitanum*, *T. fasciculata*, *T. tortuosa* olmak üzere dört farklı karayosunu örneği kullanılmıştır ve yapılan test sonucunda en iyi antimikrobiyal etki 13 farklı suşa karşı etki gösteren *T. tortuosa* örneğinden alınmıştır. *P. elatum* türünün *S. aureus* suşuna karşı oluşturduğu 8, 9 ve 10 mm zonlar da önemli sonuçlardan biridir.

Sonuçlar üzerinde gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonucunda test edilen örneklerin paralelleri arasındaki fark istatistiksel olarak incelenmiştir. Çalışmada kullanılan paralel çalışmaların birbirinden istatistiksel olarak farklı olmadığı görülmüştür ($p > 0,05$). Ayrıca örneklerin farklı konsantrasyonlarına ait antimikrobiyal aktiviteleri arasındaki fark da istatistiksel olarak incelenmiş ve *P. elatum* ($p = 0,4738$), *R. megapolitanum* ($p = 0,3399$) ve *T. fasciculata* ($p = 0,6304$) için farkın önemli olmadığı görülürken; *T. tortuosa*'da ($p = 0,04692$) konsantrasyonlarının antimikrobiyal aktiviteleri arasında istatistiksel olarak fark olduğu belirlenmiş ve yapılan Pearson korelasyon analizi sonucunda dozaj artışı ile antimikrobiyal etki arasında zayıf bir korelasyon ($p = 0,31889$) olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Savaroglu ve arkadaşları [18] tarafından yapılan çalışmada *T. tortuosa* örneğinin 7 farklı çözücü kullanılarak hazırlanan ekstraktları 6 farklı bakteri ve 3 farklı maya üstünde antimikrobiyal aktiviteleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan bakteri türleri ortak olmakla birlikte farklı olarak bu çalışmada *T. tortuosa* örneğinin etanol ekstraktı kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada ortak suşlar olan *B. subtilis*, *E. faecalis*, *E. coli*, *S. typhimurium*, *S. aureus*'a karşı alınan sonuçlar Savaroglu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma ile paralellik göstermekte ve farklı çözücü ekstraktı olarak sonuçları genişletmektedir.

Karpiński ve Adamczak [19] tarafından gerçekleştirilen araştırmada 12 farklı karayosunu örneğinin etanol ekstraktlarının 5 farklı mikroorganizma üzerinde antimikrobiyal aktivitelerinin belirlenmiştir. İki çalışmada ortak olan *E. faecalis*, *E. coli*, *S. aureus* ve *K. pneumoniae* suşlarına karşı alınan sonuç karşılaştırıldığında bu çalışmada kullanılmış olan *P. elatum*, *R. megapolitanum*, *T. fasciculata*, *T. tortuosa* örnekleri Karpiński ve Adamczak tarafından yapılan çalışmadaki 5 karayosunu örneğinde daha düşük, 3 karayosunu örneği ile eşit ve 4 karayosunu örneğinde ise daha yüksek antimikrobiyal aktivite göstermiştir.

Ertürk ve arkadaşları [20] tarafından 8 farklı karayosunu türünün etanol ekstraktlarının 10 bakteri ve 3 maya suşuna karşı antimikrobiyal aktivitelerinin belirlendiği çalışmada kullanılan 6 bakteri ve 1 maya türü bu çalışma ile ortaktır. Bu çalışmada kullanılan karayosunu örnekleri iki çalışmada kullanılan ortak olan *E. coli*, *K. pneumoniae*, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *S. typhimurium*, *P. aeruginosa*, *C. albicans* suşlarına karşı diğer çalışmadaki örneklerden daha az antimikrobiyal aktivite göstermiştir.

Olasoji ve arkadaşları [21] gerçekleştirdiği çalışmada 3 farklı karayosunu örneğinin etanol ekstraktlarının 4 bakteri ve 2 maya suşuna karşı antimikrobiyal aktivite belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan *E. coli*, *B. subtilis*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *C. albicans* suşları her iki çalışma içinde ortaktır. Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan 3 farklı karayosunu örneği ortak suşlara karşı antimikrobiyal etki göstermezken bu çalışmada kullanılan karayosunu örnekleri sadece *C. albicans* suşuna karşı etki göstermemiş, kalan suşlara karşı etki göstermiştir.

Bu çalışma ile antimikrobiyal aktivitesi belirlenen karayosunu örneklerinin ortaya koyduğu etkilerin madde miktarının artırıldıktan sonra testler tekrar edildiğinde daha yüksek antimikrobiyal aktivite göstermesi beklenilmektedir. Karayosunu örneklerinin ekstraktlarında saflaştırma işlemi gerçekleştirilmediği için ekstraktların sahip oldukları etken madde miktarı bilinmemektedir. Daha sonra yapılacak bir saflaştırma işlemi sonrasında dozaj çalışmaları yapılarak görülen antimikrobiyal etkiden

pratikte faydalanılıp faydalanılamayacağı daha net olarak ortaya konulabilecektir. Karayosunu örneklerinin sahip olduğu aktif bileşiklerin farmakokinetik etki mekanizmaları ve antibiyotik etkileşimlerinin tespit edebilmesi için daha kapsamlı araştırmalara gerek duyulmaktadır.

Not: Bu çalışmada kullanılan *Plagiomnium elatum* ve *Rhynchostegium megapolitanum* örnekleri poster bildiri olarak Mayıs 2017 tarihlerinde Konya’da düzenlenen 1. International Congress on Medicinal and Aromatic Plants’de sunulmuş ve özet metin olarak kongre kitabında yer almıştır. *Tortella fasciculata* (Posterde türün önceki ismi olan *Tortella bambergeri* kullanılmıştır) ve *Tortella tortuosa* örnekleri de poster bildiri olarak 11-13 Mayıs 2017 tarihlerinde Kayseri’de düzenlenmiş olan ECOLOGY 2017’de sunulmuş ve özet metin olarak kongre kitabında yer almıştır.

V. KAYNAKLAR

- [1] B. Dülger, A. Gönüz, “Antimicrobial Activity of Certain Plants Used in Turkish Traditional Medicine,” *Asian Journal of Plant Sciences*, vol.3, no.4, pp.104-107, 2004.
- [2] A. E. Erdoğan, A. Everest, “Antimikrobiyal Ajan Olarak Bitki Bileşenleri,” *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, c.6, s.2, ss.27-32, 2013.
- [3] E. Faydaoğlu, M. Sürücüoğlu, “Tıbbi ve aromatik bitkilerin antimikrobiyal, antioksidanaktiviteleri ve kullanım olanakları,” *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c.6, s.2, ss.233-265, 2013.
- [4] S. Ursavaş, R. Söyler, “Quantities and sales data of harvested mosses base on Regional Directorate of Forestry,” *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, vol.15, no.2, pp. 241-251, 2015.
- [5] E. M. Altuner, B. Çetin, “Antimicrobial activity of *Isothecium alopecuroides* and potential effect of some climate elements on the activity of this bryophyte sample,” *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, vol.18, no.2, pp.126-137, 2018.
- [6] S. Ursavaş, (2009) “Karayosunları ve ciğerotlarında tür ve çeşitlilik,” Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı, seminer kitabı, ss. 1-45.
- [7] S. Ursavaş, Z. Işın, “New records of *Bryum gemmiferum* and *Atrichum crispum* for Turkey,” *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, vol. 5, no.153, pp.686-690, 2019.
- [8] A. Erdağ, H. Kürschner, “Türkiye bitkileri listesi, Karayosunları: eklentiler 2016-2017,” *Bağbahçe Bilim Dergisi*, c.5, s.2, ss.10-16, 2018.
- [9] E. M. Altuner, B. Çetin, B. Çökmüş, “*Tortella tortulosa* (Hedw.) Limpr. Özütlерinin Antimikrobiyal Aktivitesi,” *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c.10, s.2, ss.111-116, 2010.
- [10] K. Canlı, A. Yetgin, I. Akata, E. M. Altuner, “Antimicrobial activity and chemical composition screening of *Epilobium montanum* root,” *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, vol. 51, no. 3, pp. 239-243, 2017.


- [11] K. Canlı, E. M. Altuner, I. Akata, "Antimicrobial screening of *Mnium stellare*," *Bangladesh Journal of Pharmacology*, vol.10, pp. 321-325, 2015.
- [12] E. M. Altuner, K. Canlı, I. Akata, "In vitro Antimicrobial Screening of *Hedwigia ciliata* var. *leucophaea* and Determination of the Ethanol Extract Composition by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) ," *Journal of Pure and Applied Microbiology*, vol. 4, no. 8, pp.2987-2998, 2014.
- [13] B. Baldaş, E. M. Altuner, "The antimicrobial activity of apple cider vinegar and grape vinegar, which are used as a traditional surface disinfectant for fruits and vegetables," *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series C Biology*, vol. 27, no.1, pp.1-10, 2018.
- [14] J. M. Andrews, "BSAC standardized disc susceptibility testing method (version 6) ," *Journal of Antimicrobial Chemotherap*, vol.60, pp. 20-41. 2003.
- [15] K. Canlı, A. Yetgin, I. Akata, E. M. Altuner, "In vitro Antimicrobial Activity of *Angelica sylvestris* Roots," *International Journal of Biological Sciences*, vol.1, no.1, pp.1-7, 2016.
- [16] M. E. Bozyel, M. Şenturan, A. Benek, E. Bozyel Merdamert, K. Canlı, E. M. Altuner, "In Vitro Antimicrobial Activity Screening of *Heliotropium europaeum* Against Wide Range of Microorganisms and Multi Drug Resistant (MDR) Bacteria," *European Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences*, vol.6, no.3, pp.113-117, 2019.
- [17] Core R Team, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, <https://www.R-project.org/> (last accession: 15.08.2019).
- [18] F. Savaroğlu, S. İlhan, C. Filik, İşcen, "An evaluation of the antimicrobial activity of some Turkish mosses," *Journal of Medicinal Plants Research*, vol.5, no.14, pp. 3286-3292, 2011.
- [19] T. M. Karpiński, A. Adamczak, "Antibacterial activity of ethanolic extracts of some moss species" *Herba Polonica*, vol.63, no.3, pp.11-17, 2017.
- [20] Ö. Ertürk, H. Şahin, E. Ertürk, H. E. Hotaman, B. Koz, Ö. Özdemir, "The antimicrobial and antioxidant activities of extracts obtained from some moss species in Turkey," *Herba Polonica*, vol.61, no.4, pp.52-65, 2015.
- [21] K. O. Olasoji, A. M. Makinde, B. A. Akinpelu, O. A. Igbeneghu, "Antimicrobial Activity of Selected Mosses on Obafemi Awolowo University Campus, Ile-Ife, Nigeria," *Notulae Scientia Biologicae*, vol.11, no.3, pp.462-466, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

İnsan serum albümin nanopartikül/surfaktant polimer temelli sensör ile metil paratyonun enzimsiz elektroanalizi

 Gülçin BOLAT^{a,*}

^a Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gbolat@hacettepe.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.797428

ÖZET

Bu çalışmada, insan serum albümin nanopartiküller (HSA NP) ve elektrobiriktirilmiş yüzey aktif polisetiltrimetil amonyum bromür p(CTAB) film kaplı grafit elektrotlar (PGE) tehlikeli bir çevresel kirletici olan metil paratyonun (MP) hassas ve seçici tespiti için elektrokimyasal sensör olarak kullanıldı. Elde edilen HSA NP/p(CTAB)/PGE mikroskopik ve elektrokimyasal olarak karakterize edildi. Diferansiyel puls voltametri (DPV) tekniği ile MP için elde edilen doğrusal çalışma aralığı 0,01-0,1 μM ve gözlenebilme sınırı ise 6 nM olarak tespit edildi. MP tespiti için geliştirilen enzim kullanımı gerektirmeyen ve basit hazırlama stratejisine sahip HSA NP/p(CTAB) tabanlı elektrokimyasal sensör, çevre koruma ve gıda güvenliği açısından izleme sürecini de basitleştirme potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Organofosforlu pestisit, Albümin nanopartikül, Surfaktant polimer, Elektroanaliz, Sensör.

Human serum albumin nanoparticles/surfactant polymer based sensor for the non-enzymatic electroanalysis of methyl parathion

ABSTRACT

In this study, human serum albumin nanoparticles (HSA NP) and electrodeposited surfactant polycetyltrimethyl ammonium bromide p(CTAB) film coated graphite electrodes (PGE) were utilized as an electrochemical sensor for the sensitive and selective detection of a hazardous environmental pollutant, methyl parathion (MP). The fabricated HSA NP/p(CTAB)/PGE was characterized microscopically and electrochemically. The linear working range obtained for the MP was determined as 0.01-0.1 μM and the detection limit as 6 nM by differential pulse voltammetry (DPV) technique. The HSA NP/p(CTAB) based electrochemical sensor developed for MP detection with a simple preparation strategy and did not require the use of enzymes and has the potential to be applied in environmental protection and food safety monitoring processes.

Keywords: Organophosphorus pesticide, Albumin nanoparticles, Surfactant polymer, Electroanalysis, Sensor.

I. GİRİŞ

Pestisitler, ülkemizde ve dünyada tarımsal ürünleri istila eden çeşitli zararlıları kontrol etmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Metil paratyon (MP), organofosforlu bir pestisittir, düşük fiyat ve yüksek aktivitesi nedeniyle tarımsal üretimde yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Zehirli çevresel etkileri olan kalıcı pestisit türü olarak sınıflandırılmasına rağmen, yoğun ve bilinçsizce kullanımları, çevre ve insan sağlığı açısından ciddi risklere neden olmaktadır. Özellikle, yeraltı suyu ve gıda numunelerinin kirlenmesine yol açan organofosforlu pestisitler (OP'ler), güçlü asetil kolinesteraz (AChE) inhibitörleridir [2]. Organofosfor yapısında bileşiklerin akut toksisite mekanizması, sinir dokusunda asetilkolinesteraz enziminin inhibisyonuna neden olmakla beraber, pestisitlerin plazma proteinlerine yüksek bağlanma afinitesi de mevcuttur. MP, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 'Kategori Ia' (aşırı toksik) olarak sınıflandırılan bir organofosfor insektisit sınıfına dahil edilmiştir [3]. MP'nin, nörosinozlardaki enzimlerin inhibisyonuna, sinir uçlarında asetilkolin birikimine, sinapslarda reseptörlerin aşırı uyarılmasına ve sonuçta sinir sisteminin hasar görmesine neden olduğu belirtilmiştir [4]. Bununla beraber, cilt ile temas, inhalasyon veya yutulmaları, ciddi kolinerjik toksisiteye neden olabilmektedir. Avrupa Birliği'ne (AB) göre, içme suyu ve bitki kaynaklı gıdalarda bulunabilecek tek bir pestisit miktarı ve bunların ilgili bileşiklerinin kabul edilebilir maksimum izin verilen konsantrasyonları sırasıyla, $0,1 \mu\text{g.L}^{-1}$ ve $0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ 'dir [5]. Bu nedenle, gıdalarda MP kalıntılarının tespiti için doğrudan, hassas, hızlı ve güvenilir yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

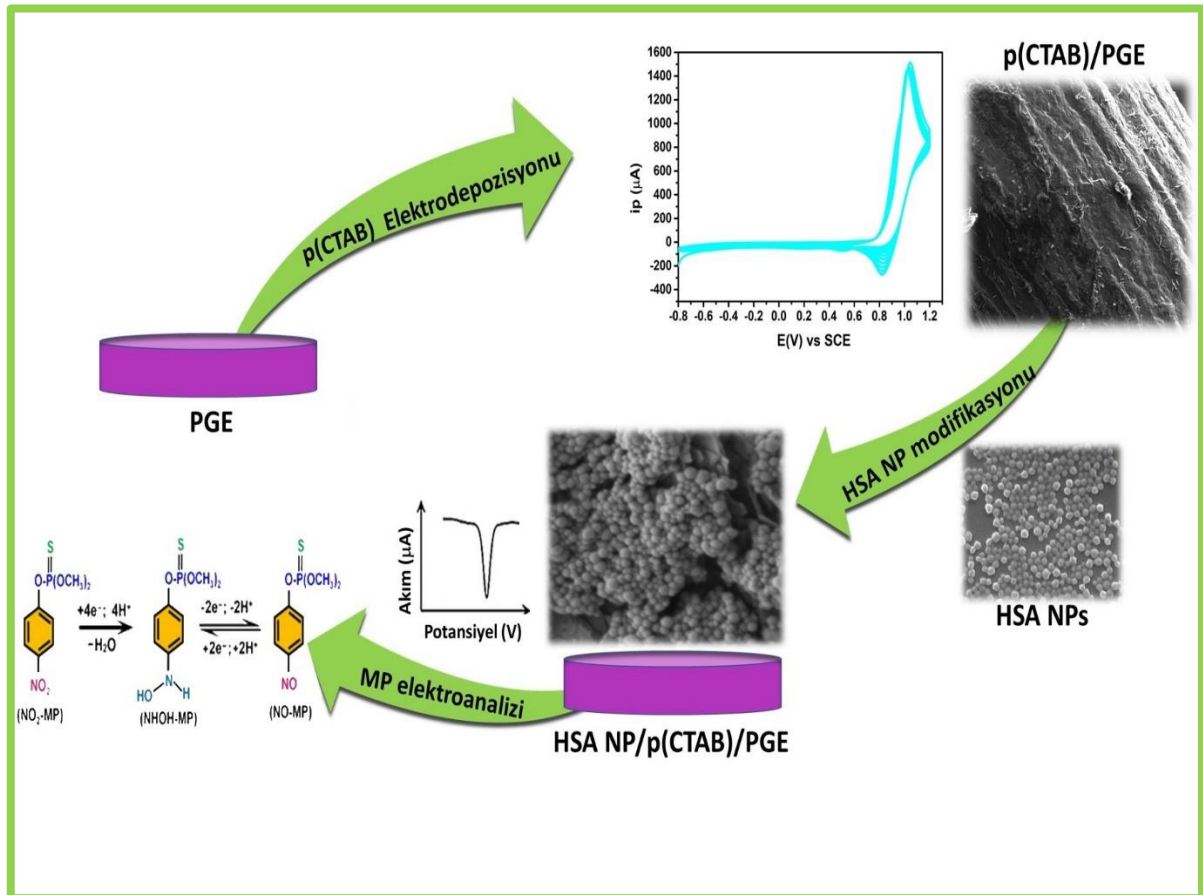
Halihazırda, pestisit tayini için gaz kromatografisi, kütle spektrometresi ve azot-fosfor detektörleri, alev iyonlaşma detektörleri, ultraviyole detektörleri, diyot dizisi detektörü gibi hassas ve spesifik dedektörlere bağlı yüksek performanslı sıvı kromatografisi gibi çeşitli analitik yöntemler kullanılmaktadır [6–10]. Bu yöntemler yüksek hassasiyet ve doğrulukta analizlere imkan sağlamalarına rağmen, genellikle zaman alıcı karmaşık numune ön işlemleri, yüksek maliyet, eğitimli teknik personel gibi gereksinimlere sahiptir ve yerinde (*in-situ*) analiz için uygun değildir. Elektroanalitik yöntemler hızlı, basit, portatif ve ucuz olmaları nedeniyle MP tespiti için avantajlıdır [11,12]. Literatürde, OP'lerin saptanması için modifiye edilmiş elektrotlara ve AChE'nin enzimatik reaksiyonunun inhibisyonuna dayanan çok sayıda enzim temelli elektrokimyasal biyosensör tasarlanmış ve geliştirilmiştir [13–15]. Bununla birlikte, ortamın enzim gereksinimi büyük ölçüde kritiktir, kullanılan enzimler pahalıdır, ticari olarak temini zor ya da karmaşık saflaştırma aşamaları gerektirir. Sıcaklık, basınç, saklama koşulları ve enzim aktivitesi gibi enzim kullanımı için deneysel koşulların iyi bir şekilde kontrol edilmesi gerekliliği, OP'lerin tespiti için enzim bazlı elektrokimyasal biyosensörlerle çalışmayı zorlaştırır. Bu nedenle, hassas ölçüm ve düşük tespit limitlerine imkan sağlayabilecek özellikte ve OP'leri yüzeylerine adsorplayabilen aktif malzemelerin kullanımıyla enzimatik olmayan elektrokimyasal sensörlerin geliştirilmesi büyük dikkat çekmiştir [16].

Nanomalzemeler, enzimatik olmayan elektrokimyasal sensörleri üretmek için potansiyel adaylardır. Nanoboyutta malzemeler algılama arayüzü olarak kullanıldığında, geniş hacim/yüzey alanları sayesinde analit immobilizasyonunu kolaylaştırabilir. Ayrıca benzersiz fizikokimyasal özellikleri sayesinde yüksek sinyal/gürültü oranı ile pestisitlerin oldukça spesifik ve hassas analizine olanak sağlar [17].

Biyolojik bileşenlere dayanan biyo-nano arayüzlerin keşfi ve geliştirilmesi kimya, malzeme bilimi ve biyoloji alanında pratik öneme sahiptir. Proteinler, biyolojik olarak kolayca bozunabilme ve metabolize olma ve modifiye edilebilmelerini sağlayan çok sayıda fonksiyonel gruba sahip olmaları ve iyi biyouyumlulukları nedeniyle nanopartikül elde edilmesinde önemli bir çıkış maddesidir ve biyomedikal uygulamalar için verimli bir yol sunar [18]. İnsan vücudunda en bol bulunan insan serum albümin (HSA) proteini, ucuz ve kolay ulaşılabilir olması, toksik olmaması, kolay saflaştırılabilirliği, yüzey fonksiyonel grupları üzerinden kolayca modifiye edilebilirliği nedeniyle nanopartikül üretiminde tercih edilen önemli bir adaydır [19–21]. Pestisitlerin proteinlere bağlanması, ekotoksikoloji ve çevresel risk değerlendirilmesi amacıyla pestisit biyosensörlerinin hazırlanmasında kullanılabilir. Biyosensör deneyleri, kimyasalların hedef organizma üzerindeki toksik etkilerinin ve toksisitenin altında yatan moleküler mekanizmaların ölçülerini sağlayabilir. Silva ve grubu, MP gibi organofosforlu yapıda pestisitlerin HSA ve BSA gibi proteinlere yüksek afinite gösterdiğini bildirmiştir [22].

Albümin temelli nanopartikül hazırlama süreci karmaşık değildir. Bir desolvasyon ve çapraz bağlama tekniği ile bir araya getirildiğinde, protein konsantrasyonu, pH, çözücü gibi parametrelerin kontrolü ile iyi tanımlanmış boyut aralığında (50 ila 300 nm) HSA nanopartiküller (HSA NP'ler) elde edilir [23,24]. Literatürde, teşhis ve hedeflemeye yönelik yüzey işlevselleştirilmiş HSA NP'ler kontrollü salım çalışmalarında ilaç taşıyıcı sistemler ve görüntüleme ajanları olarak kullanılmıştır [25–27]. Çok sayıda işlevsel kimyasal kısım içeren biyoyumlu HSA NP'ler, vücuttaki enzimleri ve nörotransmitter reseptörleri (AChE inhibitörü gibi) hedef alan OP'lerin elektrokimyasal tayini için umut verici etkin bir arayüzey olarak kullanılabilir. Ancak literatürde, HSA NP'ler veya kompozitlerinin herhangi bir elektrokimyasal biyosensör uygulamasına rastlanmamıştır. Ayrıca, yüzey aktif maddeler (surfaktant), elektron transferini hızlandırmak ve elektrot yüzey alanını arttırmak için, elektrokimyasal algılama platformlarında kullanılan başka bir tür malzemedir. Bu bağlamda, nanomateryallerle birleştirilmiş yüksek hassasiyet ve seçicilik gibi üstün özelliklere sahip katyonik bir yüzey aktif madde olan setiltrimetil amonyum bromür (CTAB), mükemmel katalitik aktivite, farklı analitlerin tespitine yönelik biyosensörleri geliştirmek için son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [28,29].

Bu çalışmada HSA NP'ler desolvasyon tekniği ile sentezlendi. HSA NP'lerin polisetiltrimetil amonyum bromür p(CTAB) elektrokaplanmış grafit elektrotlar (PGE) üzerine adsorplanmaları ile OP'li bir pestisit algılanmasına yönelik protein temelli sensör hazırlandı (Şekil 1). Sensör yüzeyi mikroskopik ve elektrokimyasal olarak incelendi. HSA NP/p(CTAB)/PGE, model olarak nitroaromatik bir OP bileşiği olan MP tayini için ilk defa denendi. HSA NP/p(CTAB)/PGE'nin MP için cevabı dönüşümlü voltametri (CV) ve diferansiyel puls voltametri (DPV) teknikleri ile elektrokimyasal olarak incelendi. Hazırlanan nanokompozit bazlı elektrokimyasal sensör OP yapıda pestisitlerin basit, hassas ve seçici tayininde önemli bir fırsat sunmaktadır.



Şekil 1. MP'nin elektrokimyasal tayini için HSA NP/p(CTAB)/PGE sensörün basamak basamak hazırlanması ve ölçüm prensibi.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. KİMYASALLAR VE ÇÖZELTİLER

Metil paratyon (MP), setiltrimetil amonyum bromür (CTAB), insan serum albümin (HSA), glüteraldehit ve sülfürik asit (H₂SO₄) Sigma-Aldrich (Almanya) firmasından temin edildi. Borik asit, asetik asit ve fosforik asit Merck (St. Louis, MO, ABD)'ten elde edilmiştir. Tüm kimyasallar analitik saflıkta olup herhangi bir işleme muamele edilmedi.

5,0 mM K₃[Fe(CN)₆]/K₄[Fe(CN)₆] (1:1) çözeltisi 0,1 M KCl içerisinde hazırlandı. 5 mmol L⁻¹ MP stok çözeltisi etanol içerisinde çözülerek hazırlandı ve çalışma konsantrasyonu aralığında MP çözeltileri Britton-Robinson tampon çözeltisi (BRT) ile seyreltildi. 0,045 mol L⁻¹ CTAB çözeltisi 0,1 M H₂SO₄ içerisinde hazırlandı.

Elektrokimyasal ölçümlerde destek elektrolit olarak kullanılan 0,1 M Britton-Robinson tampon çözeltisi 0,04 mol L⁻¹ fosforik asit, 0,04 mol L⁻¹ asetik asit ve 0,04 mol L⁻¹ borik asit karıştırılarak ultra saf su içinde hazırlandı ve pH'sı 0,2 M NaOH çözeltisi ile istenilen değere ayarlandı. Çözünmüş oksijeni çözeltilerden uzaklaştırmak için, her elektrokimyasal ölçümden önce 5 dakika boyunca saf azot gazı elektrolit çözeltisinden geçirildi.

B. CİHAZLAR

Dönüşümlü voltametri (CV) ve diferansiyel puls voltametri (DPV) ölçümleri CHI-660C (CHI Instruments) model potansiyostatta üçlü elektrot sisteminde kaydedildi. Çalışma elektrodu olarak çıplak kalem grafit elektrot (PGE) veya HSA NPs/p(CTAB) modifiye PGE, referans elektrot olarak gümüş gümüş klorür (Ag/AgCl) ve karşıt elektrot olarak platin tel kullanıldı. Modifiye elektrotların morfolojisi taramalı elektron mikroskopu (SEM) (Tescan GAIA 3 FIB-SEM/Czech Republic) kullanılarak aydınlatıldı.

C. p(CTAB) KAPLI PGE HAZIRLANMASI

Çalışma elektroduna (PGE) deneyler öncesi herhangi bir elektro/kimyasal ön-işlem uygulanmadı. Tek kullanımlık PGE'ler üzerine p(CTAB) film biriktirilmesi için 0,045 M CTAB içeren 0,1 M H₂SO₄ içerisine daldırılan PGE ile -0,8 V ila 1,2 V potansiyel aralığında (Ag/AgCl'ye karşı) 10 döngü dönüşümlü voltamogram (CV) kaydedildi. Elde edilen elektrot gece boyunca oda sıcaklığında kurutuldu ve p(CTAB)/PGE olarak adlandırıldı.

D. İNSAN SERUM ALBÜMİN NANOPARTİKÜLLERİN (HSA NP) HAZIRLANMASI

İnsan serum albümin nanopartikülleri (HSA NP), Langer ve grubunun bildirdiği kontrollü desolvasyon yöntemine göre hazırlandı [30]. Bunun için, 50 mg mL⁻¹ albümin çözeltisi ultra saf suda hazırlandı. HSA sulu çözeltisine bir organik çözücü eklendiğinde, karışımın dielektrik sabiti azalır ve daha küçük partiküler yapının oluşmasını sağlar. Bunun için, albümin solüsyonuna sabit karıştırma hızında (550 rpm) etanol eklendi. Desolvasyon işlemi solüsyonun rengi bulanıklaşana kadar devam ettirildi. Ardından nanopartiküllerin çapraz bağlanması için glüteraldehit (% 8) eklendi. Protein kaynaklı nanopartikülleri stabilize etmek için glüteraldehit yaygın olarak kullanılır [30,31]. Çözelti, 24 saat 600 rpm sabit karışma hızı ile oda ısısında karıştırıldı. Son aşamada ise elde edilen süspansiyon 12000 rpm'de 30 dakika santrifüjlendi ve ardından elde edilen nanopartiküller ultrasaf su ile 3 kez yıkandıktan sonra liyofilizatörde dondurularak kurutuldu. HSA NP'ler 50 ile 100 nm dolayında ortalama büyüklüğe sahip küresel formda elde edildi.

E. HSA NP/p(CTAB)/PGE’NİN HAZIRLANMASI

p(CTAB) elektrokaplanmış PGE, HSA NP süspansiyonuna 1 saat boyunca daldırıldı ve ardından kurutuldu. MP tayininde kullanılacak bu sensör, HSA NP/p(CTAB)/PGE olarak isimlendirilmiştir. HSA NP/p(CTAB)/PGE’nin performansının değerlendirilmesinde, modifikasyon sırasında HSA NP immobilizasyon süresinin incelenmesi MP’nin voltametrik cevabı üzerindeki etkisinin araştırılmasında önemli bir adımdır. En yüksek MP pik akımı, 60 dak HSA NP adsorpsiyonu ile elde edildi. Daha uzun immobilizasyon sürelerinde ise daha fazla nanopartikül yüklenmesi sonucu elektrot direncini arttırarak yüzeyin stabilitesinin azalmasına neden olduğundan, pik akımlarında azalma gözlemlendi.

F. HSA NP/p(CTAB)/PGE İLE MP İÇİN ELEKTROKİMYASAL ÖLÇÜMLER

MP’nin elektrokimyasal özellikleri HSA NP/p(CTAB)/PGE ile CV ve DPV teknikleri kullanılarak araştırıldı.

Dönüşümlü voltamogramlar (CV) 10 µM MP içeren N₂ gazına doymuş BRT destek elektrolit sisteminde 0,6 V ila -0,9 V (Ag/AgCl’ye karşı) aralığında 50 mV s⁻¹ tarama hızında gerçekleştirildi.

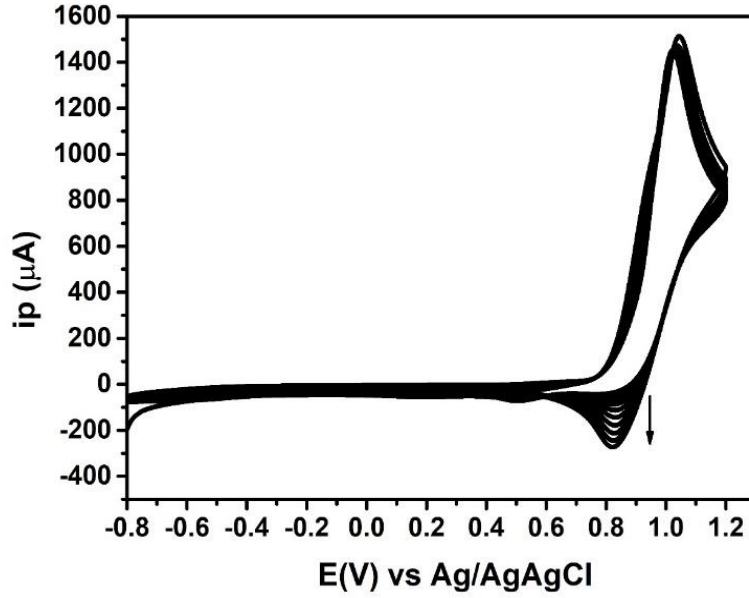
Diferansiyel puls voltametri (DPV) ölçümleri ise farklı derişimlerde MP içeren N₂’ye doymuş BRT (optimum, pH 4.0) içine daldırılan HSA NP/p(CTAB)/PGE ile (optimum, 90 s) sabit karıştırma hızında ön-derişirme yapıldıktan sonra 0 V ile -1,0 V (Ag/AgCl’ye karşı) aralığında, 50 ms puls süresi, 50 mV puls yüksekliği, 4 mV puls genliği parametreleri kullanılarak elde edildi.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

HSA NP/p(CTAB)/PGE yüzeyin hazırlanması ve MP’nin tespiti için yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve ilgili tartışmalar aşağıda ayrıntılı bir biçimde verildi.

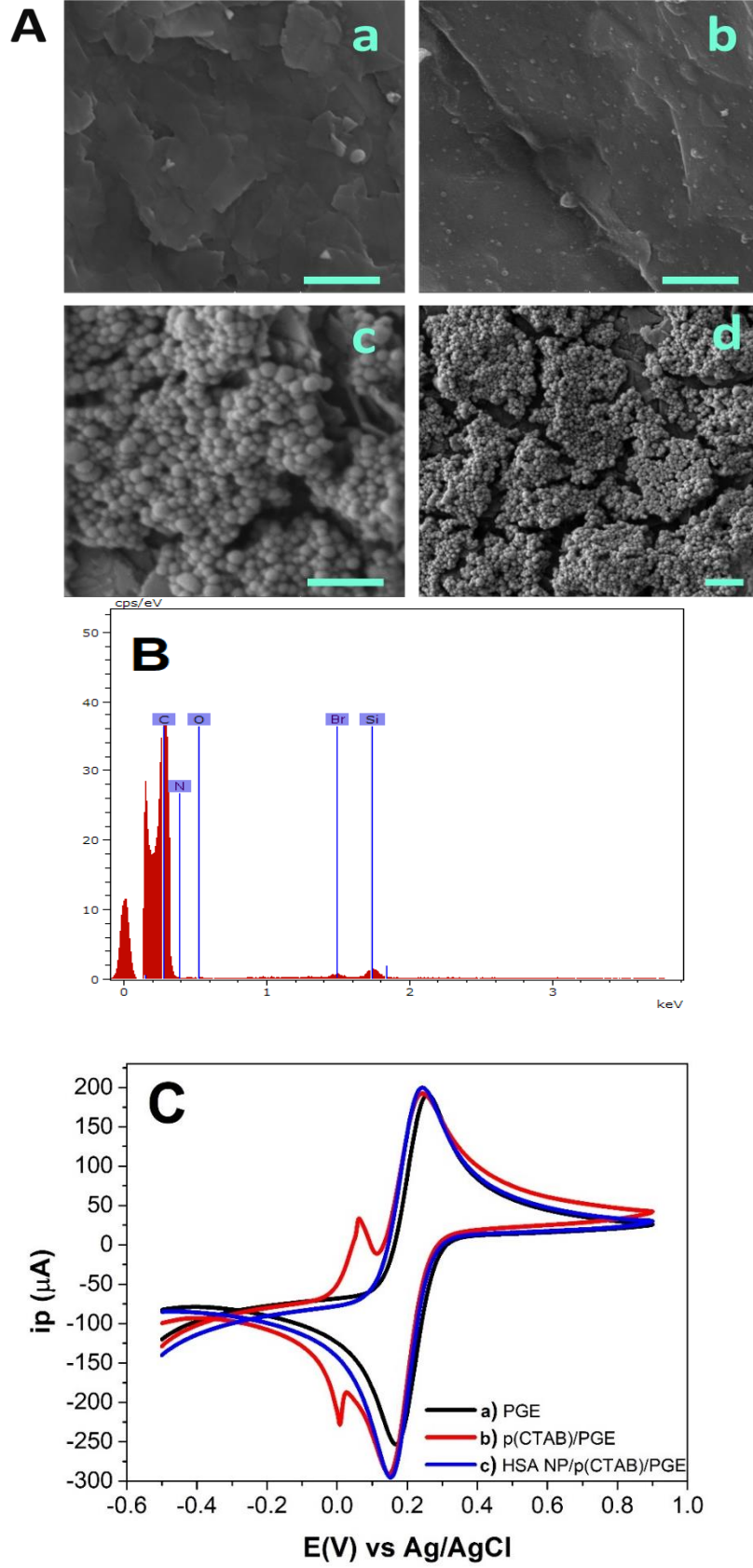
A. CTAB ELEKTROBİRİKTİRİLMESİ VE HSA NP/p(CTAB)/PGE KARAKTERİZASYONU

Kimyasal olarak modifiye edilmiş elektrotların hazırlanması ve elektrot yüzeylerinde polimerik film geliştirilmesinde dönüşümlü voltametri (CV) yöntemi yaygın olarak kullanılır. Şekil 2, 0,045 M CTAB içeren 0,1 M H₂SO₄ çözeltisinde daldırılan PGE üzerine CTAB elektrobiriktirilmesini gösteren 10 döngü dönüşümlü voltamogramı göstermektedir. CTAB derişimi kritik misel konsantrasyonunun üzerinde tutulduğunda (1 mM) ve asidik ortamda elektrot yüzeyi elektropolimerleştirilmiş CTAB (p(CTAB) ile kaplanabilir [29,32]. Gerçekleşen proseste, anodik yönde 1,05 V’da (Ag/AgCl’ye karşı) bir yükseltgenme piki ve geri döngüde ise 0,85 V’da (Ag/AgCl’ye karşı) indirgenme piki elde edildi. Elektrobiriktirme sırasındaki elde edilen elektrokimyasal davranış, CTAB’ın camı karbon elektrot üzerine elektropolimerizasyonun incelendiği Zhang ve grubunun rapor ettiği çalışma ile uyumludur [29]. Literatürde, bu işlemin, elektroyükseltgenme yoluyla CTAB’nin kuvvetli hidrofobik grafit yüzeyi üzerindeki ardışık elektrokimyasal interkalasyonundan kaynaklandığı bildirilmiştir [32]. Elektrokimyasal depozisyon esnasında döngü sayısı arttıkça indirgenme pik akımlarının arttığı ve grafit yüzeyde sarı bir film oluşumu gözlemlendi. Ardından, p(CTAB) fonksiyonelleştirilmiş arayüzeye HSA NP’ler fiziksel adsorpsiyon ile bağlandı.



Şekil 2. 0,1 M H_2SO_4 içerisinde grafit elektrot üzerine p(CTAB) kaplanmasını gösteren dönüşümlü voltamogram (E_i): -0,8 V, $E(E_f)$: 1,2 V (vs. Ag/AgCl). Tarama hızı (SR): 100 $mV s^{-1}$.

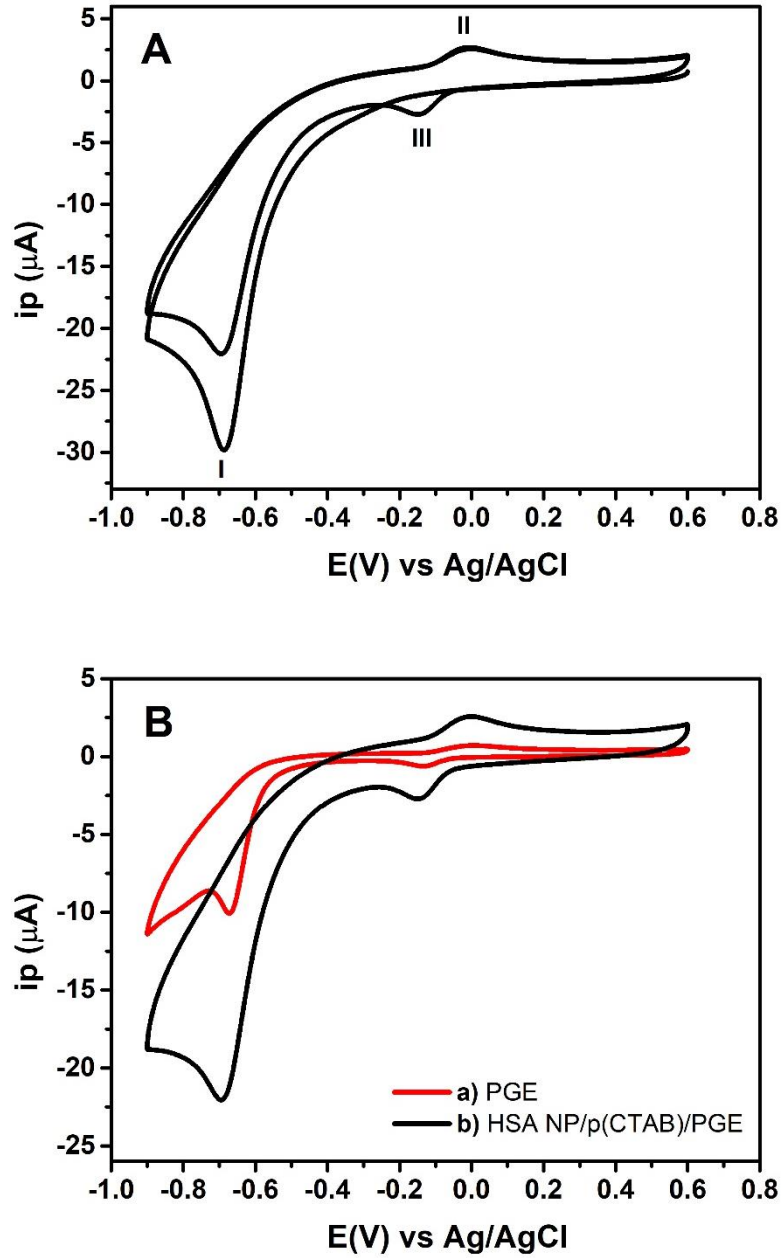
Modifikasyon sırasında yüzeyin morfolojik değişimini gösteren SEM görüntüleri Şekil 3A'da verildi. Modifiye edilmemiş PGE'nin tabakalı grafit yüzeyinin (Şekil 3A.a), misel benzeri p(CTAB) filmi ile homojen olarak kaplandığı ve pürüzlü bir yapı sergilediği anlaşıldı. (Şekil 3A.b). Nanopartiküllerin yüzeye yerleşmesinin ardından, Şekil 3A.c-d'de sırasıyla yüksek ve düşük büyütme oranlarında HSA NP/p(CTAB) kaplı PGE yüzeylere ait SEM görüntüleri verildi. Polimerik film üzerine adsorplanan HSA NP'ler ise yaklaşık 100 nm çapında üç-boyutlu oldukça düzgün küresel yapısını korurken yüzeyde tek tabaka ve homojen olarak dağıldığı görülmüştür. Modifiye edici filmin kimyasal bileşimi, Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDS) kullanılarak değerlendirildi. PGE kil ve grafit içeriğine bağlı olarak başlıca C, O, Si'den oluşur. EDX analizinde (Şekil 3B), C, O, N ve Br varlığı, PGE üzerinde biriktirilen p(CTAB) filmin kimyasal bileşimini doğruladı. Modifikasyon aşamaları esnasında sensör platformunun elektrokimyasal davranışı ve yüzeyin iletkenliği ise $[Fe(CN)_6]^{3-/4-}$ redoks çözeltisi kullanılarak CV ile incelendi (Şekil 3C). Çıplak PGE'ye göre (Şekil 3C.a) yüzeye iletken p(CTAB) filmin elektrodpozisyonu (Şekil 3C.b) redoks çiftinin katodik pik akımında artışa neden olmuştur. Randles-Sevcik denklemine göre, yüzeye kaplanan film yapısının efektif yüzey alanını arttığı anlaşılmıştır [14]. Elde edilen yanıtın artan Fe(III)/Fe(II) redoks prosesinin yanısıra yapıda bulunan bromür iyonlarının redox davranışına neden olduğu şeklinde yorumlandı. Literatürde, benzer voltametrik davranış, farklı malzemelerle birleştirilmiş CTAB modifiye elektrotlarda da elde edilmiştir [28]. Bu film üzerine iletken olmayan HSA NP kaplanması ise, bu elektroda ait CV'de 0 V (Ag/AgCl'ye karşı) civarında $[Fe(CN)_6]^{3-/4-}$ redoks çiftine ait olmayan tersinir pikin yok olmasına neden oldu ve efektif yüzey alanının yüksek kalmasını sağladı. Böylelikle, elde edilen elektriksel olarak iletken ve analit adsorpsiyonuna imkan sağlayabilecek özellikte HSA NP/p(CTAB)/PGE yüzeyin OP pestisit tayini için uygun olacağı anlaşıldı ve sensör performansı MP kullanılarak incelendi.



B. HSA NP/P(CTAB) KAPLI PGE İLE MP'NİN VOLTAMETRİK DAVRANIŞI

Albüminin iyi tanımlanmış birincil yapısı ve yüksek miktarda yüklü amino asit içeriği (örneğin lizin) nedeniyle, albümin bazlı nanopartiküller, diğer bileşiklere gerek kalmadan pozitif veya negatif yüklü moleküllerin elektrostatik adsorpsiyonuna imkan verebilir [33,34]. Pestisitlerin izlenmesi için hızlı, verimli ve sürekli bir elektrokimyasal analiz metodu geliştirmek amacıyla MP'nin voltametrik davranışını incelemek için öncelikle N₂'ye doymuş BRT ortamında CV uygulandı. Şekil 4A'da verilen, HSA NP/p(CTAB) modifiye elektrotta elde edilen 2 döngü dönüşümlü voltamogramda gösterildiği gibi, 10 µM MP ilk katodik döngü sırasında nitro grubunun (-NO₂) hidroksilamine (-NHOH) indirgenmesi sonucu -0,69 V'da (I) (Ag/AgCl'ye karşı) keskin tersinmez katodik bir pik sergiledi. Buna göre, ilk döngüde sadece bir indirgenme ve yükseltgenme varlığı, ikinci döngüde ise, ara ürünün indirgenmesine denk gelen ek bir indirgenme piki gözlemlendi. Tekrarlayan döngü sırasında, bu pik akımında bir azalış, ayrıca nitroso (-NO) ve hidroksilaminin redoksuna denk gelen -0,025 V (II) ve -0,180 V (III) 'te ise bir çift yarı-tersinir pik gözlemlendi [35] (Şekil 1). -0.69 V'da gözlenen indirgenme pik akımının ikinci döngüden itibaren azalması, MP'nin elektrokimyasal reaksiyon süresince tüketilmesi ve reaksiyon ürününün yüzeye adsorplanmasından kaynaklanır [35,36]. Bu redoks pikleri nitroaromatik bileşikler için bildirilmiş diğer çalışmalarla uyumludur [36]. Görülebileceği gibi, HSA NP/p(CTAB)'ın, MP'nin immobilizasyonu ve elektrokimyasal algılanmasında önemli bir rol oynayabileceği anlaşıldı.

Şekil 4B'den anlaşıldığı üzere, modifiye edilmemiş PGE'ye göre (Şekil 4B.a), yüzeyde HSA NP/p(CTAB) varlığı (Şekil 4B.b) MP için daha gelişmiş elektrokimyasal sinyal elde edildiği belirlendi. Burada, MP'ye karşı cevabın yüksek oluşu protein temelli nanopartikül (HSA NP) ve yüzey aktif temelli kompozit tabakası (p(CTAB)) bileşiminin sağladığı iyi iletkenlik ve geniş etkili yüzey alanlarına atfedildi. MP'nin plazma proteini olan HSA'ya yüksek afinite bağlanma bölgesinin, bu molekülün hidrofobik boşluk bölgesinde bulunan tek triptofanı üzerinden olduğu açıklanmıştır ve hidrofobik kuvvetlerin, pestisit-albümin kompleksinin oluşumu üzerinde önemli bir etkisi olabileceği bildirilmiştir [22].



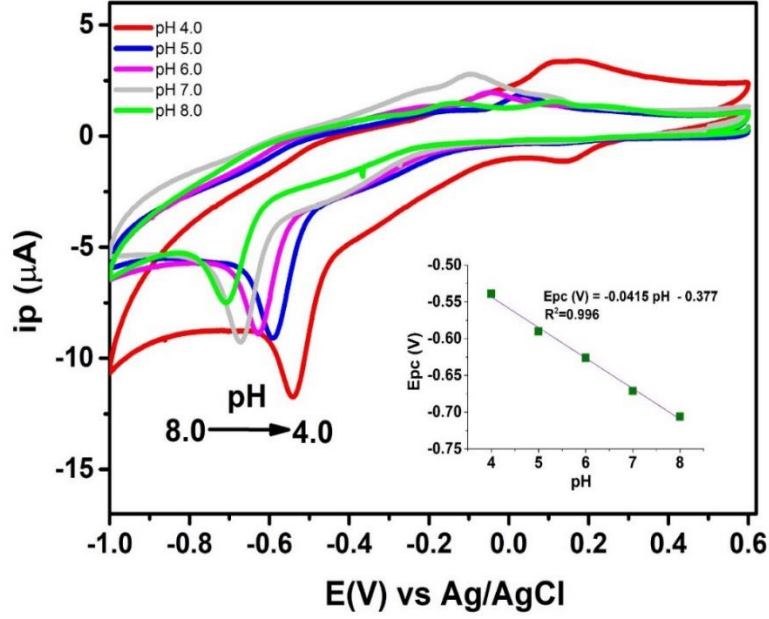
Şekil 4. $10 \mu\text{M}$ MP içeren BRT (pH 7.0) içerisinde (A) HSA NP/p(CTAB)/PGE ile elde edilen ilk 2 döngüye ait dönüşümlü voltamogramlar ve (B) Modifiye edilmemiş PGE (a) ve HSA NP/p(CTAB) modifiye PGE (b) ile elde edilen dönüşümlü voltamogramlar. (E_i): 0,6 V, (E_f): -0,9 V. Tarama hızı (SR): 50 mV s^{-1} .

C. MP'NİN VOLTAMETRİK CEVABINA PH'NİN ETKİSİ

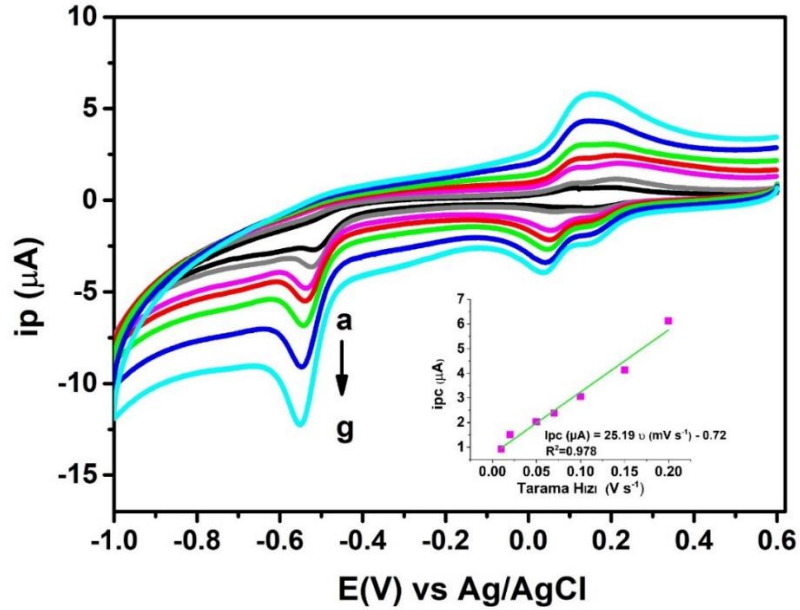
Şekil 5, $10 \mu\text{M}$ MP varlığında, değişen pH'larda (4,0-8,0 arasında) BRT çözeltilerinde HSA NP/p(CTAB)/PGE'de elde edilen tersinmez MP pik potansiyeline (E_{pc}) karşı pik akımlarını (I_{pc}) gösteren CV eğrilerini göstermektedir. MP'nin indirgenmesinde H^+ katılımına bağlı olarak en gelişmiş sinyal pH 4,0'de elde edildiği sonucuna varıldı. Bazı ortamların ise MP'nin bozunmasına ve akım şiddetinin azalmasına neden olduğu belirlendi [37]. Bu nedenle pH 4,0 BRT ortamı, sonraki deneyler için optimal bir koşul olarak kabul edildi. Ayrıca, tersinmez katodik pik potansiyeli ile pH arasında lineer bir cevap elde edildi:

$$E_{pc} (\text{V}) = -0,0415 \text{ pH} - 0,377 \quad (R^2 = 0.996) \quad (1)$$

Bu denklemin 41,5 mV/pH'lık eğim değeri Nernst denkleminin (-0,0592 pH) tipik değerine yakındır. Bu ise, MP'nin elektro-indirgenme ve yükseltgenmesinde elektron ve proton sayısının eşit olarak aktarıldığını gösterir [38].



Şekil 5. 10 μM MP içeren farklı pH'larda BRT çözeltilerinde (pH 4,0-8,0) HSA NP/p(CTAB)/PGE'de elde edilen CV eğrileri. (içteki grafik: pH'ya karşı Epc grafiği.)



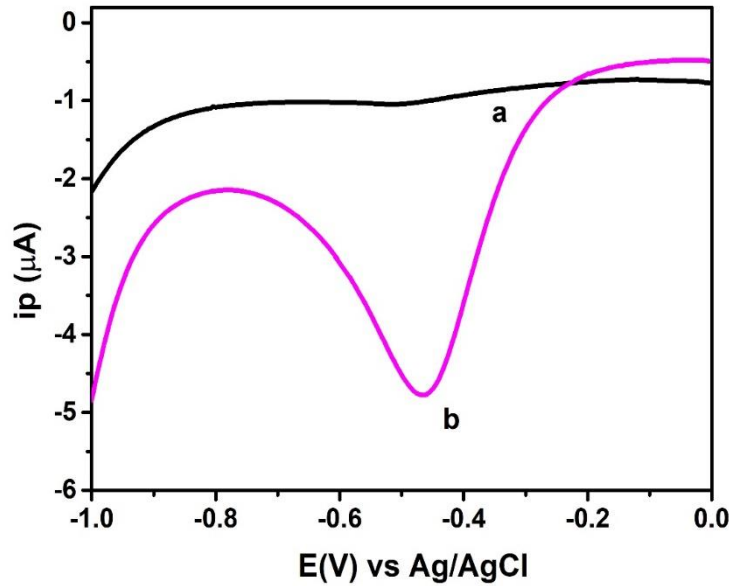
Şekil 6. 10 μM MP içeren pH 4,0 BRT çözeltisinde HSA NP/p(CTAB)/PGE'de farklı tarama hızlarında (10-200 mVs⁻¹) elde edilen CV eğrileri. (içteki grafik: Tarama hızına karşı akım (ipc) grafiği).

D. MP'NİN VOLTAMETRİK CEVABINA TARAMA HIZININ ETKİSİ

Şekil 6, HSA NP/p(CTAB)/PGE ile pH 4,0 BRT'de tarama hızının MP'nin pik akımı (I_p) üzerindeki etkisini incelemek için $10-200 \text{ mVs}^{-1}$ aralığında kaydedilen voltammogramları göstermektedir. Katodik pik akımlarının, tarama hızı ile doğrusal olarak artması, MP'nin indirgenme kinetiğinin adsorpsiyon kontrollü davranış gösterdiği şeklinde yorumlandı [39]. Ayrıca, artan tarama hızıyla pik potansiyellerindeki kayma, indirgenme reaksiyonunun tersinmez olduğunu gösterdi.

E. HSA NP/P(CTAB)/PGE'NİN MP TESPİTİ İÇİN ANALİTİK PERFORMANSI

HSA NP/p(CTAB)/PGE üzerinde MP'nin elektrokimyasal davranışı CV ile aydınlatıldıktan sonra MP'nin hassas tayini için diferansiyel puls voltametri (DPV) elektrokimyasal kantitatif yöntem olarak uygulandı DPV, çok sayıda elektroaktif bileşiğin belirlenmesi için kullanılan kapasitif akıma karşı arttırılmış sinyal/gürültü oranı avantajını sunan hassas elektroanalitik tekniklerden biridir [40]. BRT (pH 4,0) içerisinde $0,1 \mu\text{M}$ MP'nin 0 V ila $-1,0 \text{ V}$ potansiyel aralığındaki diferansiyel puls voltametik yanıtı $-0,460 \text{ V}$ 'de (Ag/AgCl'ye karşı) keskin ve iyi tanımlanmış bir pik sergiledi (Şekil 7). MP içermeyen BRT'de alınan voltamogramda ise bu pike rastlanmadı.



Şekil 7. HSA NP/p(CTAB)/PGE'de (a) MP içermeyen ve (b) $0,1 \mu\text{M}$ MP içeren pH 4,0 BRT'de alınan DPV eğrileri. (E_i): 0 V , (E_p): $-1,0 \text{ V}$. Puls süresi : 50 ms , puls yüksekliği: 50 mV , puls genliği: 4 mV , puls süresi: 5 s . Önderiştirme: 90 s .

Şekil 8A, MP'nin kantitatif analizi için artan derişimlerde pestisit içeren çözeltide kaydedilen tipik DPV piklerini göstermektedir. Ölçülen pik akım değerleri, MP'nin $0,01$ ila $0,1 \mu\text{M}$ arasında derişimleri için doğrusallık gösterdi (Şekil 8B).

Elde edilen doğrusal kalibrasyon grafiğinin denklemi;

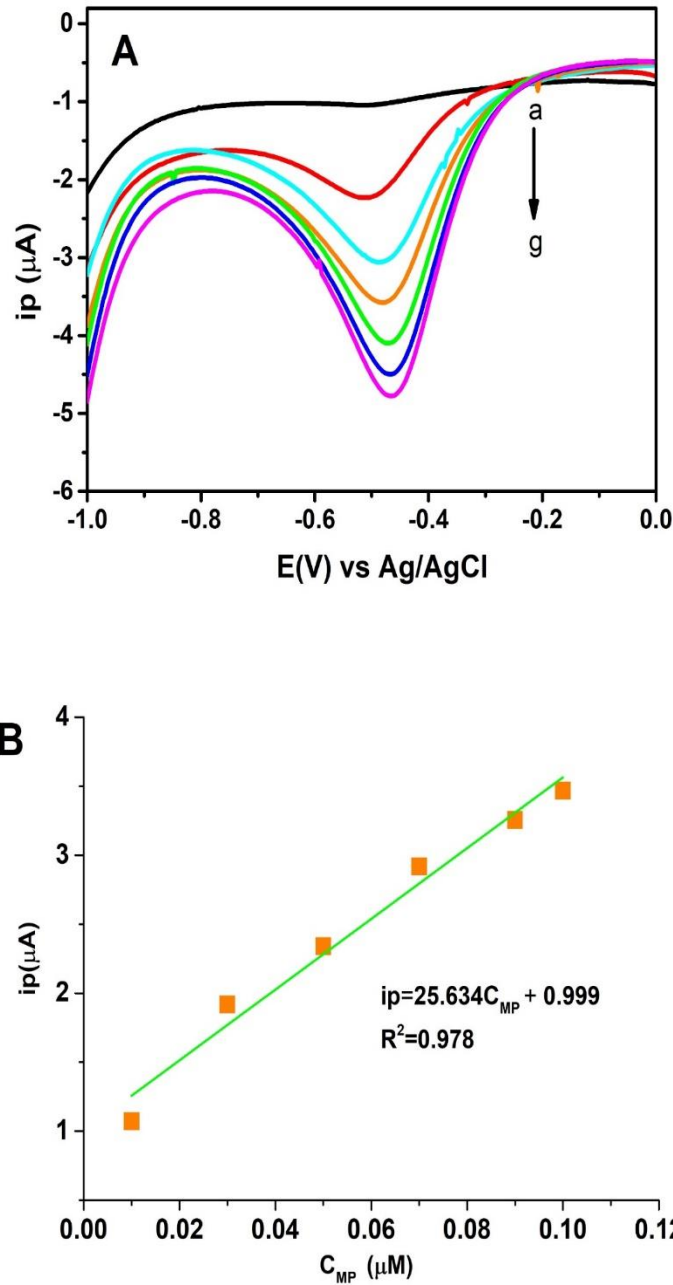
$$I (\mu\text{A}) = 25,63(\mu\text{M}) + 0,9998 \quad (R^2 = 0,98) \quad (2)$$

Gözlenebilme sınırı (LOD) ise 6 nM olarak hesaplandı;

$$\text{LOD} = 3 \times s_b / m \quad (3)$$

s: boş çözeltide alınan voltammogramların standart sapma değeri ($n=3$)

m: kalibrasyon grafiğinin eğimi.



Şekil 8. (A) HSA NP/p(CTAB)/PGE’de farklı konsantrasyonlarda MP içeren (a-f: 0,01- 0,1 μM) pH 4,0 BRT’de alınan DPV eğrileri. (Diğer parametreler Şekil 7 ile aynıdır.) (B) MP için doğrusal kalibrasyon grafiği.

HSA NP/p(CTAB)/PGE’nin MP için elde edilen analitik performansı, literatürde MP’nin tayininde kullanılan diğer enzimatik ve enzimatik olmayan farklı nanomalzemelerle rapor edilmiş bazı sensörler ile karşılaştırılması Tablo 1’de özetlendi. Anlaşıldığı üzere geliştirilen sensör, MP için geniş bir doğrusal çalışma aralığı ve oldukça düşük bir gözlenebilirlik sınırı değeri gösterdi ve bu sonuçlar literatürde rapor edilmiş diğer çalışmalarla kıyaslanabilir düzeydedir. Dolayısıyla, geliştirilen HSA NP/p(CTAB)/PGE sensörün hazırlama kolaylığı, düşük maliyeti ve MP’ye yüksek afinitesi, MP’nin enzim gerektirmeyen hızlı ve hassas elektrokimyasal tayini için oldukça elverişlidir.

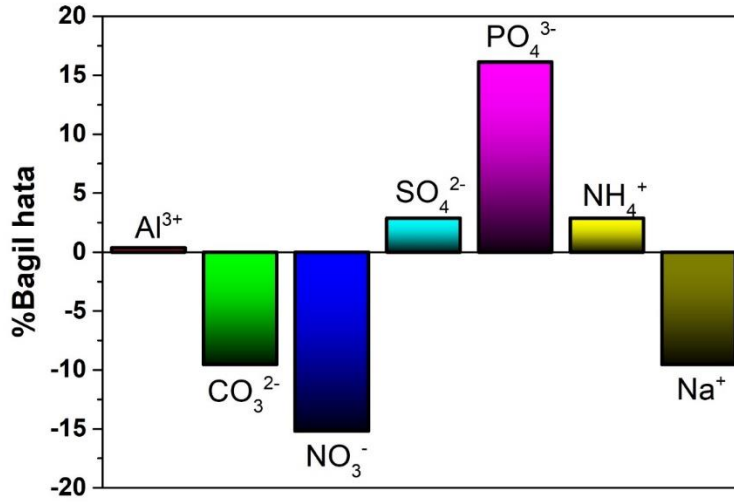
Tablo 1. MP tayini için önerilen sensörün rapor edilen diğer elektrokimyasal sensörlerle karşılaştırılması.

Elektrot	Elektrokimyasal Teknik	MP (Doğrusal Aralık)	LOD	Kaynak
ZrO ₂ NPs-GNs/GCE	SWV	0,006-3,08 µM	2,05 nM	[41]
Stearik asit modifiye GCE	DPV	2,07 -12,42 µM	0,95 µM	[40]
Gemini surfaktant-interkale kil-modifiye GCE	SWV	0,4 – 8,5 µM	0,7 nM	[42]
CuO-TiO ₂ -dekore GCE	DPV	0-7,60 µM	0,0046 µM	[43]
MIP-IL-EGN/GCE	DPV	0,010-7,0 µM	6 nM	[44]
Au-ZrO ₂ -GNs/GCE	SWV	0,0038-9,12 µM	3,8 nM	[37]
BCL@MOF nanofiber/kitosan/GCE	DPV	0,1-38 µM	0,067 µM	[45]
ITO/(GPDDA/GPSS) ₁ (AuNP/GPSS) ₁₀	DPV	1,90-228 µM	2,93 µM	[46]
AChE-Au-PPy/GCE	CV	17,6-412 nM/ 1,7-15,45 µM	6,8 nM	[13]
BSA/AChE-Glu-s-SWCNTs/GCE	SWV	1×10 ⁻¹⁰ M - 5×10 ⁻⁶ M	3,75×10 ⁻¹¹ M	[14]
AChE/SF/MWNTs/GCE	Amperometri	3,5 µM – 2,0 mM	60 nM	[47]
HSA NP/p(CTAB)/PGE	DPV	0,01- 0,1 µM	6 nM	Bu çalışma

Zirkon nanopartikül dekore grafen nanotabakalar (ZrO₂NPs-GNs); kare dalga voltametri (SWV); diferansiyel puls voltametri (DPV); bakır oksit- titanyum dioksit (CuO-TiO₂); moleküler baskılı polimer-iyonik sıvı-grafen kompozit film kaplı camı karbon elektrot (MIP-IL-EGN/GCE); camı karbon elektrot üzerinde altın ve zirkon nanokompozit modifiye grafen nanotabakalar (Au-ZrO₂-GNs/GCE); metal-organik çerçeveler (MOFs); BCL: *Burkholderia cepacia* Lipaz; Grafen Nanoplateletler ve Altın Nanopartiküllerin Katman Tabanlı Filmleri (GPDDA/GPSS)₁(AuNP/GPSS)₁₀; İndiyum kalay oksit (ITO); asetilkolinesteraz-altın-polipirol kaplı camı karbon elektrot (AChE-Au-PPy/GCE); dönüşümlü voltametri (CV); tek duvarlı karbon nanotüp/glutaraldehit çapraz bağlı asetilkolinesteraz sarılmış sıgır serum albümin nanokompozitler (BSA/AChE-Glu-s-SWCNTs/GCE); asetilkolinesteraz/ipek fibroin/çok duvarlı karbon nanotüpler ile modifiye camı karbon elektrot (AChE/SF/MWNTs/GCE).

HSA NP/p(CTAB)/temelli sensörün gün-içi tekrar üretilebilirliği % 6,2 (n=5) bağıl standart sapma (RSD) ile yüksek doğruluk gösterdi.

Algılama seçiciliği, geliştirilen elektrokimyasal sensörün değerlendirilmesinde bir başka önemli parametredir. CO₃²⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, Al³⁺, Na⁺ ve NH₄⁺ gibi girişim yapabilecek türler, su içinde MP ile bir arada bulunabilir. HSA NP/p(CTAB)/PGE ile DPV ölçümleri, 0,05 µM MP ile aynı ortamda 200-kat fazla derişimde iyon içeren pH 4,0 BRT’de gerçekleştirildi. Diğer iyonlarla bir arada olduğunda, MP için ölçülen pik akımındaki % bağıl değişim Şekil 9’da gösterildiği gibi grafiğe geçirildi. Sensör cevabının % bağıl değişiminin en yüksek % 15 etkiye neden olduğu, bu nedenle türlerin, MP’nin elektrokimyasal tespiti üzerinde neredeyse çok fazla etkiye neden olmadığı anlaşıldı. Bu durum, sensörün MP’nin elektrokimyasal tespiti üzerindeki seçiciliğinin iyi olduğunu gösterdi.



Şekil 9. HSA NP/p(CTAB)/PGE ile 0,05 µM MP cevabına farklı iyonların etkisini gösteren bar grafiği (Her iyon için derişim: 10 µM).

IV. SONUÇ

Özetle bu çalışmada, tek kullanımlık grafit elektrotlar üzerine elektrobiriktirilmiş p(CTAB) tabakası üzerine dekore edilmiş HSA NP'ler ile önemli bir çevresel kirlenici olan MP'nin tayini için bir elektrokimyasal sensör geliştirildi. Yüzeyde bulunan albumin temelli nanopartiküllerin MP'ye yüksek afinitesi ve yüksek adsorplama kapasitesine sahip yüzey aktif madde tabanlı p(CTAB) filmin birarada bulunması MP tayini için sinerjik etki oluşturduğu anlaşılmaktadır. Geliştirilen HSA NP/p(CTAB)/PGE, farklı inorganik iyonların varlığında bile MP'ye karşı geniş doğrusal cevap aralığı, düşük gözlenebilirlik sınırı, iyi hassasiyet ve seçicilik ile mükemmel elektrokatalitik aktivite gösterdi. Geliştirilen sensörün literatürde belirtilen MP tayini için enzimatik ve çeşitli nanomalzemelere dayanan diğer bazı sensörler ile yarışacak özellikte olduğu tespit edildi. İyi bir tekrar üretilebilirlik gösteren bu sensörün MP'nin pratikte hassas, seçici ve yerinde tespiti için kullanılabileceği öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından (FBA-2019-18385) desteklenmiştir. Yazar ayrıca, faydalı yorumları için Prof. Dr. Serdar Abacı ve Elektrokimyasal Arayüzeyler & Biyomalzemeler Araştırma Grubu'na teşekkür eder.

V. KAYNAKÇA

- [1] M. Govindasamy, S. Sakthinathan, S. M. Chen, T. W. Chiu, A. Sathiyar, and J. P. Merlin, "Reduced Graphene Oxide Supported Cobalt Bipyridyl Complex for Sensitive Detection of Methyl Parathion in Fruits and Vegetables," *Electroanalysis*, vol. 29, no. 8, pp. 1950–1960, 2017.
- [2] D. M. Maxwell, K. M. Brecht, I. Koplovitz, and R. E. Sweeney, "Acetylcholinesterase inhibition: Does it explain the toxicity of organophosphorus compounds?," *Archives of Toxicology*, vol. 80, no. 11, pp. 756–760, 2006.
- [3] "WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to the WHO

recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification, 2009 edition - International Program on Chemical Safety, World Health Organization [Access: 30-Haz-2020].

- [4] G. M. Benke, K. L. Cheever, F. E. Mirer, and S. D. Murphy, "Comparative toxicity, anticholinesterase action and metabolism of methyl parathion and parathion in sunfish and mice," *Toxicology and Applied Pharmacology*, vol. 28, no. 1, pp. 97–109, 1974.
- [5] EC Drinking Water Directive 98/83/EC European Commission (1998).
- [6] C. Liu, B. Guo, and J. Xue, "Analytical Methods for Pesticides and Herbicides," *Water Environment Research*, vol. 90, no. 10, pp. 1323–1347, 2018.
- [7] J. Chen, W. T. Zhang, Y. Shu, X. H. Ma, and X. Y. Cao, "Detection of Organophosphorus Pesticide Residues in Leaf Lettuce and Cucumber Through Molecularly Imprinted Solid-Phase Extraction Coupled to Gas Chromatography," *Food Analytical Methods*, vol. 10, no. 10, pp. 3452–3461, 2017.
- [8] Y. Shin, J. Lee, J. Lee, J. Lee, E. Kim, K. H. Liu, H. S. Lee, and J. H. Kim, "Validation of a Multiresidue Analysis Method for 379 Pesticides in Human Serum Using Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 66, no. 13, pp. 3550–3560, 2018.
- [9] A. V. B. Reddy, Z. Yusop, J. Jaafar, A. B. Aris, Z. A. Majid, K. Umar, and J. Talib, "Simultaneous determination of three organophosphorus pesticides in different food commodities by gas chromatography with mass spectrometry," *Journal of Separation Science*, vol. 39, no. 12, pp. 2276–2283, 2016.
- [10] A. Menezes Filho, F. N. dos Santos, and P. A. de Paula Pereira, "Development, validation and application of a methodology based on solid-phase micro extraction followed by gas chromatography coupled to mass spectrometry (SPME/GC-MS) for the determination of pesticide residues in mangoes," *Talanta*, vol. 81, no. 1–2, pp. 346–354, 2010.
- [11] Y. Zeng, D. Yu, Y. Yu, T. Zhou, and G. Shi, "Differential pulse voltammetric determination of methyl parathion based on multiwalled carbon nanotubes–poly(acrylamide) nanocomposite film modified electrode," *The Journal of Hazardous Materials*, vol. 217–218, pp. 315–322, 2012.
- [12] A. Rhouati, M. Majdinasab, and A. Hayat, "A perspective on non-enzymatic electrochemical nanosensors for direct detection of pesticides," *Current Opinion in Electrochemistry*, vol. 11., pp. 12–18, 2018.
- [13] J. Gong, L. Wang, and L. Zhang, "Electrochemical biosensing of methyl parathion pesticide based on acetylcholinesterase immobilized onto Au–polypyrrole interlaced network-like nanocomposite," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 24, no. 7, pp. 2285–2288, 2009.
- [14] T. H. V. Kumar and A. K. Sundramoorthy, "Electrochemical biosensor for methyl parathion based on single-walled carbon nanotube/glutaraldehyde crosslinked acetylcholinesterase-wrapped bovine serum albumin nanocomposites," *Analytica Chimica Acta*, vol. 1074, pp. 131–141, 2019.
- [15] N. K. Bakirhan, B. Uslu, and S. A. Ozkan, "The Detection of Pesticide in Foods Using Electrochemical Sensors," in *Food Safety and Preservation*, Elsevier, 2018, pp. 91–141.
- [16] P. Kumar, K. H. Kim, and A. Deep, "Recent advancements in sensing techniques based on functional materials for organophosphate pesticides," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 70, pp. 469–481, 2015.

- [17] F. Arduini, S. Cinti, V. Scognamiglio, and D. Moscone, "Nanomaterials in electrochemical biosensors for pesticide detection: advances and challenges in food analysis," *Microchimica Acta*, vol. 183, no. 7, pp. 2063–2083, 2016.
- [18] S. Sahin, H. Selek, G. Ponchel, M. T. Ercan, M. Sargon, A. A. Hincal, and H. S. Kas, "Preparation, characterization and in vivo distribution of terbutaline sulfate loaded albumin microspheres," *Journal of Controlled Release*, vol. 82, no. 2–3, pp. 345–358, 2002.
- [19] M. Fasano, S. Curry, E. Terreno, M. Galliano, G. Fanali, P. Narciso, S. Notari and P. Ascenzi, "The extraordinary ligand binding properties of human serum albumin," *IUBMB Life*, vol. 57, no. 12, pp. 787–796, 2005.
- [20] G. Fanali, A. D. Masi, V. Trezza, M. Marino, M. Fasano, and P. Ascenzi, "Human serum albumin: From bench to bedside," *Molecular Aspects of Medicine*, vol. 33, no. 3, pp. 209–290, 2012.
- [21] H. Maeda, J. Wu, T. Sawa, Y. Matsumura, and K. Hori, "Tumor vascular permeability and the EPR effect in macromolecular therapeutics: A review," *The Journal of Controlled Release*, vol. 65, no. 1–2, pp. 271–284, 2000.
- [22] D. Silva, C. M. Cortez, J. Cunha-Bastos, and S. R. W. Louro, "Methyl parathion interaction with human and bovine serum albumin," *Toxicology Letters*, vol. 147, no. 1, pp. 53–61, 2004.
- [23] D. C. Carter and J. X. Ho, "Structure of serum albumin," *Advances in Protein Chemistry*, vol. 45, no. C, pp. 153–176, 1994.
- [24] K. Langer, M. G. Anhorn, I. Steinhauser, S. Dreis, D. Celebi, N. Schrickel, S. Faust, and V. Vogel, "Human serum albumin (HSA) nanoparticles: Reproducibility of preparation process and kinetics of enzymatic degradation," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 347, no. 1–2, pp. 109–117, 2008.
- [25] A. O. Elzoghby, W. M. Samy, and N. A. Elgindy, "Albumin-based nanoparticles as potential controlled release drug delivery systems," *Journal of Controlled Release*, c. 157, s. 2., ss. 168–182, 2012.
- [26] E. Ertugen, A. Tunçel, and F. Yurt, "Docetaxel loaded human serum albumin nanoparticles; synthesis, characterization, and potential of nuclear imaging of prostate cancer," *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, vol. 55, no. 101410, 2020.
- [27] O. Akbal, T. Vural, S. Malekghasemi, B. Bozdoğan, and E. B. Denkbaş, "Saponin loaded montmorillonite-human serum albumin nanocomposites as drug delivery system in colorectal cancer therapy," *Applied Clay Science*, vol. 166, pp. 214–222, 2018.
- [28] M. Hasanzadeh, A. Mohammadzadeh, M. Jafari, and B. Habibi, "Ultrasensitive immunoassay of glycoprotein 125 (CA 125) in untreated human plasma samples using poly (CTAB-chitosan) doped with silver nanoparticles," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 120, pp. 2048–2064, 2018.
- [29] Y. J. Yang, L. Guo, and W. Zhang, "The electropolymerization of CTAB on glassy carbon electrode for simultaneous determination of dopamine, uric acid, tryptophan and theophylline," *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 768, pp. 102–109, 2016.
- [30] K. Langer, S. Balthasar, V. Vogel, N. Dinauer, H. Von Briesen, and D. Schubert, "Optimization of the preparation process for human serum albumin (HSA) nanoparticles," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 257, no. 1–2, pp. 169–180, 2003.

- [31] S. Das, R. Banerjee, and J. Bellare, "Aspirin Loaded Albumin Nanoparticles by Coacervation: Implications in Drug Delivery," *Trends in Biomaterials and Artificial Organs*, vol. 18, no.2, pp.203-12, 2005.
- [32] K. Kakaei and K. Hasanpour, "Synthesis of graphene oxide nanosheets by electrochemical exfoliation of graphite in cetyltrimethylammonium bromide and its application for oxygen reduction," *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 2, no. 37, pp. 15428–15436, 2014.
- [33] C. Weber, C. Coester, J. Kreuter, and K. Langer, "Desolvation process and surface characterisation of protein nanoparticles," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 194, no. 1, pp. 91–102, 2000.
- [34] J. Irache, M. Merodio, A. Arnedo, M. Camapanero, M. Mirshahi, and S. Espuelas, "Albumin Nanoparticles for the Intravitreal Delivery of Anticytomegaloviral Drugs," *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, vol. 5, no. 3, pp. 293–305, 2005.
- [35] X. Tan, B. Li, K. Y. Liew, and C. Li, "Electrochemical fabrication of molecularly imprinted porous silicate film electrode for fast and selective response of methyl parathion," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 26, no. 2, pp. 868–871, 2010.
- [36] G. Liu and Y. Lin, "Electrochemical stripping analysis of organophosphate pesticides and nerve agents," *Electrochemistry Commuucations*, vol. 7, no. 4, pp. 339–343, 2005.
- [37] N. Gao, C. He, M. Ma, Z. Cai, Y. Zhou, G. Chang, X. Wang and Y. Heb, "Electrochemical co-deposition synthesis of Au-ZrO₂-graphene nanocomposite for a nonenzymatic methyl parathion sensor," *Analytica Chimica Acta*, vol. 1072, pp. 25–34, 2019.
- [38] R. Karthik, J. V. Kumar, S. M. Chen, T. Kokulnathan, T.W. Chen, S. Sakthinathan, T.W. Chiu ve V. Muthuraj, "Development of novel 3D flower-like praseodymium molybdate decorated reduced graphene oxide: An efficient and selective electrocatalyst for the detection of acetylcholinesterase inhibitor methyl parathion," *Sensors Actuators, B Chem.*, c. 270, ss. 353–361, 2018.
- [39] W. Yazhen, Q. Hongxin, H. Siqian, and X. Junhui, "A novel methyl parathion electrochemical sensor based on acetylene black-chitosan composite film modified electrode," *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol. 147, no. 2, pp. 587–592, 2010.
- [40] J. N. Nirmala, A. Kumaravel and M. Chandrasekaran, "Stearic acid modified glassy carbon electrode for electrochemical sensing of parathion and methyl parathion." *Journal of Applied Electrochemistry*, c. 40, pp.1571–1574, 2010.
- [41] J. Gong, X. Miao, H. Wan, and D. Song, "Facile synthesis of zirconia nanoparticles-decorated graphene hybrid nanosheets for an enzymeless methyl parathion sensor," *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol. 162, no. 1, pp. 341–347, 2012.
- [42] H. L. Tcheumi, I. K. Tonle, E. Ngameni, and A. Walcarius, "Electrochemical analysis of methylparathion pesticide by a gemini surfactant-intercalated clay-modified electrode," *Talanta*, vol. 81, no. 3, pp. 972–979, 2010.
- [43] X. Tian, L. Liu, Y. Li, C. Yang, Z. Zhou, Y. Nie, and Y. Wang "Nonenzymatic electrochemical sensor based on CuO-TiO₂ for sensitive and selective detection of methyl parathion pesticide in ground water," *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol. 256, pp. 135–142, 2018.
- [44] L. Zhao, F. Zhao, and B. Zeng, "Electrochemical determination of methyl parathion using a


- molecularly imprinted polymer-ionic liquid-graphene composite film coated electrode,” *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol. 176, pp. 818–824, 2013.
- [45] Z. Wang, B. Ma, C. Shen, and L. Z. Cheong, “Direct, selective and ultrasensitive electrochemical biosensing of methyl parathion in vegetables using *Burkholderia cepacia* lipase@MOF nanofibers-based biosensor,” *Talanta*, vol. 197, pp. 356–362, 2019.
- [46] G. H. S. Rodrigues, C. M. Miyazaki, R. J. G. Rubira, C. J. L. Constantino, and M. Ferreira, “Layer-by-Layer Films of Graphene Nanoplatelets and Gold Nanoparticles for Methyl Parathion Sensing,” *ACS Applied Nano Materials*, vol. 2, no. 2, pp. 1082–1091, 2019.
- [47] R. Xue, T. F. Kang, L. P. Lu, and S. Y. Cheng, “Immobilization of acetylcholinesterase via biocompatible interface of silk fibroin for detection of organophosphate and carbamate pesticides,” *Applied Surface Science*, vol. 258, no. 16, pp. 6040–6045, 2012.



Düzce University Journal of Science & Technology

Review Article

Analysis of Energy Supply, Installed Power and Renewable Capacity in the World, the EU and Turkey

 Ali Naci ÇELİK^{a,*}

^a Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Bolu Abant İzzet Baysal University, Bolu,
TURKEY

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

DOI: 10.29130/dubited.827250

ABSTRACT

In the present study, a review of energy structure of the world, the European Union and Turkey are carried out, by giving a specific emphasis to the development of renewable energy. The global primary energy use reached 13865 Mtoe as of 2018. Today, more than 80% of the energy currently used in the world is still provided from fossil based non-renewable energy resources, the main energy resources being oil, coal and natural gas, with the shares 32%, 27% and 22%, respectively. In the years after 1973 oil crisis, renewable energy emerged as a potential source for contributing to the global energy production. The installed capacity of renewable energy (excluding hydro) reached 1180 GW globally as of 2018 that corresponds to an increase of 8% compared to the previous year. Amongst the renewable resources, wind holds the largest share with 563.7 GW, corresponding to 47.8% of the installed renewable capacity. Wind is closely followed by solar PV with 480.4 GW, constituting 40.7% of the total installed power of renewable energy. The total installed capacity of bioenergy (biomass, biofuels, and biogas) is 103.1 GW, corresponding to 8.7%. The global capacity of hydroelectric power was realized as 1127 GW as of 2018. Total of 1668.1 TWh electricity was generated in the world in 2018 by the renewable resources including wind, solar, geothermal, tide, wave and ocean.

Keywords: Global Energy Supply, Installed power capacity, Renewable capacity, Wind Energy, Solar energy, World, European Union, Turkey

Dünya, Avrupa Birliği ve Türkiye'nin Enerji Arz, Kurulu Güç ve Yenilenebilir Kapasitelerinin Analizi

ÖZET

Bu çalışmada, yenilenebilir enerjiye özel bir önem verilerek kaydıyla dünya, Avrupa Birliği ve Türkiye'nin enerji yapısının bir değerlendirilmesi yapılmaktadır. Küresel birincil enerji arzı 2018 yılı itibarıyla 13865 Mtoe'ye ulaşmıştır. Bugün dünyada kullanılan enerjinin %80'den fazlası halen fosil bazlı yenilenemeyen enerji kaynaklarından sağlanmakta olup, temel enerji kaynakları sırasıyla %32 petrol, %27 kömür ve %22 doğalgaz olarak gerçekleşmektedir. Yenilenebilir enerji, 1973 petrol krizini izleyen yıllarda küresel enerji üretimine katkı sağlama potansiyeli olan bir kaynak türü olarak görülmeye başlanmıştır. Hidrolik enerji hariç, kurulu yenilenebilir enerji gücü bir önceki yıla göre %8'lik bir artış ile 2018 yılı itibarıyla dünyada 1180 GW'a ulaşmıştır. Yenilenebilir kaynaklar arasında rüzgar, toplam kurulu yenilenebilir kapasitenin % 47.8'ine karşılık gelen 563.7 GW ile en büyük paya sahiptir. 480.4 GW kurulu güç ile rüzgarı takip eden PV, dünya çapında kurulu yenilenebilir enerji gücünün % 40.7'sini oluşturmaktadır. Toplam kurulu biyoenerji kapasitesi (biyokütle, biyoyakıtlar ve biyogaz) 103.1 GW ile toplamda %8.7'lik bir oranı teşkil etmektedir. Küresel hidroelektrik kurulu gücü 2018 yılı itibarıyla 1127 GW'a ulaşmıştır. Dünyada 2018 yılında, rüzgar, güneş, jeotermal, gelgit, dalga ve okyanus gibi yenilenebilir kaynaklarla toplam 1668.1 TWh elektrik üretimi gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Global enerji arzı, Kurulu güç kapasitesi, Yenilenebilir kapasite, Rüzgar enerjisi, Güneş enerjisi, Dünya, Avrupa Birliği, Türkiye

I. INTRODUCTION

Energy need of humanity both as a whole and also as individual countries continues to increase regularly and as a result global primary energy supply and consumption increase steadily. In order to meet the continuously increasing global energy demand, the infrastructure to convert various forms of energy has to be increased proportionately, including the electricity generating capacity.

Historically, the global primary energy use was 486 Mtoe in 1800, of which 478 Mtoe was biomass and the rest was coal [1]. As of 1900, the global primary energy supply increased to 1100 Mtoe, biomass and coal contributing almost equally to the total amount. Fossil fuels being the major contributors, the present primary energy use has increased nearly 30 times since the 1800s. The global primary energy use reached 13865 Mtoe as of 2018, particularly accelerating in 1950s [2]. Despite bioenergy falling to around 10% of global primary energy today, however, its annual consumption grew from 478 Mtoe in 1800s to around 1194 Mtoe today.

Until 1950s, biomass and coal were the predominant energy resources. The electricity was also predominantly produced by biomass and coal historically. As well as the biomass and coal, starting from the 1950s, oil, natural gas and hydropower started to make a significant contribution for meeting the global energy demand and their use has been increasing steadily. With the advance of nuclear energy engineering, developed countries started building nuclear power stations in 1970s.

In the years following the 1973 oil crisis, which was caused by a series of political and economic reasons of the period, the efforts made to find new energy sources/conversion technologies as alternative to the fossil fuels increased rapidly and renewable energy emerged as a potential source for contributing to the global energy production. In the years following, as a result of the developments in renewable energy conversion technologies, the share of renewable energy started to increase steadily over the years in the world. On the other hand, the reason for this increase can be regarded as the countries' re-evaluation of their energy policies in line with the advance of renewable energy technologies and also due to various other reasons such as the rising energy demand, fuel prices and environmental concerns.

The orientation towards renewable energy was further encouraged by the environmental problems due to global warming. Rise in the global fossil fuel consumption has led to the phenomenon of global warming that has in turn upset the ecological balance of the earth [2]. Global warming and the related environmental problems have rendered it impossible to evaluate the fossil fuel consumption as just an energy-related problem. Therefore, the focus of search for new energy sources to replace fossil fuels was concentrated on renewable energy sources primarily, solar, wind, geothermal, bioenergy and wave energies and hydrogen as an energy vector. As a result of intense investments and the resulting research programs and projects, especially in developed countries, the technologies of such renewable energy systems experienced a rapid development in the past decades. The importance of renewable energy systems is expected to continue in the medium and long terms [3].

Today, however, more than 80% of the energy currently used in the world is still provided from fossil based non-renewable energy sources. The main energy sources are oil, coal and natural gas with the shares 32%, 27% and 22%, respectively [4]. The global primary energy consumption grew at a rate of 2.9% in 2018, while the supply of renewable energy grew by 71 Mtoe in the same year, corresponding to 14.5% increase compared to the previous year. Wind energy generation increased from 1128 TWh to 1270 TWh, growing by 12.6% in 2018, providing approximately 45% of the renewables growth in that year. Solar energy generation grew by 29%, increasing from 453.5 TWh to 584.6 TWh [5]. The developing countries, including China, India and other Asian countries, account for nearly half of this substantial growth rate in renewable power generation [3]. It is projected that the share of renewable sources in the global primary energy will reach around 15% by 2040 from 4% today [3].

Turkey's high rate of economic growth leads to equally high rate of increase in the primary energy production and consumption [6]. This also equally translates into increase in Turkey's power generation

capacity, mainly electricity. However, Turkey has only limited indigenous fossil fuel reserves, meaning that the amount of fossil fuel import has to increase to be able to satisfy the deficit of energy. As a result of this imbalance between the fossil fuel production and consumption, Turkey should turn to alternative energy sources, mainly to renewable energy sources, solar and wind energies being the main candidates.

II. WORLD ENERGY STATISTICS

Together with the increase in population, the acceleration of industrialization in the past century led to an exponential growth in energy consumption. While the world population was 1.6 billion in 1900s, the total primary energy consumption was approximately 1100 Mtoe [7]. In 2000s, the world population increased by 3.8 times to 6 billion, meanwhile, primary energy consumption increased by 8.5 times to 9285 Mtoe [8]. While 8089 Mtoe of this energy was met from fossil resources such as oil, natural gas and coal, the remaining 610 Mtoe was met from hydraulic energy and 584 Mtoe from nuclear energy [7,8]. The global primary energy supply between 2008 and 2018 are presented in Figure 1. As can be seen in Figure 1, the global consumption of primary energy increased to 13865 Mtoe as of 2018, growing 2.9% compared to the previous year [3,5,9]. From Figure 1, except for a decrease in 2009, the global energy supply increased steadily between the years from 2008 to 2018. The annual average growth rate of the global energy supply was %1.7, taking into account the years from 2008 to 2018.

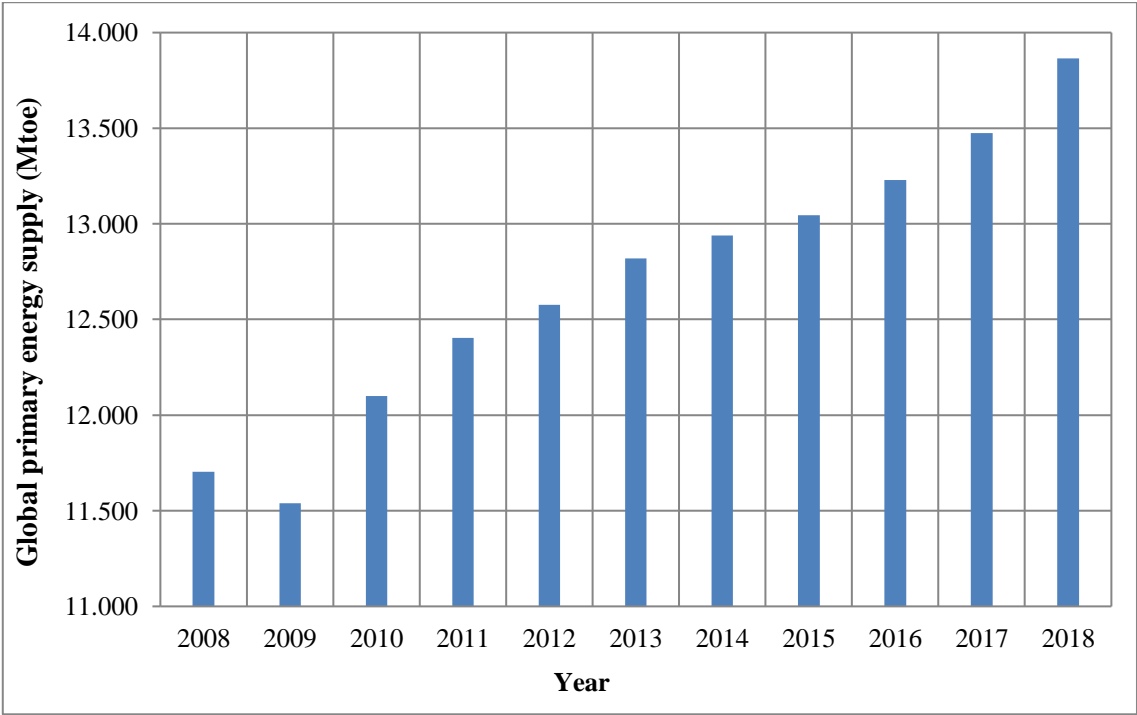


Figure 1. Global primary energy supply between 2008 and 2018 [5].

Primarily led by China and India, the vast majority of the increase in power demand originates from the developing countries as the demand growth in the developed economies, including the OECD, is significantly smaller. The global energy demand is expected to increase between 20 and 35% by 2040 according to various scenarios developed by the BP. It is predicted that the developing countries will contribute most to this increase due to potential changes such as fast industrial and infrastructural developments and the increasing living standards [3]. It should be added that while countries need to increase or sustain their power generation, however, this cannot be realized without complying with restrictions stipulated by the international environmental agreements such as the Paris Agreement. Therefore, countries need to implement such policies that will enable them to achieve a low carbon footprint in the energy conversion processes. Parallel to this, according to one of BP’s scenarios named the ‘evolving transition’, it is expected that renewables and natural gas will meet as much as 85% of the

annual primary energy growth. The ‘evolving transition’ is developed based on the assumption that the dynamics behind the energy policies such as the government policies, technologies and societal preferences will continue as before [10]. It should be noted that the ‘evolving transition’ takes a more moderate view compared to the other scenario of BP namely “rapid transition”. On the other hand, the latter assumes a more aggressive transition to a low carbon era by swiftly adopting actions required such as the incentives, tariffs, and investments in such clean technologies [3].

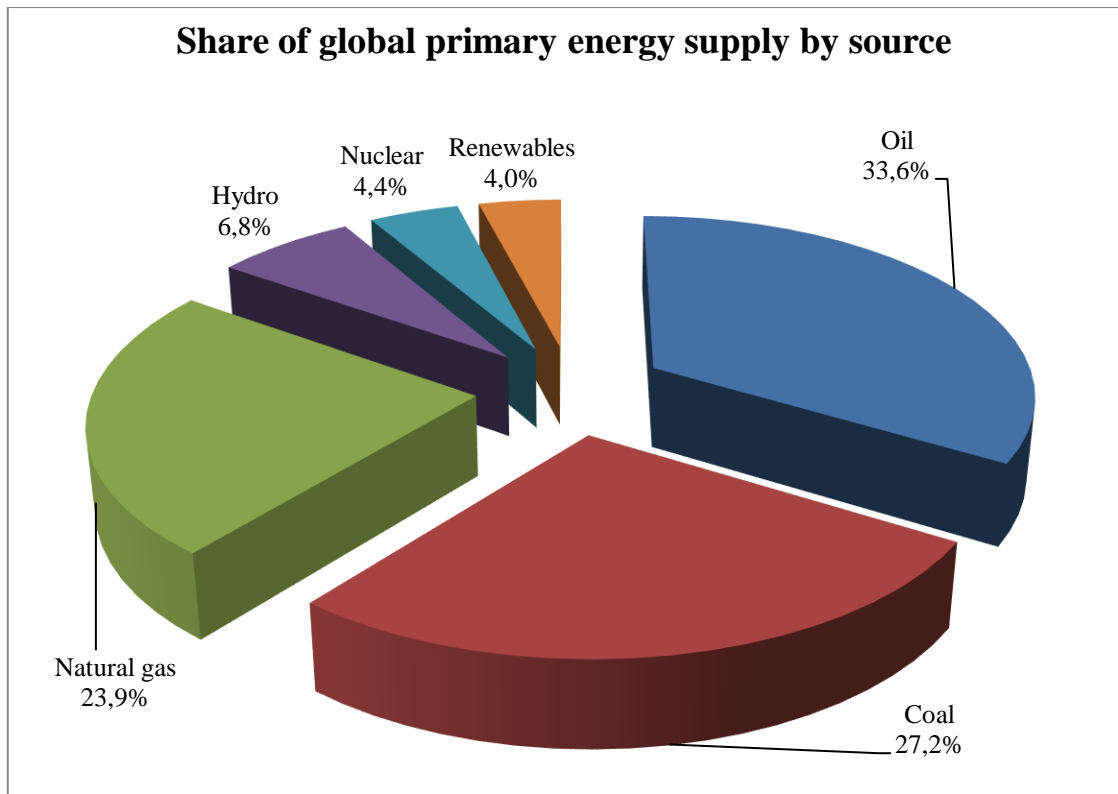


Figure 2. Source shares of primary energy supply for 2018 in the world [5].

The distribution of the global primary energy supply by source is given in Figure 2. As it is shown in Figure 2, in today's world, oil, natural gas, and coal are still notably dominant, constituting 84.7% of the primary energy consumption in 2018. According to the source shares of primary energy supply in Figure 2, oil has the largest share with a ratio of 33.6% [5]. It is followed by coal with 27.2% and natural gas with 23.9%. These data verify that fossil fuels will continue to dominate the energy balances for years to come. China, which is the most populous country in the world, has seen a big growth in its energy supply/consumption due to rapid industrialization. China consumes 23.6% of the world's primary energy source alone corresponding to 3273.5 Mtoe. China is followed by the USA with 2300.6 Mtoe, which corresponds to 16.6% [5].

The global installed power capacity is around 7150 GW as of 2018 [11]. The source with the highest installed power is coal with approximately 2100 GW of global capacity, followed by natural gas with about 1750 GW capacity. Hydro sources, renewables, oil and nuclear energy have a global installed power capacity of 1270 GW, 1181 GW, 450 GW and 392 GW, respectively. The global electricity generation is currently 26614.8 TWh of which 11233.6 TWh is produced in OECD countries. Except for a 0.8% decrease in 2009 compared to the previous year, the average growth in the global annual electricity generation is 3.1% between the years 2008 and 2018. Between the same years, the total growth was 30.3% from 20433.3 TWh in 2008 to 26614.8 TWh in 2018. As of 2018, 10100.5 TWh of the total generation was by coal, corresponding to 38.0%. This is followed by natural gas with 23.2%. Hydro sources contribute 15.8% to the global electricity generation. Nuclear energy and the renewables contribute 10.1% and 9.3%, respectively, while the oil and the others have a share of 3.6%.

A. GLOBAL RENEWABLE ENERGY STATISTICS

One of the main motives of countries' preference towards renewable energy is the global warming. This is shown as the reason as to why renewable energy will have to provide most of the world's energy in future. It has been argued that a figure of 350 ppm for CO₂ in the atmosphere is considered as the safe 'planetary boundary' [1]. However, it was reported that the atmospheric concentration of CO₂ has already passed 407 ppm in 2018 [12]. On the other hand, it is generally acknowledged that the frequency of occurrence of extreme meteorological events have been increasing over the past decades [12]. Taking the 400 ppm level as the safe limit, some researchers link these increasingly frequent extreme meteorological events to this high concentration of CO₂ [12].

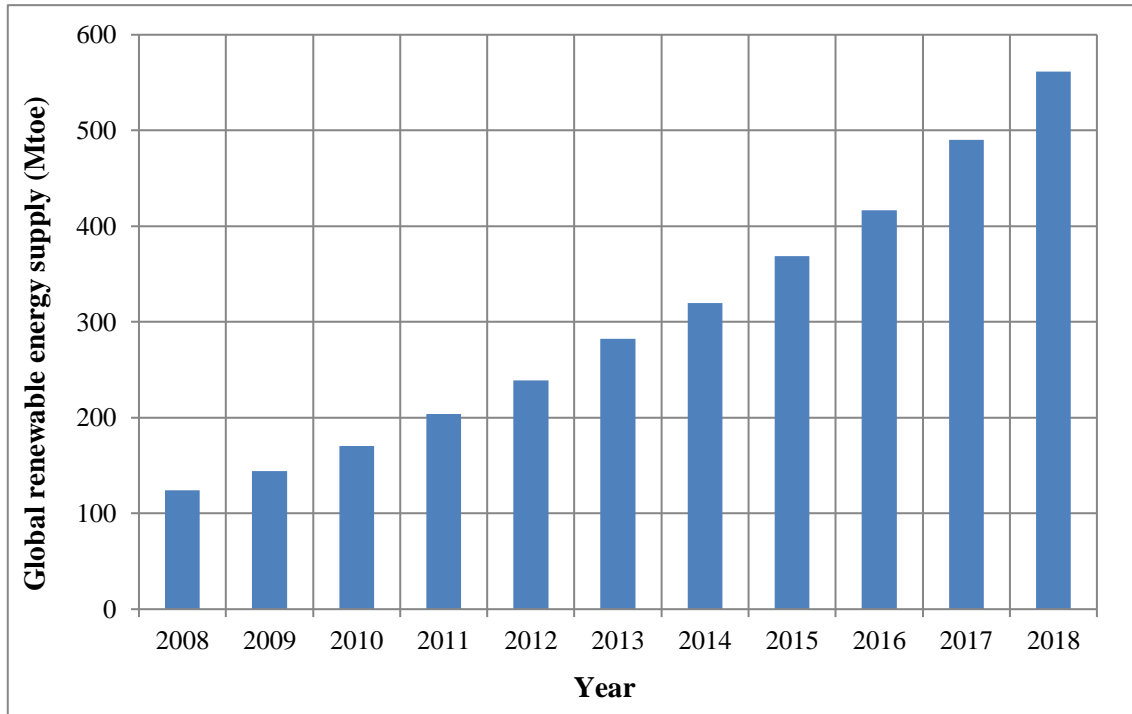


Figure 3. Global renewable energy supply between 2008 and 2018 [3,5].

As a result of the developments in renewable energy conversion technologies and countries' preference due to global warming, the share of renewable energy has been increasing steadily in recent years. As given in Figure 3, by the end of 2018, total renewable energy supply including wind and solar was 561.3 Mtoe [5]. In 2018, the renewable energy supply increased by 14.5% compared to the previous year [5,9]. The annual average increase in the renewable energy supply between the years 2008 and 2018 was 16.3% [5,13]. Regarding the renewable energy supply by country, China leads with 143.5 Mtoe as of 2018 [3,5]. It is followed by the USA with 103.8 Mtoe and Germany with 47.3 [3,5]. These figures clearly demonstrate that countries have steadily been increasing the share of renewable energy in their total energy supply.

The total installed renewable power in the world reached 1181 GW as of 2018, increasing by 8.01% compared to the previous year [3,5]. The source share of globally installed renewable electricity capacity as of 2018 is presented in Figure 4. Note that the globally installed hydroelectric power capacity was 1126 GW, which is not included in Figure 4. Amongst the renewable resources, wind holds the largest share with 563.7 GW, corresponding to 47.7% of the installed renewable capacity. In 2018, solar PV, which has the highest growth rate among all energy systems in the world, reached a capacity of 480.4 GW, corresponding to 40.7%, with an increment rate of 16% compared to the previous year [3,5]. Bioenergy has a capacity of 104.6 GW, corresponding to 8.9% of the global renewable capacity. The contribution of other renewable energy sources at the end of 2018 is as follows: geothermal was 13.3 GW and tide wave and ocean energy was 0.532 GW [3,5].

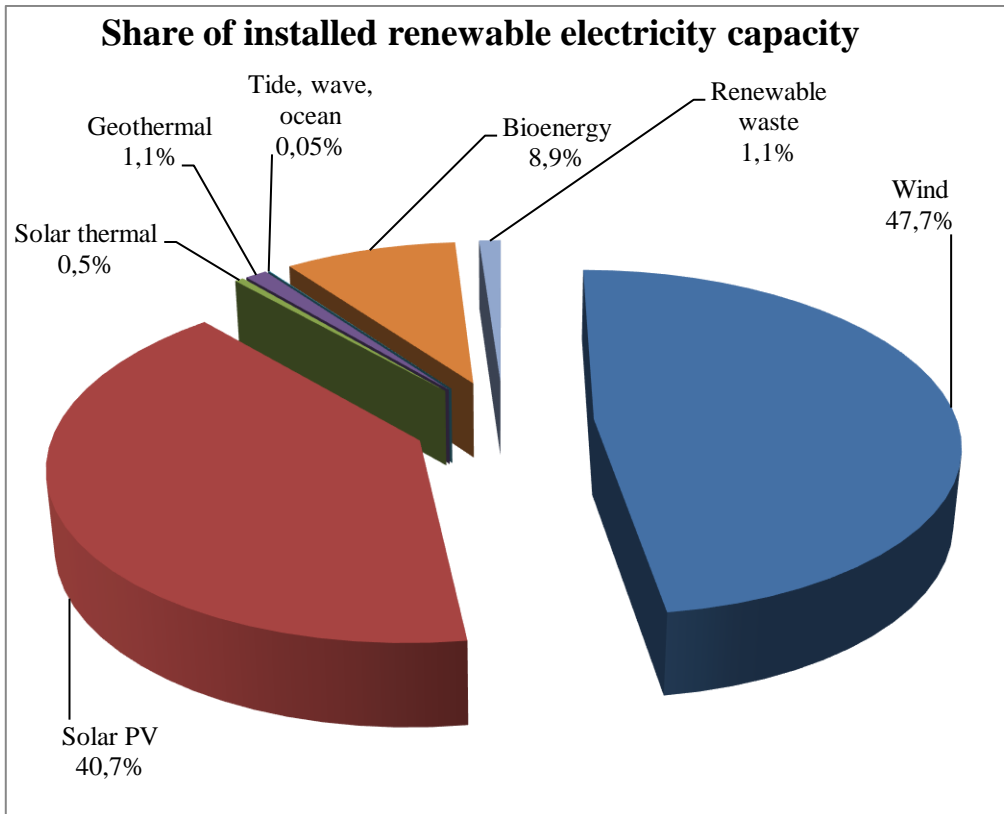


Figure 4. Source share of installed renewable electricity capacity [3,5].

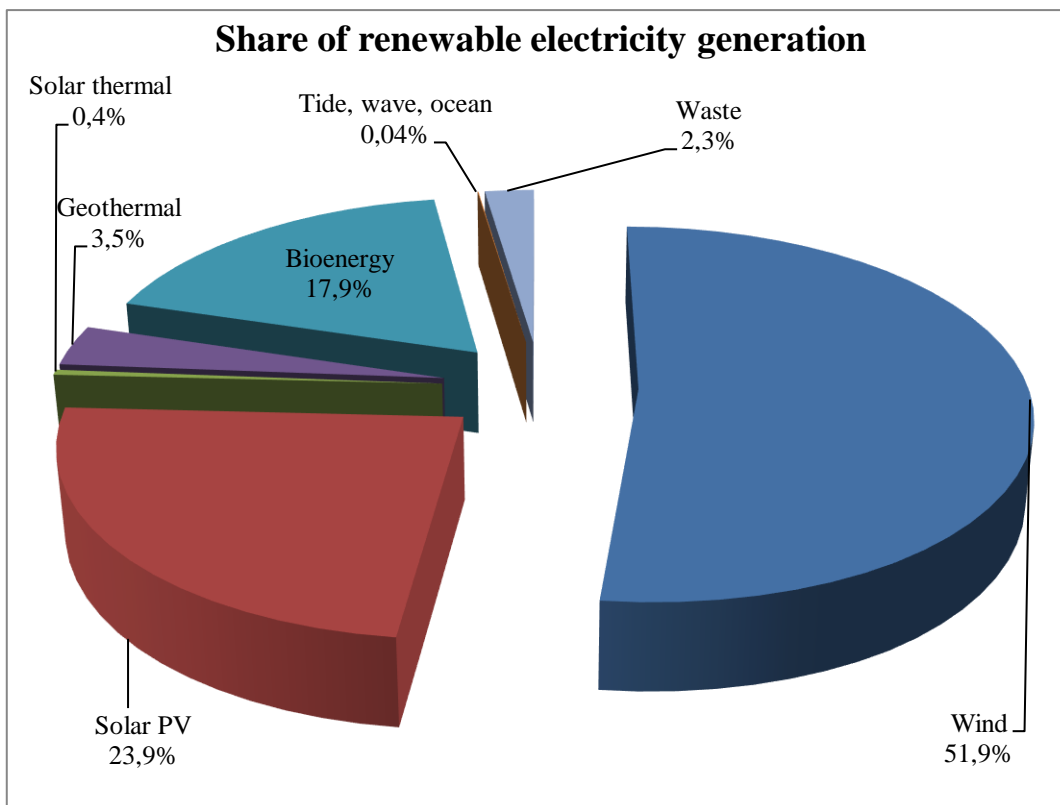


Figure 5. Source share of global renewable electricity generation in 2018 [3,5, 13].

Source share of global renewable electricity generation in 2018 is given in Figure 5. Total of 2447 TWh electricity was generated in the world in 2018 by the renewable resources including wind, solar PV and thermal, geothermal, bioenergy, waste and tide, wave and ocean. Electricity generated globally by hydro resources reached 4197.3 TWh in the same year. As seen in Figure 5, nearly two thirds of the energy was generated by wind, amounting to 1270 TWh globally.

Electricity generation increased by 3.7% in 2018 compared to the previous year, China alone accounting for more than half of the growth, India and the US also contributing significantly. Renewable sources met one third of the increase in this year. In this year, 45% of this global renewable electricity generation growth came from China, which accounted for a higher contribution than that of the OECD [3,5]. Renewable electricity was closely followed by the electricity generated by coal (31%) and natural gas (25%). With this increase, the cumulative portion of renewable electricity rose from 8.4% to 9.3%. Overall, however, coal continued to dominate its position cumulatively with 38% [5].

As shown, the statistics indicate that the renewables, dominated by the wind and solar, are significantly increasing their share when compared to the other energy sources of coal, nuclear and hydro. This clearly shows the inclination towards a more renewable future. In fact, even according to the moderate ‘evolving transition’ scenario of BP, with the present annual growth rate of 7.6%, renewable electricity will make up a portion of two thirds of the increase in the global electricity generation so that, by 2040, it will take the lead as the electricity generation technology. In contrast, the share of fossil fuels in the global electricity generation will decline; coal, for example, will be overtaken by renewables as the main source of electricity by 2040 [3,5].

A. 1. Global Installed Photovoltaic Capacity

At the end of 2018, the world's total renewable energy capacity excluding hydro reached 1179.15 GW [3]. Of the total capacity 480.4 GW was the PV power [5]. As of 2018, solar PV power constitutes 40.7% of the total installed power of renewable energy worldwide [5]. 263 GW of the total 480.4 GW installed power across the globe is on the Asian continent [12]. China has the largest installed PV power of this continent with 175 GW [13]. Japan follows China with an installed power of 55.5 GW [13]. These two countries make use of their solar energy potential effectively. Asia is followed by Europe with an installed power of 115.3 GW, excluding Turkey [5]. Moreover, the total installed power of the EU countries is almost equal to that of Europe. Germany is the country that has the highest installed capacity in Europe with a total installed capacity of 45.2 GW [5]. America has the third largest installed power with approximately 74 GW, constituting nearly one fifth of the global capacity [5]. The largest installed power in this continent is the United States with 62.2 GW [5]. The global PV electricity generation reached 443.6 TWh as of 2018, corresponding to 26.6% within the renewable resources.

A. 2. Global Installed Wind Capacity

Wind energy has been one of the fastest growing energy conversion systems in the world in the past few decades. The global wind electricity generation increased over 12 fold from 104 TWh to 1270 TWh between the years 2005 and 2018. It is argued that if the present momentum is conserved and the renewable energy transition and wind energy diffusion continue to increase worldwide, wind energy will be responsible for savings of nearly 23 billion tonnes of CO₂ by 2030, in addition to other benefits such as the creation of millions of new jobs [14].

The global installed wind capacity was 514.9 GW at the end of 2017, generating a total of 1127 TWh of electricity. The installed capacity reached 591 GW at the end of 2018, the electricity generated reaching 1270 TWh [5]. China has got far the highest installed wind capacity with 211.4 GW followed by the US with 96.7 GW as of 2018. On the other hand, in 2018, wind energy contributed most to the Danish electricity system, covering the equivalent of 40.7% of the Danish electricity consumption [15]. The installed wind capacity in Denmark rose to 5758 MW in 2018 by an increase of 5.2% from the previous year of 5475 MW.

In 2018, 7.0% of the global electricity generation and a relatively smaller part of the primary energy supply came from solar and wind [5]. If wind and solar will increase their share in the total energy supply in future, energy storage on a large scale is seen as the most important challenge to be faced, especially since most energy will be produced as electricity. Therefore, cost-effective and efficient methods for energy storage on a large scale are required such as batteries, pumped water storage, compressed air energy storage, and conversion to hydrogen, either for direct use or storage for later use [16].

III. ENERGY STATE OF THE EUROPEAN UNION

Most EU countries largely fail to meet their energy needs from their own natural resources. In 2018, the EU (EU-27) generated only 41.8% of its energy, having had to import 58.2% of its energy need [17]. Due to the fact that the EU attaches importance to the security of energy supply, they aim to increase the diversity of its energy generation sources.

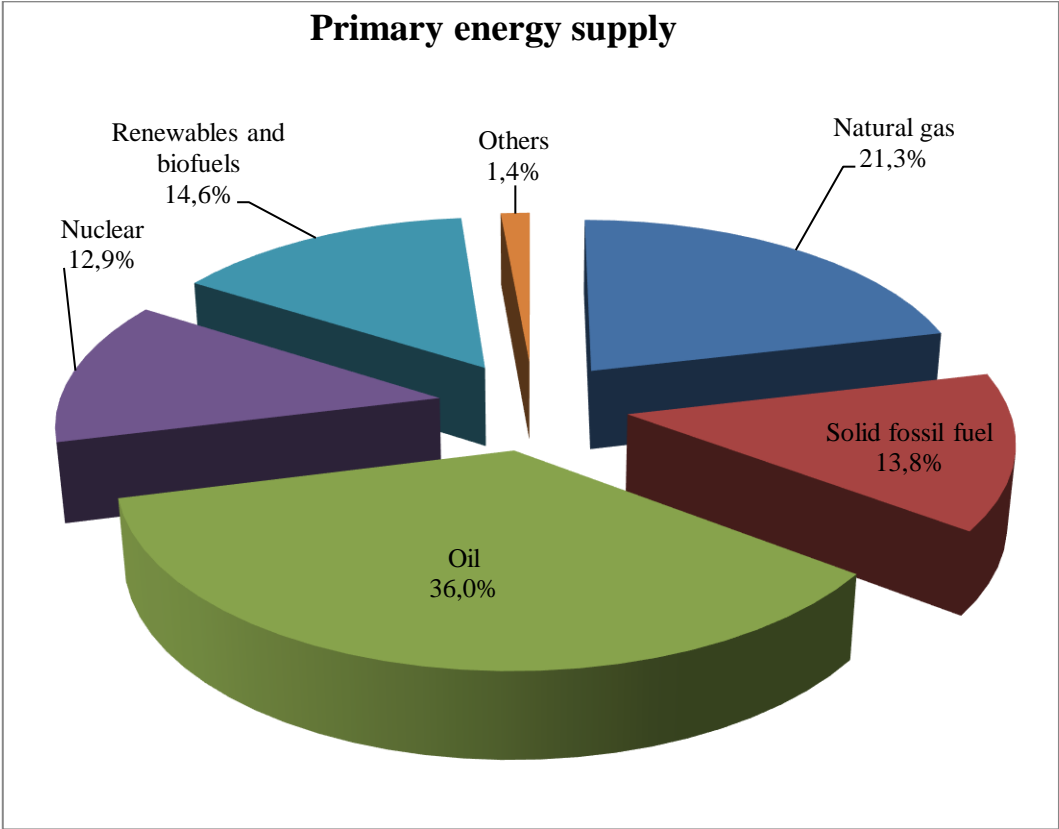


Figure 6. Share of primary energy supply of EU countries by source [18,19].

The share of primary energy supply by source in the EU in 2018 is shown in Figure 6. As of 2018, the energy portfolio of the EU largely included the following energy resources; as the primary source, petroleum products were at the forefront with 36.0%, including the crude oil. It is followed by natural gas with 21.3%, solid fossil fuels with 13.8%, renewables and bioenergy with 14.6% and nuclear with 12.9%. As for the same year, the share of fossil fuels in gross available energy in the EU was 72.5%. The share of final energy consumption by source for individual member countries varies according to their natural energy potentials [18,19,20]. The member countries having the largest share of oil within the total energy consumption are; Cyprus with the rate of 93%, Malta with 79% and Luxembourg with 63%. In Italy and the Netherlands natural gas constitute one-third of the total energy consumption. In Estonia, where fossil fuels are the main source of energy, 61% of total energy is supplied from coal. It

is followed by Poland with a rate of 49%. While nuclear power meets 42% of France's energy needs and 33% of Sweden's, Lithuania and Sweden are the countries with highest rates of renewable energy share in their total energy consumption, each with 37%.

The share of energy generation by source also varies significantly within member countries [18,19,20]. For instance, nuclear power constitutes 80% of total electricity generation in France. Regarding nuclear energy, France is followed by Belgium (75%) and Slovakia (62%). Renewable energy, which holds the second largest share in the energy generation of the EU, is the primary energy source of most member countries such that it constitutes 90% of the total primary energy generated in Malta, Latvia, Portugal, Cyprus, and Lithuania. The leading member countries generating energy from fossil fuels are Poland with the rate of 78%, Estonia with 67% and Greece and the Czech Republic with 59%, each. 83% of the energy generated in the Netherlands is by natural gas while crude oil meets a significant proportion of energy demand with a rate of 47% in Denmark.

When the types of fuel used to generate electricity in the EU are examined; it is seen that fossil fuels have a 44% share in total [18,19,20]. This is followed by renewable energy with a rate of 30% and nuclear energy of 26%. The rate of 30% for renewable energy includes the followings: hydroelectric power plants with 12%, wind power plants with 9%, bioenergy with 6%, solar power plants with 3%.

A. ENERGY IMPORTS OF THE EU

As stated before, the EU countries have to import from third countries in order to meet their energy needs. According to the 2018 figures, oil constitutes almost two thirds of the energy imports of the EU [17,21,22]. This is the most significant indicator of the fact that oil is an important energy resource across the world and also that countries cannot break oil dependence yet for some years to come. Oil is followed by natural gas with a 24% share and solid fuels with 9%.

The EU countries import the energy from various countries. For ensuring the security of energy supply, the EU countries import the same commodity from different countries at different rates [17,21,22]. The EU countries import crude oil from 11 different countries. This is a key indicator of how much EU countries attach importance to the security of supply. Russia holds the largest share with a rate of 31 % among the countries from which EU countries import oil [21]. Russia provides 30% of the solid fuel imports of the EU, being the largest importer of natural gas and solid fuel to the EU countries [22]. In spite of the strong mindset for the security of energy supply, it is clear that the EU is hugely dependent on Russia in oil, solid fuel, and natural gas supply [21,22]. The second largest share of energy exported to the EU is held by Norway. Norway has a significant share of oil and natural gas imports to the EU countries. The dependence on energy imports has increased by almost 50% in the EU since 2000 [20]. The dependence on energy imports also differs for individual member states within the EU. For instance, while imports are about 90% in Malta, Luxembourg, and Cyprus, it is less than 20% in Denmark and Estonia [17].

B. ENERGY CONSUMPTION OF THE EU

Around two-thirds of the energy is consumed by end users in the EU countries [23-26]. This two-thirds rate includes electricity which is mostly used in dwellings and industry. When the ultimate energy consumption shares of the EU countries are examined closely, it is seen that the sectoral consumption shares are as follows: the industry with 31%, transportation with 28%, housing with 25%, services with 13% and agriculture and forestry with 2%. The remaining includes mainly the transmission loss.

Oil constituted nearly one-third of the total energy consumption of the EU countries in 2018 [25]. In Cyprus, Malta, and Luxembourg, the petroleum products met more than 60% of their total energy consumption. The countries of which shares of renewable energy exceeded 20% of the total ultimate consumption were Latvia, Finland, and Sweden.

C. RENEWABLE ENERGY CAPACITY AND DEVELOPMENT IN THE EU

Despite the fact that the energy consumption of the EU countries is largely dependent on fossil fuels, however, there is a strong will and intense effort for the development of renewable energy to increase its share in energy consumption. This is substantiated by the fact that the renewable energy share in total energy consumption in the EU nearly doubled from 8% to 15% between the years 2000 and 2018 [19]. During this period, 15 member countries doubled their renewable energy share. The EU aims that the share of renewable energy in total energy consumption is 20% by 2020 [13]. However, this target rate varies amongst the EU member states. For instance, Sweden provides 53.8% of its energy consumption from renewable resources and has already achieved the 2020 target [20]. Similarly, Finland follows Sweden by a rate of 38.7% and has also reached its 2020 target [20]. The share of renewable energy in total energy consumption is 5.4% in Luxembourg, having the lowest share among the EU countries [19]. This difference within the renewable energy generation amongst the EU member states is largely caused by the share of hydroelectric power plants [20].

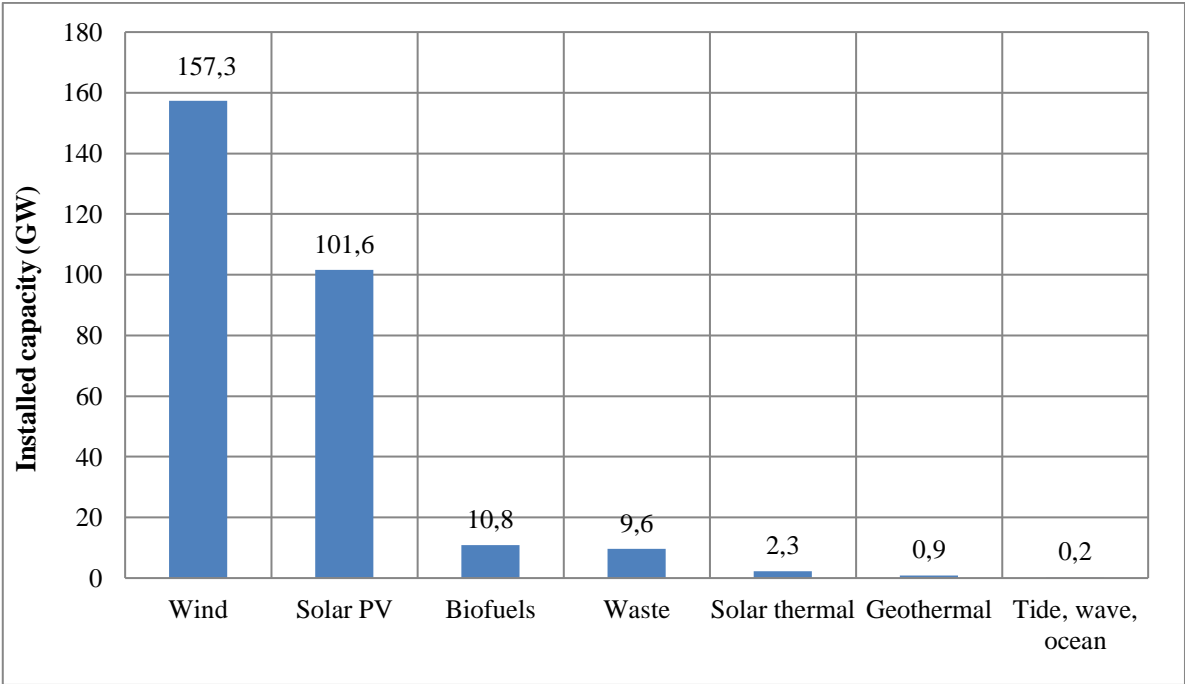


Figure 7. Installed renewable energy capacity of the EU by source [27].

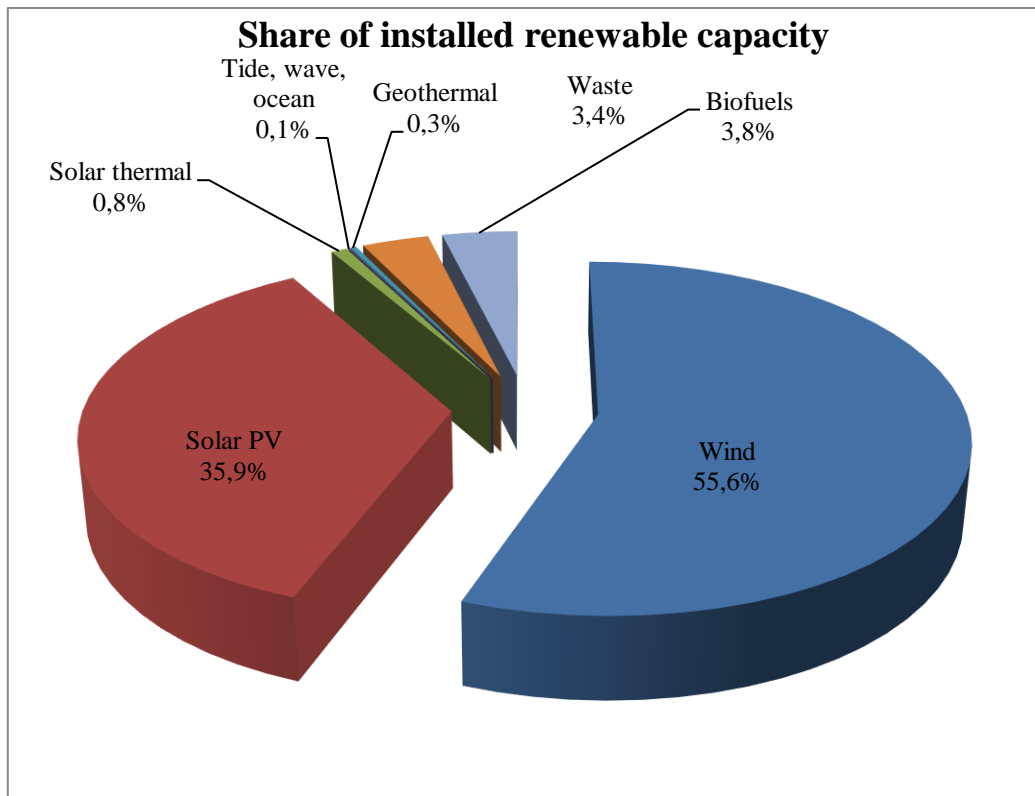


Figure 8. Share of installed renewable energy capacity of the EU by source [27].

The installed renewable energy capacity in the EU as of 2018 is presented in Figure 7 by source. The share of installed renewable energy capacity by source in the EU is given in Figure 8 for the same year. As of 2018, the installed renewable energy capacity in the EU reached 282.7 GW, excluding hydroelectric power capacity. As seen in Figure 7, the wind power is leading, having the largest share of renewable energy capacity in the EU with 157.3 GW. The total installed solar PV capacity reached 101.6 GW by the end of 2018 in the EU, corresponding to more than one-third of the total installed renewable capacity. From Figure 8, wind power systems have the largest share within the renewable systems with 55.6%, followed by the solar PV with 35.9%. Bioenergy and waste have 10.8 GW and 9.6 GW of installed capacity, each corresponding to 3.8% and 3.4% share in the installed renewable power in the EU. Tide, wave and ocean and geothermal have miniscule amounts of power capacities. The EU's leading position in terms of the penetration of renewables within the total power capacity is expected to continue as the share of renewables in the EU power market is predicted to reach 50% by 2040 [3].

IV. TURKEY'S ENERGY STRUCTURE

Turkey's net energy import was 443 billion USD between the years 2006 and 2017 period. Of which, 149 billion USD, corresponding to 30%, was spent on the electric power production using fossil fuels [28]. Even though Turkey has got relatively high potential of wind and solar energy, however, it was unable to exploit this potential fully. As was given above, although Turkey imported billions of USD worth of fossil fuel for electricity generation, however, it was using 13% of its 49 GW of economical wind power potential and only 1.3% of its 254 GW solar power potential as of the end of 2017 [28]. It is obvious that for Turkey in order to lessen the burden of energy import on its budget deficit and avoid the potential economic risks, it must take the necessary steps to systematically reduce its dependency on imported fossil fuel. For not having enough indigenous fossil reserves, Turkey must adopt a more aggressive energy policy to make a better use of its high potential of wind, solar and other renewable energy resources.

The annual total energy supply of Turkey was 153.5 Mtoe in 2018, oil being the largest contributor with 48.6 Mtoe [5]. Turkey's energy supply declined 0.7% in 2013 compared to the previous year. Except

for this decrease, the average growth in the total energy supply of Turkey was 4.2% between the years 2008 and 2018. Between these years, the total growth is 52.3% from 100.8 Mtoe in 2008 to 153.5 Mtoe in 2018. Between 2008 and 2018, the highest growth rate was in 2014 with 9.4%. As of 2018, almost one third of the total energy supply of Turkey was by oil (31.6%). Coal contribution corresponded to 26.5% with 42.3 Mtoe. This is followed by natural gas with 40.7 Mtoe with a share of 23.2%. Hydro sources contributed 8.8% to the energy supply of Turkey. Renewables contributed 8.5 Mtoe with a share of 5.5%.

A. INSTALLED POWER

The development of installed power in Turkey by years is presented in Figure 9. The total installed electric power of Turkey reached 88569.0 MW as of 2018. As can be seen in Figure 9, the installed power experienced a geometric growth, nearly doubling in every ten-year period between 1976 and 2018. It is interesting to note that the installed capacity increased by a factor of 2.2 times between the years 2006 and 2018 from 40564 MW to 88569 MW. The main reasons for such a high increase in electricity demand are high rate of population and economic growth.

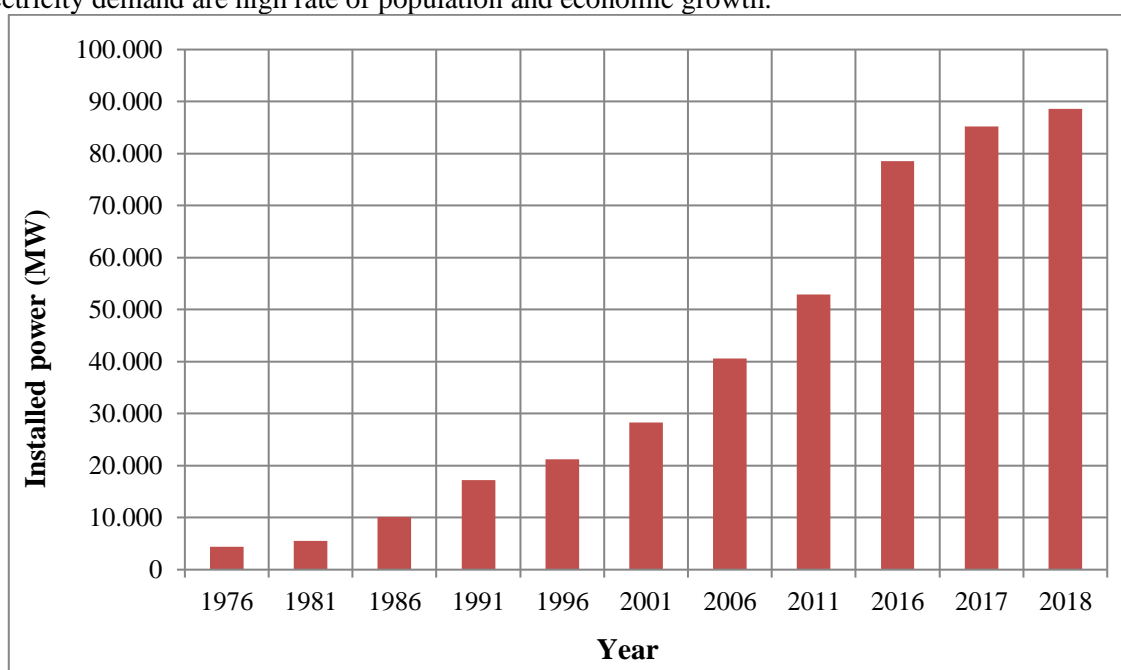


Figure 9. Development of installed power in Turkey by years [30].

Table 1. Source share of total installed power in Turkey from 2016 to 2018 [30,31].

Installed Power	Fossil Fuel	Hydroelectric	Geothermal	Wind	Solar PV	Total
2016	44411.6	26681.1	820.9	5751.3	832.5	78497.4
%	56.6	34.0	1.0	7.3	1.1	100
2017	46926.5	27273.1	1063.7	6516.2	3420.7	85200.2
%	55.1	32.0	1.2	7.60	4.0	100
2018	46970.0	28248.0	1282.0	7005.0	5064.0	88569.0
%	52.9	31.9	1.5	8.0	5.7	100

The source share of total installed power in Turkey from 2016 to 2018 is given in Table 1. The installed capacity increased by a factor of 12.8% between the years 2016 and 2018 from 78497 MW to 88569

MW. As of 2018, the fossil fuel power plants, including natural gas, coal, biofuel and fuel oil constituted more than half of the installed power in Turkey. However, their share tends to decline slowly in recent years, from 56.6% in 2016 to 52.9% in 2018. The largest share belongs to natural gas power plants within the fossil fuel power plants with 26568 MW, corresponding to 56.7% within this category. Fossil fuel based power plants are followed by the hydroelectric power plants, which represent almost one third of the installed power in Turkey. Wind power continues its gradual rise while solar PV plants experienced an exponential growth increasing nearly 6 times within 3 years, finally reaching 5064 MW at the end of 2018.

B. GENERATION OF ENERGY

The annual electricity generation of Turkey between 2006 and 2018 is given in Figure 10. In 2018, gross electricity demand increased by nearly 3% in Turkey compared to the previous year and reached 304200 GWh. In response to this demand, while total national production was 303625 GWh; 2477 GWh electricity was imported to meet the energy deficit in 2018. Turkey imported electricity from neighbouring countries; Bulgaria with 2051 GWh, Georgia with 494 GWh, Turkmenistan with 161 GWh and Greece with 0.5 GWh [32]. The electricity generation increased by 72.2% between the years analysed in Figure 5. Electricity generation by resource and their share in total electricity generation in Turkey as of 2018 are presented in Table 2. It is seen that a major share of the electricity generation belongs to fossil fuel based power stations with 69%, corresponding to 209605 GWh. The largest share is produced by coal fired power stations with 113249 GWh, corresponding to 37% in total generation. Hydroelectric power stations generate 19.7% of the total electricity, corresponding to 59755 GWh.

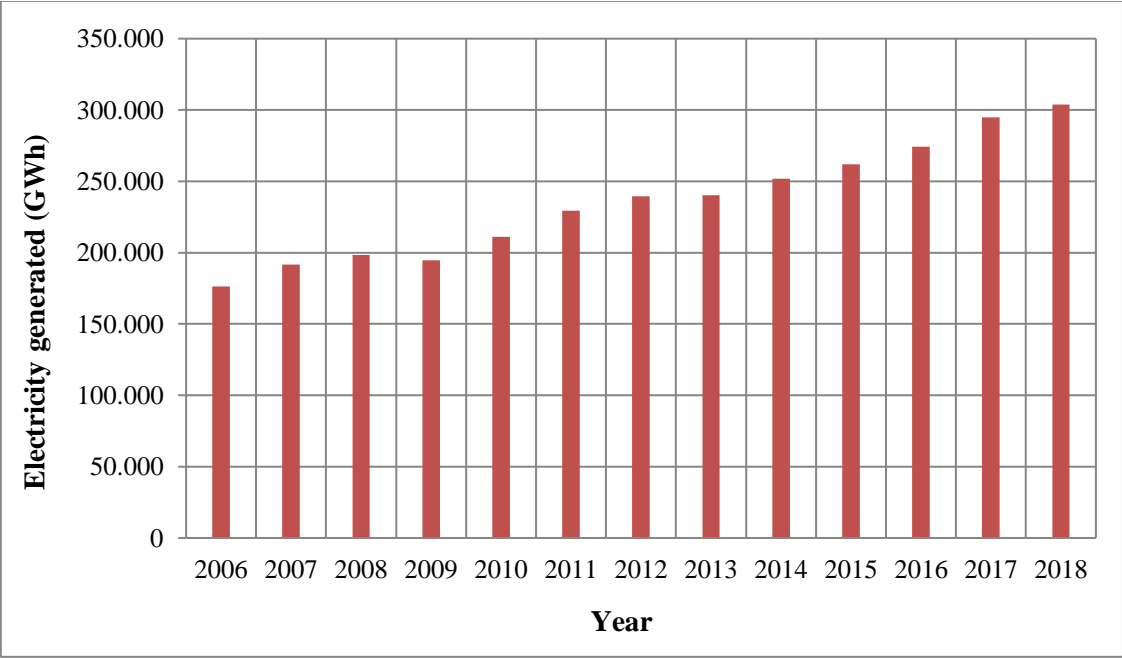


Figure 10. Annual electricity generation of Turkey between 2006 and 2018 [32].

Table 2. Electricity generation by resource and their share in total electricity generation in Turkey as of 2018 [32].

Resource	Electricity generation (GWh)	Contribution (%)
Fossil Fuel	209605	69.0
Hydro	59755	19.7
Geothermal	6906	2.3
Wind	19882	6.5
Solar PV	7477	2.5
Total	303625	100

The number of renewable-based power stations and their installed capacities are presented in Table 3 for Turkey as of 2018. According to this table, within the renewable category, hydroelectric power stations have both the highest number and also present the largest installed capacity with 641 stations and 28248 MW. In terms of the installed capacity, hydroelectric stations are followed by wind power stations with a total installed capacity of 7005 MW.

Table 3. Number of renewable-based power stations and their installed capacities for Turkey as of 2018 [31,33].

Resources	Number of Facilities	Installed Capacity (MW)
Hydroelectric	641	28248
Wind	192	7005
Geothermal	48	1303
Biomass, biogas,	100	646
Solar PV	564	5064

As per the targets for 2023 in Turkey, the expansion of renewable energy in the electricity sector has been planned within the framework of "National Renewable Energy Action Plan" as given in Table 4. It is interesting to note that for solar PV the 2023 target of 5000 MW has already been achieved as of 2018. The same is also true for the biomass. It is realised that the largest gap is for the wind energy, where the deficiency is nearly twice that of the present installed capacity. Therefore, in order for Turkey to reach the targets set for 2023, the efforts should be increased significantly.

Table 4. The installed capacity targets for 2023 by source according to Turkey's "National Renewable Energy Action Plan" [34,35].

Resource	Installed Capacity Targets (MW)
Hydro	34000
Wind	20000
Geothermal	1000
Biomass	1000
Solar	5000

The predicted annual electricity consumption per capita for Turkey is shown in Table 5 for various years. Note that the average electricity consumption per capita of 29 IEA member countries was 9900 kWh in 2016 while that of Turkey was about 3500 kWh. Therefore, Turkey is not expected to reach the average

of IEA members' electricity consumption per capita in the near future. In order to reach the economic level of developed countries, Turkey should aim not only to rapidly increase its electricity consumption per capita but also to increase its energy conversion efficiency [35].

Table 5. Predicted annual electricity consumption per capita for Turkey [35].

Year	Target Energy Consumption Per Year
2020	4800-5000 kWh
2023	5550-6000 kWh
2030	>7000 kWh
2040	>8000 kWh

C. PV AND WIND DEVELOPMENT

The concept of sustainability has gained a central place in many aspects of macro policies for countries, including energy policies mainly due to economic and environmental reasons. Therefore, energy policies are being revised and renewable energy technologies are increasing their presence in the future energy policies of countries throughout the world and in Turkey also. Parallel to this policy adoption in Turkey, it has been shown that the renewable electricity share has been gradually increasing over the past decade in Turkey even though the share within the total electricity generation is still relatively low with 11.3%, excluding hydroelectricity, as of 2018. However, as has been already stated, Turkey needs a faster transition to more renewable and sustainable energy infrastructure not only for a better energy security and greater diversification in the energy mix but also for a more competitive economy [29].

Due to its geographical location with relatively high solar energy, Turkey on average receives 2737 hours of solar radiation annually, corresponding to 7.5 hours of daily radiation, according to GEPA. The yearly total solar energy received in Turkey is 1527 kWh on average per unit area, being equal to a daily amount of 4.2 kWh/m² [36]. Considering the solar energy potential of Turkey, it was projected that an annual amount of solar energy equal to 380 billion kWh could be possible as a primary energy [38].

The total installed power of licensed solar plants was 12.9 MW as of 2016, increasing to 17.9 MW at the end of 2017 [31]. The installed power of unlicensed plants was 819.6 MW by the end of 2016, corresponding to 1% of Turkey's total installed power. This reached 3402.8 MW as of 2017, which was 4% of the total installed power [31,33]. Electricity generation from the solar power plants was 2430 GWh in 2017 [30]. As of 2018, the cumulative PV capacity reached 5065 MW and the total number of facilities was 564, of which 15 with license and the remaining number unlicensed. Electricity produced from the solar power systems reached 7477 GWh by the end of 2018 [31].

The principal reasons that the number of licensed solar power plants is just a fraction of the number of unlicensed plants in Turkey are as follows: bureaucratic difficulties in obtaining a license, length of the processes for permits and bureaucratic transactions, costs, lack of coordination between the institutions involved, and difficulties encountered while collecting the fees of surplus electricity sold to the distribution companies. Licensed electricity generation is an important production instrument in terms of energy development and policy for Turkey due to the fact that the producer is in an advantageous position in terms of electricity sales prices, and it is a promising investment thanks to the open price system or YEKDEM price regulation.

With regard to the wind energy development, the cumulative wind capacity reached 7005 MW as of 2018 in Turkey. This is 8% of the total installed power of Turkey and only 14% of Turkey's technical wind power potential of 49 GW [28]. The highest annual installation took place in 2016 with 1388 MW. The amount of electricity produced from wind was 19882 GWh in 2018, corresponding to a ratio of 6.5% of the total electricity generation of Turkey. The installed wind energy capacity grew almost 20 fold between the years 2008 and 2018, corresponding to an average annual growth of 37% [39].

IV. CONCLUSION

Fossil fuels being the major contributors, the present primary energy use has increased nearly 30 times since the 1800s. The global primary energy use reached 13865 Mtoe as of 2018, particularly accelerating in 1950s. Nearly 80% of the energy presently used globally is still provided from fossil fuel sources. The principal fossil fuel sources are oil, coal and natural gas, with the shares 32%, 27% and 22%, respectively. Global primary energy supply grew by 390 Mtoe in 2018, while renewable energy supply by 71 Mtoe in the same year, corresponding to 2.9% and 14.5% increase compared to the previous year, respectively. Primarily led by China and India, vast majority of the increase in power demand originates from the developing countries as the demand growth in the developed economies, including the OECD, is significantly smaller. The global energy demand is expected to increase between 20 and 35% by 2040 according to various scenarios developed by the BP.

The global installed power capacity is around 7150 GW as of 2018. The source with the highest installed power is coal with approximately 2100 GW of global capacity, followed by natural gas with about 1750 GW capacity. Hydro sources, renewables, oil and nuclear energy have a global installed power capacity of 1270 GW, 1181 GW, 450 GW and 392 GW, respectively. The installed capacity of renewable energy (excluding hydro) increased 8% compared to the previous year. Amongst the renewable resources, wind holds the largest share with 563.7 GW, corresponding to 47.7% of the installed renewable capacity. Wind is closely followed by solar PV with 480.4 GW, constituting 40.7% of the total installed power of renewable energy worldwide. The total installed capacity of bioenergy is 104.6, GW, corresponding to 8.9%. The global capacity of hydroelectric power was realized as 1127 GW as of 2018. Total of 2447 TWh electricity was generated in the world in 2018 by the renewable resources including wind, solar, geothermal, bioenergy, waste and tide, wave and ocean. Wind electricity generation increased from 1128 TWh to 1270 TWh, growing by 12.6% in 2018, providing approximately 45% of the renewable electricity growth in that year. Solar electricity generation grew by 29%, increasing from 453.5 TWh to 584.6 TWh. The developing countries, including China, India and other Asian countries, account for nearly half of this substantial growth rate in renewable power generation. It is projected that the share of renewable sources in the global primary energy will reach around 15% by 2040 from 4% today.

Electricity generation increased by 3.7% in 2018 compared to the previous year, China alone accounting for more than half of the growth, India and the US also contributing significantly. Renewable sources met one third of the increase in this year. In 2018, 45% of the global renewable electricity generation growth came from China, which accounted for a higher contribution than that of the OECD. Renewable electricity was closely followed by the electricity generated by coal (31%) and natural gas (25%). With this increase, the cumulative portion of renewable electricity rose from 8.4% to 9.3%. Overall, however, coal continued to dominate its position cumulatively with 38%.

As of 2018, the energy portfolio of the EU largely included the following energy sources; as the primary source, petroleum products were at the forefront with 36.0%, including the crude oil. It is followed by natural gas with 21.3%, solid fossil fuels with 13.8%, renewables and biofuels with 14.6% and nuclear with 12.9%. As for the same year, the share of fossil fuels in gross available energy in the EU was 72.5%. When the types of fuel used to generate electricity in the EU are examined; it is seen that fossil fuels have a 44% share in total. This is followed by renewable energy with a rate of 30% and nuclear energy of 26%. The rate of 30% for renewable energy includes the followings: hydroelectric power plants with 12%, wind power plants with 9%, bioenergy with 6%, solar power plants with 3%. As of 2018, the installed renewable energy capacity in the EU has reached 282.7 GW, excluding hydroelectric power capacity. The wind power is leading, reaching the largest share of renewable energy capacity of the EU member states with 157.3 GW with a share of 55.6%. The total installed solar PV capacity reached 101.6 GW by the end of 2018 in the EU, corresponding to 35.9%. Bioenergy and waste have 10.8 GW and 9.6 GW of installed capacity, each corresponding to 3.8% and 3.4% share in the installed renewable power in the EU. Tide, wave and ocean and geothermal have miniscule amounts of power capacities. The EU's leading position in terms of the penetration of renewables within the total power

capacity is expected to continue as the share of renewables in the EU power market is predicted to reach 50% by 2040.

The total installed power capacity of Turkey reached 88569 MW by the end of 2018. It has been presented that the installed capacity showed a geometric increase, doubling in every ten-year period between 1976 and 2018. The installed capacity of Turkey rose by a factor of 2.2 times from 40564 MW to 88569 MW between the years 2006 and 2018. The fossil fuel power plants, namely natural gas, coal, biofuel and fuel oil, represent more than 50% of the installed capacity in Turkey as of 2018. The share of fossil fuel power plants decreased gradually in recent years, from 56.6% in 2016 to 52.9% in 2018. The largest share belongs to natural gas power plants within the fossil fuel power plants with 26568 MW, corresponding to 56.7% within this category. Fossil fuel based power plants are followed by the hydroelectric power plants, which represent almost one third of the installed power in Turkey. In 2018, electricity demand grew approximately 3% in Turkey in comparison to the previous year and reached 304200 GWh. It was noted that the electricity consumption per capita of 29 IEA member countries on average was 9900 kWh in 2016 while that of Turkey was about 3500 kWh. It is evident that Turkey's electricity consumption per capita is too low when compared to the IEA average. It may be deduced that the electricity consumption per capita will increase relatively rapidly in Turkey in the years to come. Regarding the renewable energy excluding hydro, wind energy leads, the cumulative wind capacity reaching 7005 MW as of 2018 in Turkey. This is 8% of the total installed power of Turkey and only 14% of Turkey's technical wind power potential of 49 GW. The installed wind energy capacity grew almost 20 fold between the years 2008 and 2018, corresponding to an average annual growth of 37%. The wind electricity generation was 19882 GWh in 2018, corresponding to 6.5% of the total electricity generation of the country. As of 2018, the installed PV capacity reached 5065 MW. The electricity generated through solar plants reached 7477 GWh in 2018.

Turkey's high rate of economic growth leads to equally high rate of increase in the primary energy production and consumption [6]. This also equally translates into increase in Turkey's power generation capacity, mainly electricity. However, Turkey has only limited indigenous fossil fuel reserves, meaning that the amount of fossil fuel import has to increase to be able to satisfy the deficit of energy. As a result of this imbalance between the fossil fuel production and consumption, Turkey should turn to alternative energy sources, mainly to renewable energy sources, solar and wind energies being the main candidates.

V. REFERENCES

- [1] V. Smil, *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*, 1st Ed., Santa Barbara, CA, USA: Praeger, 2010.
- [2] G. Chen, M. Hadjikakou, T. Wiedmann, and L. Shi, "Global warming impact of suburbanization: the case of Sydney," *Journal of Cleaner Production*, vol. 172, pp. 287-301, 2018.
- [3] The British Petroleum. (2020, May 08). *BP Energy Outlook 2019 edition* [Online]. Available: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf>.
- [4] International energy Agency (IEA). (2020, April 13). *Key World Energy Statistics 2019* [Online]. Available: <https://webstore.iea.org/key-world-energy-statistics-2019>.
- [5] The British Petroleum. (2020, May 08). *BP Statistical Review of World Energy 2019* [Online]. Available: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>.

- [6] H. Saygı, H.V. Oral and S. Kardaslar, “Environmental assessment of renewable energy scenarios for a sustainable future in Turkey,” *Energy & Environment*; vol. 31 no.2, pp. 237–255, 2020.
- [7] E. Maldonado and S. Yannas, “Passive and Low Energy Architecture,” *International Conference on Environmentally Friendly Cities: Proceedings of Plea, Lisbon, Portugal*, 1998, pp. 41-48.
- [8] The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2020, April 14). *Green Growth Studies: Energy* [Online]. Available: <https://www.oecd.org/greengrowth/greening-energy/49157219.pdf>.
- [9] International Energy Agency (IEA). (2020, April 11). *Data and Statistics 2020* [Online]. Available: [https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20\(TPES\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20(TPES)%20by%20source).
- [10] The British Petroleum. (2020, May23). *BP Annual Report and Form 20-F* [Online]. Available: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/investors/bp-annual-report-and-form-20f-2019.pdf>.
- [11] International Energy Agency (IEA). (2020, April 15). *Data and Statistics, Installed power generation capacity* [Online]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/installed-power-generation-capacity-by-source-in-the-stated-policies-scenario-2000-2040>.
- [12] P. Moriarty and D. Honnery, “Energy Accounting for a Renewable Energy Future,” *Energies*, vol. 12, pp. 1-16, 2019.
- [13] The International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020, April 16). *Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects* [Online]. Available: https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf.
- [14] J.R.F. Diógenes, J. Claro, J.C. Rodrigues and M.V. Loureiro, “Barriers to onshore wind energy implementation: A systematic review,” *Energy Research & Social Science*, vol. 60, pp. 1-33, 2020.
- [15] Wind Denmark. (2020, April 21). [Online]. Available: <https://en.winddenmark.dk/wind-in-denmark/current-energy-production>.
- [16] T. Trainer, “Some inconvenient theses,” *Energy Policy*, vol. 64, pp. 168–174, 2014.
- [17] Eurostat. (2020, April 18). *Energy imports dependency* [Online]. Available: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_ind_id&lang=en.
- [18] Eurostat. (2020, April 18). *Share of fossil fuels in gross available energy* [Online]. Available: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_ind_ffgae&lang=en.
- [19] Eurostat. (2020, April 18). *Share of energy from renewable sources* [Online]. Available: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_ind_ren&lang=en.
- [20] Eurostat. (2020, April 18). *Share of fuels in final energy consumption* [Online]. Available: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_ind_fecf&lang=en.

- [21] Eurostat. (2020, April 18). *Imports of oil and petroleum products by partner country* [Online]. Available: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_ti_oil&lang=en.
- [22] Eurostat. (2020, April 18). *Imports of natural gas by partner country* [Online]. Available: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_ti_gas&lang=en.
- [23] Eurostat. (2020, April 18). *Supply, transformation and consumption of solid fossil fuels* [Online]. Available: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_cb_sff&lang=en.
- [24] Eurostat. (2020, April 18). *Supply, transformation and consumption of gas* [Online]. Available: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_cb_gas&lang=en.
- [25] Eurostat. (2020, April 06). *Supply, transformation and consumption of oil and petroleum products* [Online]. Available: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_cb_oil&lang=en.
- [26] Eurostat. (2020, April 18). *Supply, transformation and consumption of renewables and wastes* [Online]. Available: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_cb_rw&lang=en.
- [27] Eurostat. (2020, April 18). *Electricity production capacities for renewables and wastes* [Online]. Available: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_inf_epcrw&lang=en.
- [28] S.Y. Saçık, N. Yokuş, M. Alagöz and T Yokuş, “Optimum Renewable Energy Investment Planning in Terms of Current Deficit: Turkey Model,” *Energies*; vol. 13, pp. 1-21, 2020.
- [29] G. Yılan, M.A.N. Kadirgan and G.A. Çiftçioğlu, “Analysis of electricity generation options for sustainable energy decision making: the case of Turkey,” *Renewable Energy*; vol. 146, pp. 519-529, 2020.
- [30] Turkish Electricity Transmission Corporation (TEİAŞ). (2020, May 7). *Statistics: Turkey installed power by year* [Online]. Available: <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc>.
- [31] Turkish Electricity Transmission Corporation (TEİAŞ). (2020, May 7). *Statistics: Turkey installed power by source* [Online]. Available: https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2018-03/kurulu_guc.pdf.
- [32] Turkish Electricity Transmission Corporation (TEİAŞ). (2020, May 7). *Statistics: Turkey electricity generation, consumption and loss* [Online]. Available: <https://www.teias.gov.tr/tr/iii-elektrik-enerjisi-uretimi-tuketimi-kayiplar>.
- [33] Energy Atlas of Turkey. (2020, May 7). *Statistics* [Online]. Available: <https://www.enerjiatlas.com/>.
- [34] Republic of Turkey Ministry of Energy and Natural Resources, General Directorate of Energy Affairs. (2020, May 8). *Reports* [Online]. Available: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/EIGM-Raporlari>.
- [35] Republic of Turkey Ministry of Energy and Natural Resources, General Directorate of Energy Affairs. (2020, May 8). *Strategic Plan* [Online]. Available: <https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fStrategic%20Plan%2fStrategicPlan2015-2019.pdf>.



- [36] N. Tamzok, "Coal in the world and in Turkey, Report: Energy outlook of Turkey 2018," Turkish Chamber of Mechanical Engineers, Chamber, Report No. 691, 2018.
- [37] Republic of Turkey Ministry of Energy and Natural Resources. (2020, May 8). *Info Bank Solar* [Online]. Available: <https://www.enerji.gov.tr/en-US/Pages/Solar>.
- [38] E. Özgür, "Solar Energy in Turkey, Energy Outlook of Turkey 2018," Turkish Chamber of Mechanical Engineers, Chamber Report No. 691, 2018.
Available: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/EnerjiGorunumu2018_1.pdf.
- [39] Turkish Wind energy Association. (2020, May 8). [Online]. Available: http://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/turkiye_res_durumu/istatistik_raporu_ocak_2019.pdf.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Risk Analysis Application in Highway Projects

 Ali Erkan KARAMAN ^{a,*},  Eray KÖSEOĞLU ^b

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

^b Department of Civil Engineering, Institute of Science, Balıkesir University, Balıkesir, TURKEY

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

DOI: 10.29130/dubited.848112

ABSTRACT

Highway projects are large investment projects and have many risk factors. It is possible to reduce the problems that may affect the success of a project by managing such risk factors through a comprehensive risk management strategy. In this study, it was aimed to determine the significance levels of risk factors faced in highway projects. Risk factors seen in agreement, design and construction stages of highway projects were specified by carrying out a literature review. The specified risk factors were classified under 7 main titles according to the source of risk, and emergence of the relevant risk factor at which stage of the highway project along with which sub-risks was investigated. Risk factors were evaluated by administering questionnaires to the individuals experienced in highway projects and specialised in their fields. Later on, risk analysis was performed using the decision matrix method and their importance levels were determined. Obtained results suggested that the risk of economic crisis under the title of economic and political risks was the most important risk factor.

Keywords: Highway projects, risk analysis in highway projects, decision matrix method.

Otoyol Projelerinde Risk Analizi Uygulamas1

ÖZET

Otoyol projeleri büyük yatırım projeleri olup birçok risk faktörünü içerisinde barındırmaktadır. Bu risk faktörlerinin kapsamlı bir risk yönetimi stratejisi ile yönetilmesiyle proje başarısını etkileyebilecek olumsuzlukların azaltılması mümkündür. Bu çalışmada otoyol projelerinde karşılaşılan risk faktörlerinin önem derecelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Otoyol projelerinin sözleşme, tasarım ve yapımında karşılaşılan risk faktörleri literatür taraması yapılarak belirlenmiştir. Belirlenen risk faktörleri riskin kaynağına göre 7 ana başlıkta sınıflandırılarak ilgili risk faktörünün otoyol projesinin hangi aşamasında hangi alt risklerle ortaya çıktığı araştırılmıştır. Risk faktörleri otoyol projelerinde tecrübe sahibi ve konusunda uzman kişilerce anket yöntemi ile değerlendirilip, karar matrisi yöntemi kullanılarak risk analizi yapıp önem dereceleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ekonomik ve politik riskler başlığı altındaki ekonomik kriz riskinin en önemli risk faktörü olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Otoyol projeleri, otoyol projelerinde risk analizi, karar matrisi yöntemi.

I. INTRODUCTION

The world is getting smaller day by day and the borders for companies are removed. Competition environment and increasing value of time raise the importance of highway projects. Highway projects play a great role in the development of transportation network and economic growth of a country. The adequacy and size of a transportation network are considered to be indicators of a country's economic development. The 9 km road named AVUS, located in the south of Berlin, is the first highway in the world and was built in 1921. The first highway in Turkey is the 23 km road, covering the Bosphorus Bridge, which was put into service in 1973 [1].

There are many dangers and various risks caused by these dangers in construction projects. Risk is defined to be the likelihood of a circumstance and combination of effects of this case on project objectives. While a positive result leads to an opportunity, a negative one results in a danger [2]. Risk management is a project management technique including the processes of describing the risks regarding a project, determining the impacts of these risks on a project and deciding on the measures to be taken in the event of emergence of risks. Highway projects have different rates of risks, depending on the size, complexity and environment of a project. Management of these risks by a comprehensive risk management process will enable to reduce the problems that may affect the project success. The most important stage of the risk management system is to specify all risk factors that will influence a project. Therefore, an identified risk no longer becomes a risk but turns into a management problem. A misdeveloped risk identification study can lead to the collapse of all risk managements [3].

Highway construction activities involve a large number of dangers and risks. These risks are caused by several people, such as design department team, construction contractors, subcontractors, workers, and pose a major threat to construction speed and performance standards. Various risks emerge during projecting, construction and operation stages of highways. If these risks take place, important consequences, such as loss of time, route change, cost increase and financial difficulty may be observed. Therefore, in order to keep project cost under control, to protect quality and to ensure project progress in accordance with work programme, it is necessary to develop a risk assessment covering identification of all risks, classification of risks, evaluation by risk analysis [4].

The studies in the literature show that risk management is of paramount importance for construction projects in general respect and specifically for highway projects. In this study, it was aimed to grade the risk factors observed in the highway projects in Turkey. Thus, privileged risk factors will be determined rapidly at the beginning of the highway projects to be carried out.

II. RISK ASSESSMENT IN HIGHWAY PROJECTS

PMBOK [5] defines a project risk to be uncertain events and circumstances that may affect the project objectives negatively if such a risk occurs. Each risk has causes and results. Mustafa and Al-Bahar [6] argue that construction projects have many risks due to their complex structures, such as subcontractor failures, negative weather and site conditions, which are observed from beginning to end of projects.

Tah et al. [7] has examined and classified the risk factors seen in the construction sector under two groups as internal risks and external risks. While the internal risks refer to labour force, facility, material, subcontractor, site, contractual and location, the external risks relate to inflation, exchange difference changes and changes in employer requests. Özbey [8] has discussed the risks observed in transportation projects under 6 main headings. These are ranked to be design risks, construction site risks, construction risks, financial risks, permission and approval risks and contractual risks. Vishwakarma and Salunkhe [9] have analysed the risks on highway projects by a questionnaire study, and specified time, design, ground condition and expropriation to be the most important risk factors. The risk factors seen during

the agreement, design and construction stages of highway projects have been classified according to their sources in Table 1 under 7 main headings as a result of the literature review carried out.

Table 1. The factors causing delay in the literature.

Problems Affecting Time in Highway Projects	Literature
Risks caused by design	Zou et al. [10], Vishwakarma and Salunkhe [9]
Economic and market risks	Tam et al. [11], Mahamid et al. [12]
Political and social risks	Birgönül and Dikmen [3]
Construction risks	Özbey [8], Thapanont et al. [13]
Site risks	Edwards [14]
Contractual risks	Perera et al. [15], Edward [14].
Occupational safety and environmental risks	Reilly and Arrigoni [16], Aydos [17]

Considered to be the most important stage, the design is the initial stage of all projects. It is clear that missing, faulty and unplanned designs will lead to many risks in the construction of a highway project. Highway projects are implemented in large areas, and these areas have different ground conditions. The risk factors to be caused by missing knowledge of designers related to the topography of a region result in design problems [9]. What is more, the general risks regarding the design are failure to complete and deliver projects and specifications on time, late material decisions, misunderstanding of employers' requests and inability to make proper designs due to insufficient information about the project area and employing inexperienced teams [10]. The problems that cannot be solved at the design stage affect the site work program negatively by continuing during the construction stage [18].

Economy and market risks are always effective in the construction stage. The highway projects built by the Public-Private Cooperation (PPC) model is financed by the company undertaking the construction. Companies generally obtain required finance by loans received from banks as they do not prefer to provide any finance by their own funds or inability to have sufficient resource while providing finance for highway projec [11]). As the required finance amount is high, the process of obtaining a loan may take a long time. Any problem to be faced in obtaining a loan may prevent all other stages of a project. Therefore, the risks that may be observed during obtaining a loan for a highway project should be analysed well and taken into consideration during submitting a tender offer. Another economy-related risk factor for developing countries is inflation. High inflation in a country decreases confidence in national currency. Any rise in inflation poses a serious risk by negatively affecting the highway projects in which significant purchasing transactions are performed [12].

Political and social risks may always influence the project success to a great extent. The problems such as embargo and risk of war that may affect economic system of a country may cause crises in national economy. Political and economic crises likely to occur may result in stopping a highway project. Considering that highway projects are generally long-term projects, the political structure of the country where the project takes place should be analysed well and measures should be taken for political risks that may be seen [3].

Construction risks are caused by unplanned work programmes as well as missing and faulty applications on the site. Many problems may be witnessed in the event of an unplanned work programme. In highway project tenders, companies provide construction and operation time offers by the Public-Private Cooperation (PPC) model. In the event that construction time is exceeded due to an error in work planning, planned operation time is shortened. This may result in serious money loss for companies [8].

The site risks include the following factors: failure to coordinate labour force effectively, inability to establish site mobilization completely or timely, landslides on slopes in a project, insufficient drilling information about the existing land structure. This is one of the most difficult stages in the risk assessment because this stage covers many unknown factors in addition to possible risks [14].

Agreements specify the rules to be followed by companies and provide risk distribution. The price of a work to be done, even partially, reflects the risk predicted by the person who will do this work. Employers are held responsible for any inadequacy in an agreement and amendments to be made in an agreement [14]. Uncertainties in agreements about responsibilities often reflect negatively on project success as cost increase.

There is a risk of many occupational accidents in highway projects due to various reasons. While some of these occupational accidents result in financial damage, there are unfortunately losses of lives. Loss of lives and properties that may occur due to occupational accidents result in labour loss by affecting the motivation of employees negatively. In addition, an occupational accident may cause an interruption of a company's works for a certain or uncertain period. Accordingly, this causes delays in related workshops [17].

III. RESEARCH METHOD

The data required for this study, aiming to develop a risk assessment in highway projects and to rank the importance of the identified risks, was collected by administrating a questionnaire. The questionnaire form used in this study was prepared in accordance with the principles specified by scientific research methods [19]. Subjects were asked to make an "impact" and "probability" evaluation for the risks in this questionnaire form. The scale regarding the impact and degree of probability is provided in Table 2.

Table 2. Probability - impact scales in the Decision Matrix.

Score	Probability / Impact	Grading steps for probability of realisation
1	PROBABILITY	Very Small
2		Any risk is not expected, very unlikely to occur.
3		Very small risk probability. May be repeated once a year.
4		Intermediate
5		High
		There is a risk albeit little. May be repeated once a year.
		There is a risk. May be repeated once a month, week.
		A risk may occur anytime.
1	IMPACT	Very Little
2		Scarcely any impact, negligible
3		Recoverable
4		Intermediate
5		Little
		A significant impact
		An impact that may have significant consequences for a project
		Very Serious
		Unavoidable financial loss or delay in a project

The sample and target responders of this study, in which a risk assessment would be carried out in highway projects, consisted of technical staff (engineers and architects) working on highway projects. In order to increase the value added by target responders to the research, it was taken into consideration to collect data from the technical staff with more experience in highway projects. After determining the sample and target responders, it was come into contact with 50 technical staff by face-to-face interviews.

The questionnaire form named after "Risk Assessment in Highway Projects" consisted of 7 main sections and includes 69 risk factors (Table 3). The risk factors provided in Table 3 were evaluated by the target responders according to the measurement scale given in Table 2. The "decision matrix method", one of the risk rating methods, was used for data analysis. By this method, it was attempted to determine the size of each risk factor by measuring probability and impact values of the risks. The size of a risk is obtained by multiplying the probability and impact values. While assessing the data obtained

from 50 subjects, the median method was preferred instead of using the average method. Because it is more realistic by this method to reveal the prevailing opinions of the subjects about the risks [20].

Table 3. Main and sub-risk factors regarding highway projects.

Risk Code	Risk Category	Risk Factor
RCD1	Design related risks	Complexity and applicability of design
RCD2		Design defects
RCD3		Obtaining insufficient and/or wrong information about project area
RCD4		Uncertainties and defects in project details
RCD5		Inadequate and inexperienced design team
RCD6		Lack of Communication and Coordination
RCD7		Uncertain ground conditions
RCD8		Failure to deliver project on time
EMR1	Economy and market risks	Economic crises
EMR2		Inflation
EMR3		Currency fluctuations
EMR4		Obtaining loan
EMR5		Delays in Payments (Progress Payment Delays etc.)
EMR6		Errors to be made in cost estimation
EMR7		Cost due to failure to complete work on time
EMR8		Subcontractor's exceeding specified time and cost limits
EMR9		Sudden changes in raw material, material and equipment prices
EMR10		Bankruptcy of the main company-subcontractor
EMR11		Dependency on external funds
PSR1	Political / social risks	Amendments in laws, legislation and regulations
PSR2		Regulations and difficulties required for permissions
PSR3		Bureaucratic procedure (speed, delays in implementation, etc.)
PSR4		Protests of civil society organizations/public against project
PSR5		Embargo and war
PSR6		Expropriation problems
PSR7		Social unrest (events such as riot and strike etc.)
PSR8		Burglary (machine material theft etc.)
CR1	Construction risks	Applicability work programme
CR2		Using improper construction technique
CR3		Acceleration demand of project by employer or government
CR4		Undesired quality of work and need to do it again
CR5		Lack of communication and coordination in project team
CR6		Change in project route
CR7		Change in construction priorities
CR8		Conflict between project and existing transport network
CR9		Problems in raw material/material procurement
CR10		Problems in machinery/equipment supply
CR11		Capacity and experience of technical staff
CR12		Technical staff change
CR13		Subcontractor selection
CR14		Difficulty of finding a warehouse site and borrow pit
CR15		Labour force (tiredness, distrust, inefficiency, poor workmanship, etc.)
CR16		Conflict and lack of communication between partners
CR17		Management and organizational errors
CR18		Transportation and shipping problems

Table 3(continue). Main and sub-risk factors regarding highway projects.

SR1		Late establishment of site mobilization (concrete plant etc.)
SR2		Failure to manage labour force effectively on site
SR3		Unforeseen site and ground conditions
SR4		Rough land conditions
SR5		Delay in workplace delivery
SR6	Site risks	Need for infrastructure displacement on site
SR7		Groundwater level
SR8		Slope flows
SR9		Transportation to site
SR10		Natural disasters likely to occur during implementation of project
SR11		Bad weather conditions
SR12		Founding archaeological remains on site
COR1	Contractual risks	Agreement size
COR2		Duration of agreement
COR3		Responsibilities in agreement
COR4		Conditions of agreement and risks related to penal sanctions
COR5		Unbalanced risk distribution in agreement
OSER1	Occupational safety and environmental risks	Falling down from height
OSER2		Material fall
OSER3		Problems likely to be seen in blasting activities
OSER4		Rollover of vehicles
OSER5		Loss of reputation due to occupational accident
OSER6		Penal sanction due to work accident
OSER7		Complaints likely to occur due to soil, water, air and noise pollution

IV. RESEARCH FINDINGS

The reliability analysis of data was performed before carrying out the risk assessment by the data obtained from 50 experienced subjects working in highway projects and expert in their fields. The reliability analysis is performed to determine the self-consistency of the questions within the measurement topics. The Cronbach alpha (α) values obtained as a result of the reliability analysis and the mean and standard deviation values regarding the variables are provided in Table 4.

Table 4. The mean (μ), standard deviation (σ) and Cronbach alpha (α) values of the variables.

Risk Categories	Number	Impact			Probability		
		Mean (μ)	Standard Deviation (σ)	Cronbach Alfa (α)	Mean (μ)	Standard Deviation (σ)	Cronbach Alfa (α)
Risks caused by design	8	3.708	0.960	0.743	3.030	0.972	0.789
Economic and market risks	11	3.989	0.918	0.877	3.235	0.927	0.822
Political and social risks	8	3.530	0.932	0.846	2.860	1.025	0.771
Construction risks	18	3.668	0.920	0.924	2.949	0.980	0.924
Site risks	12	3.678	0.907	0.851	2.917	0.961	0.800
Contractual risks	5	3.648	0.986	0.723	2.948	0.862	0.717
Occupational safety and environmental risks	7	3.486	1.032	0.860	3.337	1.116	0.894

The Cronbach Alpha value is a weighted standard mean of change found by proportioning the sum of the variances of the questions in the example to the general variance. A Cronbach alpha value of 0.70

and above refer that the questions in that category are considered reliable [21]. The reliability analysis results provided in Table 4 show that the sub-risks under the main risk categories are consistent.

In the risk assessment stage, the median values of the impact and probability data of each risk factor were used. The median values of the impact and probability values for all risk factors were calculated by means of the data analysis program. The size of each risk was calculated by multiplying the impact and probability values and their significance levels and orders within their groups are provided in Table 5.

Table 5. Size and importance of risk and order of importance.

Risk Code	Risk Categories	Impact	Probability	Risk Size	Importance Level	Order of Importance	
RCD1		4	3	12	Medium	1	
RCD2		4	3	12	Medium	1	
RCD3		4	3	12	Medium	1	
RCD4	Risks caused by design	4	3	12	Medium	1	
RCD5		4	3	12	Medium	1	
RCD6		3	3	9	Medium	2	
RCD7		4	3	12	Medium	1	
RCD8		4	3	12	Medium	1	
EMR1			5	4	20	High	1
EMR2			4	4	16	High	2
EMR3			4	4	16	High	2
EMR4	Economic and market risks	4	3	12	Medium	4	
EMR5		4	3	12	Medium	4	
EMR6		4	2	8	Medium	6	
EMR7		4	3	12	Medium	4	
EMR8		4	3	12	Medium	4	
EMR9		4	3	12	Medium	4	
EMR10		5	3	15	High	3	
EMR11	3	3	9	Medium	5		
PSR1		3	2	6	Low	6	
PSR2		3	3	9	Medium	4	
PSR3		3	3	9	Medium	4	
PSR4	Political and social risks	4	3	12	Medium	2	
PSR5		5	2	10	Medium	3	
PSR6		4	4	16	High	1	
PSR7		4	2	8	Medium	5	
PSR8		3	3	9	Medium	4	
CR1		4	3	12	Medium	2	
CR2		4	3	12	Medium	2	
CR3		4	4	16	High	1	
CR4		4	3	12	Medium	2	
CR5	Construction risks	3	3	9	Medium	3	
CR6		4	2	8	Medium	4	
CR7		3	3	9	Medium	3	
CR8		3	3	9	Medium	3	
CR9		4	3	12	Medium	2	
CR10		4	2	8	Medium	4	
CR11		4	3	12	Medium	2	
CR12		3	3	9	Medium	3	

Tablo 5(continue). Size and importance of risk and order of importance.

Risk Code	Risk Categories	Impact	Probability	Risk Size	Importance Level	Order of Importance
CR13	Construction risks	4	3	12	Medium	2
CR14		4	3	12	Medium	2
CR15		4	4	16	High	1
CR16		4	2	8	Medium	4
CR17		4	3	12	Medium	2
CR18		3	3	9	Medium	3
SR1	Site risks	4	2,5	10	Medium	3
SR2		4	3	12	Medium	2
SR3		4	3	12	Medium	2
SR4		3	3	12	Medium	2
SR5		4	3	12	Medium	2
SR6		3	4	12	Medium	2
SR7		3	3	9	Medium	4
SR8		4	4	16	High	1
SR9		3	3	9	Medium	4
SR10		5	2	10	Medium	3
SR11		4	3	12	Medium	2
SR12		4	2	8	Medium	5
COR1	Contractual risks	3	3	9	Medium	2
COR2		4	3	12	Medium	1
COR3		4	3	12	Medium	1
COR4		4	3	12	Medium	1
COR5		4	3	12	Medium	1
OSER1	Occupational safety and environmental risks	4	4	16	High	1
OSER2		4	4	16	High	1
OSER3		4	3	12	Medium	2
OSER4		3	4	12	Medium	2
OSER5		4	3	12	Medium	2
OSER6		3,5	3	10,5	Medium	3
OSER7		3	3	9	Medium	4

Risk significance level is demonstrated in three stages in risk analysis performed by decision matrix method: (1) low (risk size ≤ 6), (2) medium ($6 < \text{risk size} < 15$), (3) high (risk size ≥ 15). In Table 5, the significance levels of 69 risk factors used in the analysis were obtained as follows: 10 high risk, 58 medium risk and 1 low risk. The order of importance of the sub-risks constituting the risk categories indicates the order of the steps to be taken to remove or reduce the risks.

V. CONCLUSION

Highway projects are large investment projects and have many risk factors. In this study, 69 risk factors have been classified under 7 main groups based on the literature of these risk factors. These risk factors have been evaluated by 50 technical staff who have been working. The assessment procedure has been carried out by paying due attention, thus, any data loss has not occurred. As it applies to any scientific study, this study has certain limitations related to time, financial resources, human capacity to think and interpret. Investigating the risk assessment in highway projects, this research is an empirical study, and its conclusions are limited to the subjects of this study.

When examining the results provided in Table 5, it is seen that EMR1 (economic crisis) risk under economic and market risks has the highest risk value. This main risk factor has the highest average risk

among other risk groups. PSR6 under the heading of political/social risks, CR3 and CR15 under the heading of construction risks, SR8 under the heading of site risks, and OSER1 and OSER2 under the heading of occupational safety and environmental risks are distinguished as other important risk factors.

The most important contribution of this study to the related literature is the fact that possible risks that will affect the project at the initial stage of a highway project can be rapidly evaluated and resolved by using the results obtained in this investigation. Accordingly, highway projects can be fulfilled by considering estimated time-cost-quality and likely conflicts and losses will be removed. It is suggested to carry out further studies with more risk factors by increasing the number of subjects for data collection.

VI. REFERENCES

- [1] M. Çebin, "Otoyol projelerinde gecikme nedenlerinin ve sonuçlarının araştırılması," Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2019.
- [2] M.M. Sharaf and H.T. Abdelwahab, "Analysis of risk factors for highway construction projects in Egypt," *Journal of Civil Engineering and Architecture*, vol. 9, no. 5, pp. 526-533, 2015.
- [3] T. Birgönül and İ. Dikmen, "İnşaat projelerinin risk yönetimi," *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, c. 7, s. 4, ss. 1305-1326, 1996.
- [4] N. Vasishta, D.S. Chandra, and S.S. Asadi, "Analysis of risk assesment in construction of highway projects using relative importance index method," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 1-6, 2018.
- [5] Project Management Institute (PMI), A Guide to the project management body of knowledge, 2017.
- [6] M.A. Mustafa and J.F. Al-Bahar, "Project risk assessment using the analytic hierarchy process," *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 38, no. 1, pp. 46-51, 1991.
- [7] J. H. M. Tah, A. Thorpe and R. McCaffer, "Contractor project risks contingency allocation using linguistic approximation," *Computing System in Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 281-293, 1993.
- [8] F. Özbey, "Ulaşım altyapı projelerinde risk değerlendirmesi ve alternatif uyuşmazlık çözüm uygulamaları," Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [9] A. Vishwakarma, and A. Salunkhe, "Risk assesment in construction of highway project," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 637-640, 2016.
- [10] P. X. W. Zou, G. Zhang and J. Wang, "Identifying key risks in construction projects: Life cycle and stakeholder perspectives," *Journal of Civil Engineering and Architecture*, vol. 18, pp. 1-14, 2006.
- [11] V.W.Y Tam, L.Y. Shen, C.M. Tam and W.W.S. Pang, "Investigating the intentional quality risks in public foundation projects: A Hong Kong study," *The International Journal of Building Science and Its Application*, vol. 42, no. 1, pp. 330-343, 2007.
- [12] I. Mahamid, A. Bruland and N. Dmadi, "Delay causes in road construction projects," *ASCE Journal of Management in Engineering*, vol. 28, no. 3, pp. 300-310, 2012.


- [13] P. Thapanont, C. Santi, X. Pruethipong, "Causes of delay on highway construction projects in Thailand," *The 4th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST 2018)*, 2018, pp. 1-4.
- [14] L. Edwards, *Practical Risk Management in The Construction Industry*, London: Thomas Telford Publications, 1995, pp. 60-90.
- [15] J. Perera, I. Dhanasinghe, and R. Rameezdeen, "Risk management in road construction: The case of Sri Lanka," *International Journal of Strategic Property Management*, vol. 13, pp. 87-102, 2009.
- [16] J.J. Reilly and J. Brown, "Management and control of cost and risk for tunneling and infrastructure projects," *Proceedings, World Tunneling Conference, International Tunneling Association*, 2004.
- [17] M.R. Aydos, "Üst yapı inşaatlarında ön tehlike analizi (PHA) ile risk değerlendirmesi," İş sağlığı ve güvenliği uzmanlık tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2015.
- [18] B. B. Xu, Y. Q. Chen and C.M. Wang, "Risk management of construction projects based on sandpile model: A frame of risk conduction," *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2013, pp. 1530-1534.
- [19] T.C. Kinnear and J.R. Taylor, *Marketing Research: An Applied Approach*, McGraw-Hill, Singapore, 1991, pp. 150-230.
- [20] M. Çaylıdemirci, "Nehir tipi hidroelektrik santral yatırımı inşaatlarında karşılaşılan risklerin belirlenmesi," Yüksek lisan tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [21] K. Sandal, "İnşaat firmalarında alt yüklenici başarımları analizi," Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Türkiye Mimarlar Odasının 1990-2005 Dönemi “Mimarlık Politikaları”

 Hasan Tahsin SELÇUK^{a,*}

^a *Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, TÜRKİYE*

** Sorumlu yazarın e-posta adresi: hasan.selcuk@omu.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.859700

ÖZET

Bu çalışma, 2019 yılı Şubat ayında yayımlanan ‘Türkiye Mimarlık Politikası’ metninin, ortaya çıkma süreci öncesini, anayasal bir sivil toplum örgütünün iletişim mecrası üzerinden incelemektedir. Politika metni bir gerçeklik kavrayışıdır. Gerçeklikler toplumsal inşalardır. Bir gerçekliğin anlaşılması ve ona ilişkin eylem geliştirilmesi, gerçekliği var eden ve içinde varlık bulduğu süreç ile ilişkilendirilmesi ile mümkündür. Bu bağlamda, TMMOB Mimarlar Odası’nın incelenen dönemdeki gerçeklik kavrayışı Mimarlık dergisi yayınlarında analiz edilmiştir. Mimarlık dergisinin 1986-2005 yılları arasında yayınlanan sayıları taranarak, TMMOB Mimarlar Odası yönetimlerinin, Mimarlık dergisinde konu edilen politikaları ve bu politikalara yönelik yayınlanan metinler, dönemin politikaları olarak değerlendirilmiştir ve bu bağlamda yedi politika başlığı belirlenmiştir. İncelenen dönem gerek dünya gerekse Türkiye Mimarlığı için ekonomik, sosyal ve kültürel açılımların ortaya çıktığı; küreselleşme, post-modern ve yapı-bozum gibi yeni kavramlar üzerinden yorumlandığı süreçleri içermektedir. Bu gelişmeler içerisinde, 1990 yılında Dünya Mimarlar Birliğinin (UIA) Montreal toplantısında, tüm üye ülkelerin kendi mimarlık politikalarını oluşturması gerektiği kararı alındı. Bu karara ilişkin TMMOB Mimarlar Odası, 2005 UIA İstanbul toplantısı sonrasında bir politika metni oluşturmak üzere çalışma başlattı. Hazırladığım bu inceleme, 1990 yılı sonrasında ortaya konulan politika geliştirme girişimleri ve 2005 yılına kadar geçen süreçte oluşan birikimi göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Mimarlık Politikası, Güncel Türkiye Mimarlığı, Söylem Analizi*

The Chamber of Architects of Turkey 1990-2005 Period “Policies for Architecture”

ABSTRACT

This study subjected the pre-emergence process of the ‘Turkey Architecture Policy’ text that published in February 2019. This study is analysing a communication media which belongs to constitutional civil society’s organization. Realities are social constructions. Understanding a reality and developing an action related to it is possible by associating it with the process in which it exists. Policy text is a conception of reality. This study analyses the “Mimarlık” journal to understanding the reality perception of the TMMOB Chamber of Architects at the 1990-2005 period that examined. The aim of this study is to review the issues published in the periodical between 1986-2005 and to evaluate the policies of TMMOB Chamber of Architects administrations in the journal and their evaluations. By reviewing the issues of Architecture magazine published between 1986-2005, the policies of TMMOB Chamber of Architects and the texts published in the journal of Architecture were evaluated as the policies of the period, and in this context seven policy titles were determined and their contents have been explained. The period analysed, both for the world and Turkey Architecture, economic, social and cultural expansion and the emergence of globalization, as interpreted through processes include new concepts such as postmodernism and deconstructionism. In 1990, during the Montreal meeting of the World Union of Architects (UIA), decided that all member states should form their own architectural policies. TMMOB Chamber of Architects started to work on this decision after the 2005 UIA Istanbul meeting. Pre-policy principal text declared in 2005. However, this study purposed to show the initiatives and policies put forward after 1990.

Keywords: *Architectural Policies, Contemporary Turkey Architecture, Discourse Analyse*

I. GİRİŞ

Bu çalışmada, 1954 yılında kurulan Mimarlar Odasının, 1986 yılından günümüze, geçen otuz yılı aşkın süreçte, yapmış olduğu çalışma ve etkinlikler, 2005 yılı öncesi ve sonrası olarak tanımlanarak, 2005 öncesi dönemdeki Mimarlar Odası yönetimlerinin politikalarını ortaya koymaktadır [1].

1986-2005 arasındaki sürecin konu edilmesinin nedeni; Mimarlar Odasının, ulusal ölçekte uluslararası boyutta politikalar ve kurumlarla senkronize olduğu bir geçiş dönemi olması nedeniyledir. TMMOB Mimarlar Odası 2005 yılı sonrasında, “Bir Mimarlık Politikası Metnine Doğru” çalışmalarını başlatmış ve 2007 yılında bu metni yayınlamıştır. 2019 yılı şubat ayında da “TMMOB Mimarlar Odası Türkiye Mimarlık Politikası” çalışmasını yayınlamıştır.

Bu makale için 1986-2005 döneminde, Mimarlık politikasına ilişkin, Mimarlık dergisinde yayımlanan, bildiri, rapor, etkinlikler ve bunlara ilişkin yorum, değerlendirme ve eleştiriler incelenmiştir. Bu kapsamda; ‘Mimarlık’ dergisinin on-dokuz yıllık yayınlarında, beş yönetim dönemi görev yapmış ve bu yönetim dönemlerinin bütününde toplam yedi başlıkta özetlediğim politikalar yürütülmüştür. Belirlenen politika başlıklarına ilişkin bu makalede Mimarlar Odası yönetimlerinin hangi bağlamda ve içerikte bu politikaların tanımlandığı değerlendirilmiştir.

II. TÜRKİYE MİMARLIĞININ SAHIPLENİLMESİ: TMMOB MİMARLAR ODASI YÖNETİM KURULLARININ (32. DÖNEMDEN 37. DÖNEME) MİMARLIK POLİTİKALARI

Politika, kelime anlamıyla, bir kurumun hedef ve tutumunun bir felsefe veya amaç doğrultusunda, eylem planı üzerinden, ifade ve uygulaması (TDK); işlerini düzenleme ve yürütme sanatıyla ilgili özel görüş veya anlayış; bir amaca ulaşmak için kullanılan yöntem olarak tanımlanır. Mimarlar Odası, ortaya koyduğu “Bursa Deklarasyonu”(1986) ile bu doğrultuda çalışmalarına başladı. Süreç içerisinde gerek uluslararası Mimarlar Birliği (UIA) gerekse Avrupa Birliği uyum süreci çerçevesinde bu deklarasyon çerçevesinde başlatılan çalışmalar 2005 yılında Meslek Politikası oluşturma amaçlı çalışmalara dönüştü. Bu dönüşüm sürecinde kronolojik olarak Mimarlar Odası yönetimlerinin ortaya koydukları söylem ve politikalar Mimarlık dergisi incelenerek açıklanmıştır [2].

A. POLİTİKA I: TÜRKİYE MİMARLIĞINI TANIMA, TANITMA VE NİTELİKLİ KILMA

1986 yılı sonrasında, aktif olarak çalışmalar “Bursa Deklarasyonu” ile başlamıştır. Bursa Deklarasyonu, 1980 yılındaki darbe ile duraksayan meslek odası faaliyetlerinin canlandırılması ve mesleki alanı interaktif kılma çabası olarak ortaya konulan bir politika belgesidir. 1987 yılı Mimarlık dergisinde E.Omacan’ın da Mimarlık dergisinde “Yeni Yayın Dönemine Başlarken Somut, Nesnel, Ulusal bir “Mimarlık” başlıklı metninde de ifade ettiği şekilde, başlatılan çalışmaların amacı hem “Mimarlar Odasının varlığını ve eylem alanını hem de Türkiye Mimarlığını tanıma, tanıtma ve nitelikli kılmaktır. Bu kapsamda, Türkiye Mimarlığı Sempozyumları, Ulusal Mimarlık Ödülleri organizasyonu ve Mimarlık Eğitiminin sorunlarını tanımlama ve tartışma amaçlı faaliyetler başlatıldı.

B. POLİTİKA II: MİMARLIK YASASI HAZIRLANMASI

1980 öncesinde de önemli bir konu olan Mimarlık Yasası, 1990-94 yılları arasında (Türkiye Mimarlar Odasının 32. ve 33. Dönemleri) genel başkan olarak görev yapan Y. Önen [3] öncülüğünde, bir eylem

bütünlüğü oluşturma amacıyla ‘Mimarlık Yasası’ çıkarılması için girişim başlatıldı. Bu 1986 yılında ortaya konulan tutumunun devamı niteliğinde bir politikadır.

Mimarlar Odası yönetimi ‘Mimarlık Yasası’ çalışmalarını için merkez ve şube teşkilatlarında ‘Mimarlık Yasa Taslağı Hazırlama Komisyonu’ oluşturdu [4] ve bu komisyon bünyesinde çeşitli toplantılar düzenleyerek, Mimarlık yasası ve mimarlık ortamının genel durumu hakkında görüş, düşünce, öneri ve değerlendirmeler derlendi [5].

Bu kapsamda Mimarların temel sorununun, devletin bireye karşı tek-tipleştirici bakışı (metinde ‘bütünselleştirici’ olarak ifade edilmiştir) olduğu ve bu bakışın bireyci kılınması gerektiği, Mimarlık ortamının ancak yeni bir yasa ile bu görünümü kazanabileceği görüşü, Mimarlık Mesleğinin icrasına yönelik bir yasanın gerekliliği görüşleri dergide bu konunun dile getirildiği metinlerde sıklıkla tekrarlanmıştır.

Mimarlar Odası yönetiminin ‘yasa’ talebindeki ana amacın, uygulamanın geliştirilmesi, denetlemenin sağlanması, üyelerin yarar ve çıkarlarının savunulması ile mesleğin kamu yararı sağlanmasını mümkün kılmak olduğu belirtilmiştir. Diğer taraftan, yasada öngörülen, mesleğin geliştirilmesi ile denetlemenin aynı kurumda olması durumunun çelişkili olması eleştirilmiştir.

‘Mimarlık Dergisi’nde yayınlanan eleştiri metinlerinde; önerilen ‘yasa taslağı’ ile iki farklı düzenlemenin tek bir kurum sorumluluğuna bırakılmış olması, Türkiye’de söylem ve pratiğin birbirinden kopuk olduğu tespiti yapılarak eleştirilmiştir. Söylem-eylem kopukluğuna neden olarak, Türkiye mimarlığının 20. yüzyıldaki seyirinde; sahadaki pratiğin görmezden gelinmesi ve buna uygun söylemin kurulamaması ile pratiğin gerçekleştirilme biçimi, aktörleri (yani alanın düzenlenmesi ve biçimlendirilmesindeki sorunlar) gerekçe gösterilmiş ve ‘yasa taslağı’, ‘Türkiye mimarlığının kurumsallığı’, ‘Türkiye’de mimarlık ve ideoloji’ ile ‘ölçek’ olarak üç başlıkta eleştirilmiştir. İlk başlıkta, Türkiye’nin 1950’lerdeki kentsel yapısının kapitalist sisteme göre düzenlenmemiş olması nedeniyle uzmanların kentleşme sürecinin dışında kalarak gelişmeleri yönlendiremediği ifade edilmiştir. İkinci başlıkta, mimarlık ürününün, üretim süreçlerinden bağımsız görülerek, mimarlığı özel insanların ürettiği estetik bir olgu olarak algılandığı ifade edilmiş; üçüncü başlıkta da “şehircilik” pratiklerinin ölçek değiştirmesi ile artık “büyükşehir” ölçeğinde planlama ve eylem yapılması gerekliliği, yasa taslağına itirazda gerekçe gösterilmiş ve bu tespitlerin yasa çalışmalarında görmezden gelindiği belirtilmiştir [6].

Bu çalışmalar sonucunda, yasayı destekleyen ve karşı çıkan tarafların görüşleri derlenerek, kırk beş maddelik ‘Mimarlar Odası Meslek Düzeni, Mesleki Davranış ve Ahlak Kuralları Taslak Önerisi’ başlıklı bir metin ile ‘Mimarlık Yasa tasarısı’ metni hazırlandı. Bu tasarıda, mimarın mesleğe girişte belirli bir deneyim kazanması şartı getirilmesi, kullanabileceği unvan ve mesleki uygulama için yeterlilikler, mesleğin genel esasları ile mimarların uyacakları mesleki davranış ilkeleri ile mimarlık hizmet kapsamı tanımlandı [7]. Bu tasarıda ayrıca; meslek düzeni, mesleki davranış ve meslek ahlakı konularında kurallar önerilmiş, mimarın toplum, işveren, meslektaş ve meslek odasına karşı yükümlülükleri tanımlanmıştı [8].

Yasa taslağına ilişkin yapılan değerlendirmelerde, ‘meslek yasası’nın görev, yükümlülük ve sorumluluk ile halkın yarar ve çıkarlarını güvence altına alması gerektiği belirtilmiştir. Bu durumda, Mimarlar Odası’nın görevinin; mesleğe kabul (yeterli düzeyde eğitim, asgari deneyim, hizmetin kusursuz sunulabilmesinin teyidi), mesleki yargı (denetim) ve mesleğin tanıtımı olduğu ifade edilmiştir.

Eleştirilerde, yürütülen ‘Mimarlık Yasası’ çalışmalarının, Mimarlar Odası’nın bütünlüklü, topluma yayılan bir politika oluşturmak yerine, apolitik bir eylem geliştirildiği ifade edilmiştir. Güncel sorun, “mimari tasarımı toplumsallaştırmak” olduğu; yasa taslağı ile bir ‘meslek kurumu’ olan Mimarlar Odası’nın, kendini toplum dışı alana çektiği ve hazırlanmakta olan yasa önerisi ile demokratik olmayan bir bütünlük talep edildiği değerlendirilmelerinde bulunulmuştur.

Mimarlar Odasının 1993 yılında göreve seçilen yeni yönetimi, pragmatik ve gerçekçi tutumuyla bu konulardaki eleştirilere ‘Mimarlık Yasası’nın gerekliliği ve işlevselliği yönünde tutum takınarak

açılımlar getirmiştir. Bu süreçte, Danıştay'a başvurularak, Danıştay kararı ile artık Mimarlık bürolarını ancak mimarların açabileceği kararı alınması [9], inşaat tabelalarında mimarın isminin yer almasının sağlanması, fikir ve sanat eserleri kanununda düzenleme yapılmasının sağlanarak mimari tasarımların fikir ve sanat eseri olarak yasal statüye kavuşturulması bu dönem çalışmalarındandır. Bu dönem, mesleki sorumluluk ve yetki alanlarına ilişkin hukuki kazanımlar, Mimarlar Odası yönetiminin yasa ve ortak politika oluşturma çalışmaları için motivasyonu arttırmıştır. Bu gelişmelere istinaden Mimarlar Odası 33. Dönem Yönetim kurulu üyelerinden M.Karaaslan [10] da, gerek kuramsal gerekse pratik alana ilişkin ifade edilen sorunlara kesin çözümün 'Mimarlık Yasası' ile geleceğini belirtmiştir. Yasa için, Mimarlar Odası, 1993 yılında Genel Kurul düzenleyerek 'Yeni Mimarlık Düzen İlkeleri' adlı on ilke kararı aldı [11]. Ayrıca, mimarlık meslek tanımı yapma, mesleki hizmet ve ürünlerde standart ve normlar oluşturma, eğitimin iyileştirilmesi konuları da ilke olarak bu genel kurul toplantısında benimsendi.

C. POLİTİKA III: MESLEĞE VE TOPLUMA KARŞI YÖRESEL SORUMLULUKLARIN KURUMSALLAŞTIRILMASI

Mimarlar Odasının 1994 yılı 34. dönem yönetimi, 'odayı ve mimarlık mesleğini yasayla güvence altına alma, yasalarda demokratikleşme' söylemine ek olarak, "mesleğe ve topluma karşı yöresel sorumlulukların kurumsallaştırılması" olarak yeni bir politika başlığı tanımladı. Bu kapsamda, kültürel miras alanlarının tescillenmesi ve koruma konularında çalışmalar yapıldı. Bu konuda 'Cumalıkızık' köyünün sit olanı ilan edilmesi ve dünya kültür miras listesine alınması, odanın etkin rol oynadığı bilinen en iyi örnektir. Böylelikle Mimarlar Odası, toplumsal sorumluluk, toplumda kent ve çevre bilincini geliştirilme görevlerine ilişkin kendine bir faaliyet alanını da tanımlamış oldu. 33. dönem yönetiminin icraatı olan, on maddelik, meslek ilkelerinin kabulü, S.Z.Pekin başkanlığındaki 34. dönem Oda yönetimi için kılavuz oldu. Bu ilke kararları ile icraatı öngörülen kurumsal yapılar, 'sendika, sigorta [12], mesleğe kabul şartları, mimarlık enstitüsü', oluşturmak için girişimler başlatıldı [13].

Mimarlık dergisinin 260. Sayısında, Mimarlar Odası yönetiminin yayınladığı 'Öncelikli Eylem Planı' [14], derginin 261. Sayısında da 'yıl içerisinde işlenecek konu başlıkları'nı üyelerine duyurdu [15]. Oda yönetimi bu metinleri, 'birimler arası koordinasyon, üye katılımı ve eylem' başlıklarındaki faaliyetlerin bir birikime dönüşmesi amacı ile yayınladığını bu metinlerin giriş kısmında üyelerine duyurdu. İlerleyen süreçte, Mimarlar Odası için bu eylem planı, 'Mimarlık Politikasına Doğru' metnine kadarki dönemde, yürütülen faaliyetlerin büyük bir kısmı için kılavuz oldu. (ör; Mimarlık ve Çocuk, şube odalarda gerçekleştirilen Kent ve Demokrasi platformları,... bu çalışmalardan bazılarıdır.)

34. dönem Mimarlar Odası yönetimi, 1994 genel kurulunda alınan karar doğrultusunda 'Odanın yeniden yapılanması ve Mimarlık Yasa önerisini değerlendirmek' [16] üzere, 16 Mart 1995 de Ürgüp Olağanüstü Kurulu adıyla toplandı. Bu toplantıda, "Mimarlığın toplum yararına etkinliği ve yükümlülüklerinin hukuki güvencelerle sağlanması", Mimarlar Odasının öncelikli politikası olarak ilan edildi. Fakat genel kurulda 'Mimarlık meslek yasa önerisi' ve tüm değişiklik önerileri ile düzenleme teklifleri yeterli oyu alamadı ve dolayısıyla reddedildi. Yani 32. Dönem Mimarlar Odası yönetiminin ortaya koymuş olduğu 'Mimarların yükümlülüklerinin hukuki güvencelerle sağlanması' politikası Mimarlar Odası üyelerince yürürlükten kaldırıldı.

Odanın ürettiği söylem ve tanımladığı sorunlar, gerçeklikle örtüşmelerine karşı, çözüm önerilerinin bir toplum mühendisi tavrı içermesi ve gerçeklik zeminini göz ardı etmiş olması bu sonucu doğuran etkenler olarak görülebilir. S.Z.Pekin ve 34. dönem oda yönetim kurulu, yürüttükleri politikanın reddedilmesini kendi misyonlarının oda üyelerince geçersiz kıldığı şeklinde değerlendirerek istifa ettiler [17].

D. POLİTİKA IV: ÇOĞULCULUK İÇİN YÖNTEM ARAYIŞI; MİMARLAR ODASI ÜYELERİNİN ÇEŞİTLİLİĞİNİ, KİMLİKLERİ, MİMARLIK EĞİTİMİNİ, KAMU YÖNETİMİNİ, DOĞAL VE KÜLTÜREL VARLIKLARI GÖRÜNÜR KILINMAK

Ürgüp Olağanüstü Kurulu sonrası Oda yönetimini devralan yeni yönetim (35. dönem), sonraki dönemlerce de benimsenen, “oda üyelerinin çeşitliliğini görünür kılmak” politikasını ortaya koydu. 35. Dönem yönetimi, Mimarlar Odası üyelerinin çeşitliliğinin görülmesi gerektiğini ve odadaki tek-sesliliğin ‘psüdo (-miş gibi)’ bir durum olduğunu, dergi içeriğine ilişkin yapılan eleştirilere karşı verilen cevaplarında sıklıkla tekrarlamıştır.

35. dönem yönetimi de yürüttükleri sıradışı tutumun oda üyelerince yoğun şekilde eleştirilmesi nedeniyle 1997 yılında istifa etti. Yapılan Mimarlar Odası 35. dönem Olağan Genel Kurulu sonrası, göreve başlayan yeni yönetim kurulu (35. dönem), derginin 269. sayısında bir bildiri yayınlamak; devlet yöneticilerinin sivil toplumun görüş ve düşüncelerini dikkate almadığını, buna rağmen sivil toplum dinamiklerinin örgütlü birlikteliğini kendilerine dayanak aldıklarını ve siyaseti takip ederek eleştireceklerini açıkladı [18].

35. Dönemde ortaya konulan program günümüze kadar (47. Dönem) genel çerçeve olarak kabul görmüş ve hayata geçirilmeye çalışılmıştır. Örneğin 36. dönem politikası, 35. dönemde benimsenen politikayı, yayınlanan eylem planındaki başlıkları takip ederek sürdürdü. 36. dönemin gündem başlıkları; kimlik, mimarlık eğitimi, kamu yönetimi, doğal ve kültürel varlıkların korunması oldu.

35. dönem Mimarlar Odası yönetimi, Mimarlık ortamının sorunlarını tanımlama ve bu sorunlara istişare içerisinde çözüm arama çabasında oldu. Bu kapsamda, derginin 271. sayısında, ‘Mimarlar Odası çalışma programı hazırlığı’ adıyla; tartışma başlıkları ve çalışma konuları tanımladıkları bir bildiri yayınladı [19]. Bu bildirideki başlıklardan bir kısmının bu dönemde, büyük bir kısmının da sonraki dönemlerde eylemsel kılındığını görmek, 35. Dönem yönetim ve dergi yayın kurulları sert ve yoğun eleştirilere muhatap olmuş, buna rağmen yönetim dönemi sonuna kadar görevde kalarak direnmekteki ısrarlarının [20], Türkiye Mimarlığı için ne denli yapıcı olduğu, günümüze kadarki süreçte benimsenen tutumları dolayısıyla fark edilir. Bu bağlamda Mimarlık dergisi 272. Sayısında, yayın kurulu dergiyi mimarların bilgi üretme ve bilgiyi topluma mal-etme mecrası olarak ‘sıfır uzaklık’ aracı yapmayı arzuladıklarını duyurmuşlardır [21].

35. dönem yönetim kurulu, yönetim döneminin sonuna geldiğinde, derginin 280. sayısında, yaşanan sürece ve karşılaşılan sorunlara ilişkin “Giderayak Bir Analiz Kimler Tasarım-Dışı Bir Mimarlık Ortamı İstiyor” başlığıyla bir değerlendirme yayınladı [22]. Bu değerlendirmede, ortamın temel sorununun ‘tasarım-dışı bir mimarlık ortamı talebi’ içerisinde olanlardan kaynaklı olduğu, donanımsızların günceli yakalayamayacağı, gerçekliği tasarlayamayacağı ve tasarıma inanmayacağı, bu nedenle de sorunlarını hukuki mecrada çözme çabası ile Odanın hem meşruiyetini yitireceği hem de mesleki farklılaşma değil ayrımcılık üreteceğini belirttiler.

35. dönem çok geniş bir program ortaya koymuş ve bu program üzerinden ortamdaki çalışmaların toparlanmasını teşvik etmişlerdir. Bu bağlamda 1991 yılında başlayan ‘Mimarlık Vakfı’ kurma çalışmalarının tamamlandığını, E.Omacan’ın süreci anlattığı bir metin ile dergiden öğreniriz [23].

35. dönemin görev süresi bitiminde, Genel Başkan F.Söyler, çalışma döneminde yapmayı planladıkları fakat gerçekleştiremedikleri; odanın dönüşüm ve yeniden yapılanması için uluslararası platformlara etkin katılım, ‘mesleki uygulama standartları’nın meslek içi eğitim programı ile üyelere aktarımı, oda için çevre - kent - konut konularında politika belirleme, meslek alanı ve meslektaşlara ilişkin çok yönlü istatistik çalışmalar yapma, istatistikler ışığında oda ve üyelerine ilişkin perspektif oluşturma projelerini dergide yayınlanan metninde açıklamıştır [24]. Derginin ilerleyen sayfalarında A.Çelik, 35. dönem yönetim politikasını özetlerken, 35. dönem yönetimini, Odanın heterojen yapısını bilen, çoğulculuk için yöntem arayışında bir yönetim olarak tanımlamıştır. Bunun için ‘haber bülteni’ yayınları, II. Türkiye Mimarlığı Sempozyumu ve ‘Van Dosyası’ çalışmaları yapmış ve yayınlamış, Mimarlık Dergisinin yayın

komitesinin yaklaşımı doğrultusunda dönemin kimliğini yansıtmaya gayretinde sahte çoğulculuğu ifşa edildiğini belirtmiştir [25].

E. POLİTİKA V: SİVİL ANAYASA HAZIRLANMASI; MESLEK ODALARI VE SİVİL TOPLUM KURULUŞLARININ KENDİ İÇ DEMOKRATİK YAPILARINI KURUMSALLAŞTIRMASI VE İŞLER KILMASI.

36. Dönem genel kurulu sonrası, yayınlanan genel kurul sonuç bildirisinde, temel politikanın, sivil bir Anayasa yapılması olduğu belirtilerek, bunun için meslek odaları ve sivil toplum kuruluşlarının kendi iç demokratik yapısını kurumsallaştırmaları ve işler kılmaları önerilmiştir. Bu politikanın önerilmesindeki gerekçelerin, ‘çevre-kent-konut alanlarına ilişkin yaşanan gelişmelerdeki kötüye gidiş’, ‘mimarlık alanındaki okullaşma ve eğitim içeriğine ilişkin olumsuz izlenimler’ ve ‘yerel yönetimlere ilişkin yapılacak reformun rant odaklı olması’ olduğu belirtilmiştir [26].

36. dönem yönetimi, oda politikasını ancak bir yıl sonra Bursa’da düzenlenen Olağanüstü Genel Kurul’da ilan etti. H.Topal’ın toplantı izlenimlerini aktardığı, derginin 287. sayısındaki metninden toplantı gündeminde; mimarlığı koruma ve geliştirme kuralları hazırlanması ve kanunlaştırılması, bakanlık tarafından hazırlanan ‘Mühendislik ve Mimarlıkta Mesleki Yeterlilik Kanun Taslağı’ [27], ÇED yönetmeliği, Oda yönetmelikleri, Avrupa Birliği Eğitim şartı, UIA mesleki uygulamada ‘Uluslararası Profesyonellik ilkeleri’ ve çeşitli yasalarda değişiklikler üzerine görüş ve öneriler olduğunu öğreniriz.

37. Dönem Merkez Genel Kurulu’nda (14-16 Nisan 2000), 36. dönemdeki yönetim yeniden seçildi. Dergiye yansıdığı şekliyle, gözlem ve değerlendirmeler ile mimarlık ortamı için yeni açılım geliştirme gereği 37.dönemde daha yoğun ve yüksek sesli olarak ifade edilmeye başlanmıştır. Bu bağlamda F.Söyler [28] manifesto kaleme almış, B.İdil [29] Avrupa Birliği katılım sürecini bir açılım olduğunu ifade ettiği bir metin yayınlamıştır. Ayrıca 37. dönem yayın kurulunun göreve başlaması ile 294. sayıdan itibaren dergi içeriğinde konu gruplamaları yapılmaya başlanmış ve dergiye gönderilen görüş, eleştiri ve değerlendirmeler ‘Forum’ başlıklı bir bölümde toplanmıştır. 294. sayının giriş yazısında, derginin mimarların geniş katılımını sağlamak ve çok-sesliğe imkân sunularak, meslektaşların görüş, eleştiri ve çalışmalarını yayınlamayı amaçladığı açıklanmıştır [30].

37. dönem Genel Kurul Bildirisi, Mimarların ve ülke mimarlığının yaşadığı sorunlara ve gelecek vizyonuna ilişkin hükümete gerçekleştirmesi için politika önerileri sunumu olmuştur [31]. Burada, Oda yönetiminin kendine ilişkin sorumluluk alanı tanımlamamış olması ve hiçbir taahhütte bulunmadan hükümete görev ve yükümlülükler tanımlayarak tavsiyeler sunması dikkat çeker.

37. dönem Genel Kurul toplantısında, belirlenen gündemdeki 3. madde uyarınca, gerek ‘mimarlık yasası’na yönelik, gerekse UIA Pekin şartları gereği çeşitli komisyonlar oluşturulmuştur [32]. Ayrıca hükümetin yürürlüğe koyduğu “Yapı Denetimi Kararnamesi” başta olmak üzere eğitim, deprem, imar gibi pek çok konu tartışılmıştır. Genel Kurula ilişkin dergide gözlemlerini yayınlayan G.Tümer’in belirttiğine göre 37. dönem yönetiminin çalışmaları çoğunlukla koruma alanında oldu [33]. Mimarlar Odasının, ‘Tarihi Kentler Birliği’nin kurucularından ve daimî meclis üyesi olduğu öğrenilir [34]. Bir önceki dönemde başlayan girişimler bu dönemde kurumsallaşmaya ve politikalarına ilişkin kamuoyu oluşturmaya başlamıştır.

37. dönem başkanı Oktay Ekinci görevi devrederken ‘Mimarlar Odası’nın ülkenin ve toplumun genel çıkarlarını önde tutan, çevre ve kültür değerlerine duyarlı bir imar ve kentleşme süreci için izlediği kararlı politikalarını yeni yönetimle daha da güçlendirerek sürdüreceğinden eminiz...’ [33] diyerek çalışmalarının arkasının getirileceğine olan inancını dile getirmiştir.

F. POLİTİKA VI: MİMARLAR ODASI TOPLUM HİZMETİNDE; SÜRDÜRMEYE VE YAŞANMAYA DEĞER BİR MİMARİ ÇEVRE KALİTESİ OLUŞTURMAK VE GELİŞTİRMEK.

38. dönem oda yönetimi, görevi devralırken yeni yönetim döneminin politikalarını, 1970’li yıllarda Mimarlar Odasının “Mimarlar Odası Toplum Hizmetinde” sloganı bağlamında üreteceklerini ve temel yaklaşımlarının, ‘... , sürdürmeye ve yaşanmaya değer bir mimari çevre kalitesi oluşturmak ve geliştirmek’ olduğunu beyan etmiştir. Bunun için, yapı üretim ve karar süreçleri ile sağlıklı ilişkiler kurulması, tasarım-üretim-denetim ve kullanım süreçlerinde yer alan mühendis ve plancılar ile kolektif çalışma ortamı oluşturmanın temel politikaları olduğunu açıklamıştır [35]. Bu kapsamda, kentlerin yenilenmesi, yeniden yapılanması, depreme ve diğer doğal afetlere hazırlanması, doğal ve kültürel değerlerin yaşatılması, yaşama katılması ve geliştirilmesi, temel çalışma konuları olarak belirlendi.

Ayrıca, Avrupa Birliği ve Hizmetlerin Ticareti Genel Anlaşması (GATS) sözleşmeleri çerçevesinde, yapı üretimi ve mimarlık hizmetlerinin dışa açılması aşamasında, ulusal çıkarların korunması amacıyla, bilgilendirme ve dayanışma oluşturulması, UIA platformlarında mimarlar için uluslararası dayanışma olanakları aranmasının ana çalışma başlıkları arasında olduğu da ifade edilmiştir [36]. F.Söyler’in ifadesiyle ülke, ‘Hizmetlerin Ticareti Genel Anlaşması çerçevesinde serbest pazar koşullarına sınırsızca terk edilmiştir.’ Ayrıca, 38. Dönem yönetimi, bir önceki dönemde ilan edilen politikaya ilişkin ‘demokratik, açık, katılımcı, paylaşımcı, dayanışmacı bir Mimarlar Odası oluşturmak’ için örgüt birimlerinin çalışmalarında yalnızca koordine edici bir tutum takınacağını duyurmuştur [37].

38. dönem yönetim kurulu, yeni dönemde yapılacak çalışmalara ilişkin tüm şubelerin katılımı ile yeni dönem çalışmalarını belirlemek ve bu çalışmalara ilişkin mutabakat oluşturarak eylem birliği sağlamak amacıyla bir toplantı düzenledi. Derginin ‘Forum’ bölümünde, şube başkanları ve temsilcilerinin toplantıya ilişkin değerlendirmeleri; odanın, eylem planı ve politika oluşturma konusundaki tutumunun anlaşılmasına yönelik önemli bilgiler içerir. Bu metinlerin tamamı incelendiğinde, uzlaşılan sorun, eylem ve politikalar yedi ana başlıkta toplanmıştır. Bunlar; uluslararası gündemin yakından izlenmesi ve ülkemizde gerekli değerlendirme yapılarak tedbir ve girişimlerde bulunulması; genel demokratik ve sosyal sorunlara ilişkin duyarlılık ve yerel inisiyatif oluşturulması; kamuoyu ve mimarlar nezdinde güçlü bir Mimarlar Odası oluşturulması; mesleki eğitim; mimarlık hizmetleri yetki kullanımı; yapı sektöründeki yetki - sorumluluk karmaşası; doğal ve yapı çevrenin korunması konularıdır.

38. dönem Oda yönetimi, gerek 2004 yılında Mimarlar Odasının 50. Yılı kutlamasına gerekse İstanbul’da yapılacak olan UIA 2005 toplantısı nedeniyle medya araçlarına ve bu araçlar ile Mimarlık mesleğinin kendi disiplini içerisindeki durumunu değerlendirmeye odaklandı. Bu çalışma dönemini öncekilerden açık ara farklı kılan ‘örgütsel yenilenme’ konusuna yaptığı vurgu olmuştur [38]. Kendini sorgulama adına, mimarlık camiasında ve kamuoyunda hem gündem hem de diyalog zemini oluşturmaya yönelik yayın ve çalışmalar yürütmüştür. Bu tutumun Mimarlar Odası dönem başkanı Yücel Gürsel ile de yakından ilişkili olduğu, derginin 320. sayısında yayınlanan, Odanın ‘50 Yıla Tanıklık’ başlıklı ‘Dosya’da yeralan, Mimarlar Odasının 50 yıllık süreçteki politikalarını değerlendirdiği metninden anlaşılır. Y.Gürsel bu metninde, odanın politikalarının on-altı farklı başlıkta toplanabileceğini belirttikten sonra, mimarlığa ilişkin iki temel politikanın; ‘devletin konut yapması’ ve ‘öncü planlama paylaşırma’ politikalarına ilişkin Mimarlar Odası’nın çalışma yapmamış olması nedenleriyle Odanın söz sahibi olamadığı tespitini paylaşmıştır [39]. Konuyu konut ve yerleşim politikaları özelinde değerlendirmiştir. Bu bağlamda konut politikalarına ilişkin otuz yıl aradan sonra ikinci konut kurultayı TMMOB ile birlikte 38. Oda yönetimi döneminde gerçekleştirilmiştir [40]. Bu kapsamda beş farklı bölgenin merkez kentlerinde çalıştaylar düzenlenmiş ve ‘Kentsel Dönüşüm Sempozyumu’ gerçekleştirilmiştir. TMMOB II. Mühendislik Mimarlık Kurultayı sonuç bildirgesi de 38. Oda yönetimi döneminde yayınlanmaya başlayan ‘Mimarlık Haberler’ bülteninin 94. sayısında yayınlanmıştır. Bildiride, mesleki yeterlilik-mesleki yetkinlik-meslek eğitimi, mesleki denetim, örgüt birimlerinin hizmet üretimi, mesleki davranış ilkeleri, örgüt misyonu başlıklarında kararlar alınmıştır.

Mecrayı genişletme politikası bağlamında 38. dönemde, gazetelerde köşe yazısı kaleme almaktan, gazetelerin ünlü köşe yazarlarına ve mimar köşe yazarlarına mimarlığın kamuoyunda neden karşılık bulamadığına ilişkin anket yapılmasına, dergide birçok dosya ve forum ile konu farklı yönleri ile değerlendirilmiştir. Bunun yanında, DOCOMOMO organizasyonu Türkiye komitesinin 2002 yılında kurulması ile Modern Türkiye Mimarlığının belgelenmesi ve kamuoyu gündemine taşınmasına yönelik yayın ve anket çalışmaları ile ‘Türkiye Mimarlığı’ konusu, , farklı bir yönü ile gündemde tutmuş olduğu görülür. Yine bu dönemde Mimarlık dergisinde, Avrupa Birliği ve Hizmetlerin Ticareti Genel Anlaşması (GATS) bağlamında yasal düzenlemeler ve bu süreçlere hazırlık amacı ile yapılan çalışmalar ile yaşanacak süreçlerin alanı nasıl etkileyeceğine yönelik söyleşi ve değerlendirmeler yayınlanmıştır. Bununla ilişkili olarak TMMOB ile ortaklaşa, en son otuz yıl önce düzenlenen ‘Konut kurultayı’nın ikincisinin 2003 yılında toplandığını görürüz.

Sürdürmeye ve yaşanmaya değer bir mimari çevre kalitesi oluşturmak ve geliştirmek amacına yönelik olarak dergi yayınlarına bakıldığında; ilk olarak Mimarlar Odasının yoğun hazırlık yaparak 2002 yılında Berlin’de düzenlenen UIA toplantısına katılımı arifesinde, ulusal bir gazetede köşe yazısı kaleme alan T. Altınar, ‘inşaat sektörü sahip çıkmadığı için Türk mimarı dik duramıyor. Mekânsal bellek giderek yok oluyor, kendine yabancılaşıyor...’ [41] dedikten sonra Berlin’de yapılacak etkinliklere değinerek, 2005 yılında da bu toplantının Türkiye’de düzenleneceğini duyurmuş ve Türk Mimarlarının içerisinde buldukları koşullara rağmen yürütmüş oldukları faaliyetlere dikkat çekmişti. T.Altınar, derginin ilerleyen sayılarında konuyu mimarlık konusunda medyanın ilgisini sorgulama amacıyla ilk olarak [42] gazete köşe yazarlarından görüş talep etmiş fakat çok az sayıda cevap almış, ardından [43] gazetelerdeki mimar köşe yazarlarına mimarlığın neden medyada kendisine yer bulamadığı sorusunu yöneltti.

Ardından, 2002 yılında ‘Uluslararası Modern mirasın belgelenmesi ve korunması organizasyonu’ (DOCOMOMO) Türkiye komitesinin kurulması sonrası, Modern Türkiye Mimarlığının tanınması ve belgelenmesi çalışmaları için Mimarlık dergisinin 311, 312 ve 313. sayılarında ‘Soruşturma’ başlığıyla anket ve dosya yayınlandı. Cumhuriyet dönemi mimarlığına ilişkin olarak en bilinen ve beğenilen modern mimarlık eserleri ile bu dönem yapılarının tespiti ve belgelenmesi çalışmaları başladı.

Dergi yayınlarında, bu dönemde genel olarak mecra taramaları ve enformasyon toplama çalışmaları görülür. Bu kapsamda, derginin 313. sayısının ‘DOSYA’ [44] bölümünde yer-alan değerlendirme ve görüşler genel olarak durum tespitidir. Sait Kozacıoğlu, Mimarlık eğitiminin sürekli olarak bozulmakta olduğunu, Türkiye ve Mimarlar Odası gündemindeki konuların (GATS tartışması, AB süreci, Avrupa Mimarlar Birliği Beyaz Kitabı, UIA 2005 Kongresi, Yaşasın Kentler Yarışması) sürekli olarak dışarıdan geldiğini ifade etmiştir. F. Söyler ise, küreselleşme odaklı algı biçiminin mimarları asgari müşterekte birleştirmekten uzak bir kavrayış biçimi olduğunu, oda yöneticilerinden biri olarak, süreçleri anlatarak, Mimarlar Odasının kendi dışında gelişen uluslararası konjonktürün ülke ve dünya mimarlığı bağlamında yapıcı olarak yorumlanması için gerçekleştirmiş oldukları uluslararası faaliyetleri ve almış oldukları sonuçları anlatmıştır [45].

37. dönemin ağırlıklı gündemi olan ‘koruma’ konusu, 38. dönemde DOCOMOMO çalışmaları bağlamında Modern Türkiye Mimarlığı ağırlıklı olmak üzere, kentleşme ve doğanın tahribatı konularındaki güncel sorunları gündeme taşımıştır.

Derginin 309. Sayısında, toplantıda alınan karar ile ‘Mesleği Uygulama ve Denetim Komitesi (MUDK)’nin, “mesleki standartların yükseltilmesi çalışmalarını yürütmesi kararlaştırıldı. Yine bu toplantı gündeminde “mevzuat ve standartlar,” “mesleki denetim,” “Yapı Denetim Yasası,” “Sicil Durum Belgesi,” “Kamu İhale Kanunu,” “danışmanlık hizmetleri,” “tüketicinin korunması,” “mimarlık eğitimi, meslek içi eğitim, Oda içi eğitim” konuları yer almış fakat dergide bu konulara ilişkin kararlara yer verilmemiştir.

Mimarlar Odası yönetimi, altyapısını hazırladıkları ana faaliyet alanlarının ‘mimarlık eğitime katkı ve meslek içi eğitim programı ile yapı ve meslek standartlarını geliştirme programı’ olduğunu duyurdu [46]. Kamu ihale yasası ile “Hizmetlerin serbest dolaşımı” konusunda DPT’de yapılan çalışmalarla ilişkili kurulan çalışma grubuna mimarlar Odasının ilettiği oluğu, ‘Mimarlar ve uluslararası rekabete

açılma koşulları' başlıklı görüş metni yayınlanmıştır. Bu metinler, güncel duruma ilişkin tespitler içeren, siyasal iktidarın inisiyatifindeki konulara ilişkin politikalar önerilmiştir.

Mimarlık Haber Bültenin 93. sayısında, 38. Yönetim döneminde ortaya konulan 6. politikayı destekleyici konular ele alınmıştır. Kültür politikaları sorunsal olarak ele alınmış, bu bağlamda; dünyada ve Türkiye'de kalkınmayı, sosyal ve kültürel boyutundan koparıp yalnızca ekonomik boyuta indirgeyen kalkınma anlayışının yağma ekonomisi ürettiği ifade edilmiştir. Bunun sonucu olarak talanın yok ettiği kentsel çevre karşısında dünyada koruma anlayışının geliştiği; kültür ve kalkınmanın birbirinin gerekleri olduğu; bu bağlamda ülkemizdeki kentleşmeye ilişkin politikalarının 'kültürel koruma-yapısal iyileştirme-yeniden işlevlendirme' odaklı olacağı ifade edilmiştir. Bültenin 95. sayısında, Bursa'da toplanan Merkez Danışma Kurulunun 'deprem, imar affı ve sağlıklı kentleşme' konularındaki tespitleri duyurulmuştur. Ayrıca odanın 'Yüksek Eğitim Sisteminde Köklü Değişiklikler Yapılmalı, Üretimi Amaçlayan Bir Eğitim Seferberliği Başlatılmalıdır' başlığıyla yayınlanan basın bildirisini, eğitim konusunu sürekli gündeminde tutan odanın bu alanda politika istemini dillendirmesidir.

G. POLİTİKA VII: MİMARLIK YASASI VE ÖZERKLİK: YEREL YÖNETİMLER YASASI, MESLEK HUKUKU, SÜREKLİ MESLEKİ GELİŞİM MERKEZİ, UIA 2005 İSTANBUL MİMARLAR BİLDİRGESİ

39. dönem O.Ekinci'nin üçüncü başkanlık dönemidir. O.Ekinci, Mimarlık kamuoyu oluşturmak için medya araçlarını başarıyla kullanmıştır [47]. Döneminde, "2005 İSTANBUL'A DOĞRU... Mimarlar Odası Türkiye Kongreleri" ile hem mimarların hem de kamuoyunda Mimarlık konusunun gündemde yer-alması sağlanmıştır. Bu dönemi karakterize eden temel tutum kentleşme ve koruma yaklaşımları oldu. Bu kapsamda kent dosyaları, kentsel koruma konuları dergide sıklıkla işlenmiştir.

739. dönem oda yönetimi göreve başlarken yayınladığı "39. Dönem Çalışma Programı" [48] başlıklı bildiri, Avrupa Birliği'ne katılım süreci çalışmaları nedeniyle yönetsel ve idari yapının değiştiği ve buna bağlı olarak meslek ortamı ile hukukunun da değiştiği belirtilmiştir. 39. Dönem yönetimi, Oda ve mesleği etkileyecek bu değişim ve dönüşümlerin ağırlıklı gündem konusu yapılacağını açıkladı. "Mesleki Yeterliliklerin Düzenlenmesi ve Tanınması Hakkında Kanun Tasarısı Taslağı," 2003 tarihli "Topluluk Yasalarının Uygulanmasında Meslek Kuruluşlarının Rolüne İlişkin Karşılaştırmalı Araştırma" raporu esas alınarak Mimarlar Odasının görüşlerini yedi ana başlıkta sundu [49]. Bu bağlamda, doğa, tarih ve kentsel değerlerin korunması için duyarlı; meslek hukuku, imar düzeni ve koruma mevzuatı gibi konularda siyasal iktidarla iletişim içinde çalışmanın amaçlandığı belirtilmiştir.

39. dönem yönetimi; 'yasama süreci/meslek hukuku', "Sürekli Mesleki Gelişim Merkezi" (SMGM) kurulması; Mimarlık ve Eğitim Kurultaylarının sürekliliğinin sağlanması, UIA 2005 İstanbul Dünya Mimarlık Kongresine hazırlık ve düzenlemeleri; Mimarlar Odası'nın 50. yılı için ülkemizdeki mimarlık ve kentleşme tarihi ile Mimarlar Odası tarihinin kayıt altına alınması çalışmalarını öncelikli çalışma başlıkları olarak duyurdu.

39. dönemin ilk çalışmalarından biri "Mimarlar Bildirgesi" oldu. Bu bildiri, bir önceki dönemde Mimarlık disiplininin kamuoyuna açılma çabalarındaki tecrübeyi göz önünde bulundurarak çeşitli saptama ve öneriler ortaya koymuştur. Bu kapsamda, bildiri metninde '*Türkiye'yi yeniden mimarlıkla ... buluşturma görevi ve sorumluluğu, ... mimarlık dışında, ama mimarlığı doğrudan "etkileyen" ... kurum, kesim, sektör ve kişilere de düşmektedir*' değerlendirmesi önemlidir [50]. Çünkü bu disipline yönelik çalışmalar, disiplinler arası ve kamuoyunun katılımına açık tutulması gerektiğinin kayıdır.

Bildirinin, Mimarlık alanına ilişkin yapılacakları başka disiplin alanlarındaki gelişmelere bağlı görmesinin nedenlerinden biri, Mimarlar Odası'nın da katkıda bulunduğu 'Yerel Yönetimler Yasası' çalışmalarında ortaya çıkan durumdur. 39. dönem Oda başkanı O.Ekinci'nin aktardığına göre, yerel yönetimlere ilişkin yasa çalışmalarında '*... "imar" reform yapmayı sürekli başka baharlara erteleyen siyasal anlayışlar egemen olduğu sürece, değil belediyelerde, hayatın hiçbir alanında reform yapılamayacak gibi görünüyor... Bunun nedeni ... imar alanında süregelen plansızlık ve hukuksuzluğun,*

aynı zamanda ülkedeki en yüksek rantları sağlayan bir “talan ekonomisine” hukuksal zemin oluşturması...’ [51] dir.

Bunlara ek olarak Mimarlar Odası, UIA 2005 İstanbul hazırlıkları kapsamında ülkenin yedi bölgesinin merkez kentlerinde ‘UIA 2005 İstanbul’a Doğru: Mimarlar Odası Türkiye Kongreleri’ düzenleyerek, bölgelerin özgün sorun ve gerçeklikleri üzerine, mimarlık ve kent bağlamında görüşler toplamıştır.

III. SONUC

TMMOB Mimarlar Odası, 1961 Anayasasına referansla (getirilen sosyal devlet ilkeleri bağlamında) “Mimarlar Odası Toplum Hizmetinde” söylemini 1970’li yıllarda kendisine temel ilke olarak belirlemiştir. Bu Anayasadaki “planlı kalkınma,” “konut – sağlık yaşam hakkı,” “eğitim hakkı” gibi temel ilkeler doğrultusunda Mimarlar Odası’nın ilgi alanı genişlemiştir. Bu gerekçe ile konut ve kentleşme sorunları ile “kent topraklarının kamulaştırılması” konularında odanın geliştirdiği eleştiri ve öneriler, TMMOB Mimarlar Odası’nın sorumluluk alanı olarak görülmektedir. Bu kapsamda Oda kendisi için hak ve hukuk talep etmekte, bu nedenle de “mimarlık yasası” yapılmasının gerekliliğine inanmaktadır.

1982 Anayasası sonrasında, seksenli yılların ortasından itibaren sivil toplumun güncel durum içerisinde kendini yeniden yapılandırma sürecine girdiği görülür. Mimarlık bağlamında gerek yaşam pratiklerinin gerekse nesnelere ilişkin biçimsel taklitlerin toplumda güvensizlik ve tereddütlere neden olduğu, bu bağlamda da Mimarlar Odasının ‘kendini gerçekleştirme-arama’ girişimleri başlattığı görülür. Bu bağlamda, ulusal bir mimarlık ödülünün kurumsallaştırılması, mimarlık yarışmalarının önemsenmesi ve geliştirilmesi, mimarlık yasası çalışmaları, mimarlık eğitiminin standarda kavuşturulması ve içeriğinin yeniden yapılandırılması talebi, Türkiye’de mimarlık pratiğinin değerlendirilmesi için ‘Türkiye Mimarlığı’ toplantı ve sempozyumları organize edilmesi ile başlatıldı.

Türkiye’de ana akım olarak, siyaset içerisinde varlık bulan (kendisini gerçekleştiren) Türkiye mimarlığı, uluslararası gelişmeler karşısında kendi politikasını ve eylem alanını biçimlendirme ihtiyacını, değişim/ ‘günceli yakalama’ (çağdaşlaşma) talebinin gereği olarak görmüştür. TMMOB Mimarlar Odası, ‘Mimarlık Politikası’ ve ‘Yasal Haklar’ üzerine eylem programını ilk olarak, Türkiye Mimarlığını tanıma, tanıtma ve nitelikli kılma amacıyla 1986 yılında Bursa’da düzenlediği toplantı sonucu yayınladığı ‘Bursa Bildirisi’ ile başlatmıştır.

Doksanlı yıllarda TMMOB Mimarlar Odası, öncelikle merkezi yeniden tahayyül etmek ve kurmak/icat etmek istedi. Politika olarak ‘Mesleğe ve topluma karşı yöresel sorumlulukların kurumsallaştırılması’ söylemini benimseyip geliştirdi. Duyulan yeni kavram ve politika ihtiyacına istinaden açılımlar geliştirilmek istendi. Örneğin ‘demokrasi’, mimarlık politikası için araçsal kılınmak istendi.

Güncel gerçekliklerin eski söylem kalıpları içerisinde anlamlandırılması, bu kalıplarla çözümler geliştirilmeye çalışılması, kavramların ve söylemin sorgulanmaması; politika geliştirilirken çelişkiler yaşanmasına, üretilen politikaların da hayata geçirilmesinde sıkıntılar yaşanmasına neden oldu. Bu duruma örnek olarak, Habitat toplantıları için oluşturulan gündem üzerine ifade edilen, ‘çevre ve toplumun bütünleştirilmesi için duyarlılığın artırılması’, ‘fiziki çevre ve ihtiyaçların yeniden tanımlanması’ taleplerinde görülür. Bu konuşma dili, kendisinde toplum adına konuşmayı meşru gören bir dilin varlığının ikame ettiğinin göstergesidir. Statik bir merkez ve bunun işlevselliği üzerinden kalkınan toplum ve üretilen söylem, bu kavrayış her zaman için gerçekliği yansıtmaktan uzak kalmıştır.

Şunu hatırlamakta fayda var; ‘söylem’, bütüncül eylem mekanizması sunması bağlamında bir sınır ve kimlik tanımadır. Anlam söyleme dayalıdır. Anlamlandırma, bir formasyon/fark, yeni bir görme ‘biçimi’ tanımlama yetisinin, belirli sınıflandırma sistemleri (anlam düzenleme mantığı) içerisinde, örgütlenmesidir [52]. Sınıflandırma sistemlerinden/ düzenlemelerden, kolektif toplumsal pratiklere dayanak olan söylemsel bütünlükler, kavramlar üretilir.

Mimarlar Odası toplantıları ve dergide yayınlanan metinler içerisinde gerek pratik alanda gerekse söylemde ‘bütünlük’ talepleri 35. dönem içerisinde ortaya çıkan 4. Politika içerisinde ‘çoğulculuk için yöntem arayışları’ olarak güncel algı ve kavrayışa göre yenilenmiştir. ‘Bütünlük’, ‘bütünlüşme’ talepleri, sanıldığı aksine ‘demokrat’ jargonu değildir. Esas olarak mimarları toplumda kurucu nitelikte gören, dayatmacı/totaliter, mecrayı daraltan, diyalogu tıkayan aydınlanmacı söylemin argümanlarıdır. Bunun yerine Oda ‘çoğulculuk’ söylemini geliştirmiştir.

Güncel demokrasi söylemi üzerinden mimarlık politikası çalışmalarını yeniden düşünmek gerekir. Z.Bauman’ın özerklik projesi olarak “agora” kavramı, söylem kalıplarını kırmada önemli bir araçtır. ‘Özerklik’, ortamın tüm yerleşik değer ve düşüncelerin terkedilmesidir. Özerkliğin gerçekleşmesi için birey kadar toplumun da bu bilinci paylaşması gerekir. Yani özerklik hem kamusal hem de özel alana ilişkindir. Özel ve kamusalın kesişim bölgesi olması nedeniyle ‘agora’ özerklik alanıdır. Konuya ilişkin birçok düşünürün de ifade ettiği üzere, demokrasiler ancak kendimizi özne olarak inşa etmeye ve savunmaya olanak bulduğumuz kurumsal güvenceler sağlandığında varlık bulur [53].

Totaliter eğilimler ‘agora’ yani bu buluşma alanını ortadan kaldırma ve H.Arent’in ifadesiyle ‘insanları gereksiz kılma’ tutumundadır. Bu tutum şöyle hayata geçirilir; öncelikle topluma ideal bir durum/erek tahayyül ettirilir ve ideoloji de buna erişmek için işlevsel bir araç olarak sunulur. İktidar ve politika arasındaki mesafenin açılmasından dolayı, “agora” bugün için tam tersi eğilimlerin sahnelendiği, sahipsiz/politikasız başına buyruk, faillerin kuklalarının gösteri alanı olmuş durumdadır. Bu bağlamda görmekte/izlemekte olduğumuz bu alandaki faaliyetler edimsel değildir. Failler, agoraya dayalı demokratik mücadelenin erişemeyeceği alanlarda konumlanmışlardır. Bu pozisyon agora etrafında konumlanan eğitimci ve düşünürleri işlevsiz kılmaktadır [54]. Günümüz demokrasi söyleminin ana hedefi, ‘agora’ ve agora çevresinde oluşan “düşünce ortamı”nı canlandırarak, demokratik mücadele ve iletişim araçlarını işlevsel kılmaktır [55].

F.Keyman’ın ortaya koyduğu ‘radikal demokrasi’ söylemi, ‘agora’ kurucu ‘antagonist’ bir yaklaşımdır. Buna göre, “antagonist demokrasi,” “...çoğulcu toplumu bütünleştirici değil, farklı kimlikler arasındaki ilişkiyi düzenleyicidir” ki bu da çok kültürlülüğün ikame edilmesinin önünü açmaktadır [56].

Mimarlar Odası içerisinde agora iyi niyet ve takdir edilmesi gereken çabalarla oluşturulmak istenir fakat söylem angajmanı ve kemikleşmiş yapı kendini sorgulatmak istemez. Bu nedenle 1990’lar, liberalleşme ve küreselleşme ile gelen çeşitliliklerin serencamı olarak Mimarlar Odasında dönemin gerçekliğinin kavrandığı bir dönem oldu. Bu bağlamda ‘Mimarlar Odası Üyelerinin Çeşitliliğini Görünür Kılmak, Kimlik, Mimarlık Eğitimi, Kamu Yönetimi, Doğal ve Kültürel Varlıkların Korunması’ olarak eylem alanları tanımlandı. Takip eden 5. Politika ‘Sivil Anayasa hazırlanması’ olarak belirlendi. Bu kapsamda öncelikli olarak meslek odaları ve sivil toplum kuruluşlarının kendi iç demokratik yapılarını kurumsallaştırması amaçlandı.

2000 yılı ve sonrasında 5. Politika’nın içeriğini doldurmaya ve yapılandırmaya yönelik yönetim dönemlerinin ortaya koyduğu 6. Politika (Mimarlar Odası toplum hizmetinde; sürdürmeye ve yaşanmaya değer bir mimari çevre kalitesi oluşturmak ve geliştirmek) ve 7. Politika kapsamında (Sürekli Mesleki Gelişim Merkezi, Yasama Süreci/ Meslek Hukuku, UIA 2005 İstanbul Kongresine Hazırlık; Mimarlar bildirgesi, Yerel yönetimler yasası) çalışmalar gerçekleştirildi.

Sürecin bütününe bakıldığında, doksanlı yıllarda öncelikle sosyal ‘yapı’lar üzerinden politikalar geliştirmeye yönelik yasa düzenlemelerini esas alan, ulusal politikalar tanımlama çabasında olan tutumlar ile karşılaşmıştır. 34. dönem ile birlikte, ‘fail’ yani Mimar ve bireyi gören, ortamın çoğulculuğunu görme ve görünür kılma çabasındaki tutumların ortaya koyduğu yer ve yerellik söylemi ile buna yönelik kültür varlıkları, doğal - yapılı çevre koruma yaklaşımı ve demokratikleşme söylemleri üzerinden politikalar geliştirildiği görüldü. İkibinli yıllarda, Mimarlar Odasının 1970’lerde ortaya koyduğu ‘Mimarlar Odası Toplum Hizmetinde’ ilkesi ile birlikte ‘yapı’ ve ‘fail’ odaklı politikaların bütününe sahiplenilerek; küreselleşme, sürdürülebilirlik, çevre-kent-konut, demokrasi-şeffaflık-katılımcılık, Mimarlık eğitimi, meslek içi eğitim, meslek hukuku ve Mimarlık yasası konularında eylemler 6. ve 7. politikalar olarak ortaya konulmuştur. Bu politikalar hem ‘yapı’ hem de ‘fail’ odaklı

olması bakımından Mimarlar Odasının bir süreklilik içerisinde ve süreç içerisinde ortaya konulan politikaları sürekli yapılandırarak gerçekleştirme çabasında olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmanın ortaya çıkmasında, teşviki ve desteği için, saygı ve rahmetle andığım Mimarlar Odası eski genel sekreterlerinden Mehmet Ali Özkan (Yardımoğlu)'na teşekkür ederim.

IV. KAYNAKLAR

- [1] B. Tuna. (2019, 15 Ekim). "1986 Bursa Deklarasyonu 'ndan 2006'ya....," [Çevrimiçi]. Erişim Adresi:<http://www.mo.org.tr/index.cfm?sayfa=belge&sub=detail&bid=14&mid=14&tip=0&Recid=10228>.
- [2] A. Şentek, "Mimarlar Odası, "Mimarlık" ve Mimarlıkta Süreli Yayınlar," *Mimarlık*, ss. 23-25, 2001
- [3] Y. Önen, "Çağdaş Mesleki Haklar, Güncel Yasal Düzenlemeler, Meslek Örgütlenmesinde Yeniden Yapılanma Tartışmaları," *Mimarlık*, c. 246, ss. 10-11, 1992
- [4] Mimarlık Dergisi Yayın Kurulu, "Oda'dan Mimarlık Yasası Taslağı Hazırlama Komisyonu" *Mimarlık Dergisi*, c. 248, ss. 13, 1992
- [5] Mimarlık Dergisi. (2020, 25 Kasım). *Oda Yöneticileri Ne Düşünüyor?* [Online]. Erişim: <http://dergi.mo.org.tr/dergiler/4/341/4890.pdf>
- [6] A. Çelik, Güvenç, K., & Uluğ, M. "Diplomalı'lar (Kurumsal Mimarlar) Mimarlık Kültürünü Kendi Dar Alanlarına Hapsetmeli Midirler? Yasa Çalışmaları, Mimarlık Kültürünü ve Örgütlenmesini Toplumdışı ve Baskıcı Bir Alana Taşıma Gayretidir," *Mimarlık*, c. 253, ss. 43-44, 1993.
- [7] Mimarlık dergisi Yayın kurulu. (2020, 5 Aralık). *Mimarlar 'Yasal Tanım' edinme çabasında*, [Online]. Erişim: <http://dergi.mo.org.tr/dergiler/4/351/5053.pdf>
- [8] Mimarlık dergisi Yayın kurulu.. (2020,5 Aralık) "Meslek Yasası Tartışmaları", [Online]. Erişim: <http://dergi.mo.org.tr/dergiler/4/359/5244.pdf>
- [9] Mimarlık dergisi Yayın kurulu. (2020,5 Aralık) "Meslek Odaları Mülklerine Sahip Olabilirler, Çünkü: Odalar Birer Tüzel Kişiliktir !", [Online]. Erişim: <http://dergi.mo.org.tr/dergiler/4/359/9167.pdf>
- [10] M. Karaaslan, "Oda'dan," *Mimarlık dergisi*, 248, ss. 12, 1992
- [11] A. Erim, "Ben Chicago'dayken" *Mimarlık dergisi*, c. 255, ss. 17, 1993
- [12] A. Kurdik, "Yapıda Denetim - Sorumluluk ve Sigorta," *Mimarlık dergisi*, c. 258, ss. 11, 1994.
- [13] S. Pekin, "Yeni Meslek Düzenine Doğru Adım Adım," *Mimarlık dergisi*, c. 256, ss. 30, 1994.
- [14] Mimarlık dergisi Yayın kurulu, (2020, 5 Aralık) *Mimarlar Odası 34. Dönem Çalışma Programının Ürünü Öncelikli Eylem Programı*. [Online]. Erişim: <http://dergi.mo.org.tr/dergiler/4/435/6273.pdf>
- [15] A. Erkmen, "Mimarlık'tan," *Mimarlık dergisi*, c. 261, ss. 3, 1995

- [16] Mimarlık dergisi Yayın kurulu, (2020, 5 Aralık) *Ürgüp Olağanüstü Genel Kurul 16-19 Mart 1995* [Online]. Erişim: <http://dergi.mo.org.tr/dergiler/4/443/6409.pdf>
- [17] S. Pekin, “Mimarlar Odası Merkez Yönetim Kurulu'ndan ve Genel Başkanlığı'ndan İstifa Ettim, Çünkü...,” *Mimarlık dergisi*, c. 263, ss. 7, 1995
- [18] Mimarlık dergisi Yayın kurulu, (2020, 5 Aralık) “TMMOB Mimarlar Odası 35. Olağan Genel Kurul”, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <http://dergi.mo.org.tr/dergiler/4/483/7030.pdf>
- [19] Mimarlık dergisi Yayın kurulu, (2020, 5 Aralık) *TMMOB Mimarlar Odası Çalışma Programı Hazırlamak İçin Temel Tartışma Zeminleri* [Online]. Erişim: <http://dergi.mo.org.tr/dergiler/4/495/7268.pdf>
- [20] Mimarlar Odası Yönetim kurulu, “Mimarlık 273. Sayı 56. Sayfada Yayınlanan ve Giderek Bir İmza Kampanyasına Dönüştürülen Tepkiye Dair Mimarlar Odası Yönetim Kurulu'nun Değerlendirmesi”, *Mimarlık dergisi*, c. 274, ss. 52-56, 1996
- [21] Mimarlık dergisi yayın kurulu, “Yeni Yayın Esaslarına İlişkin İki Açılım”, *Mimarlık dergisi*, c. 272, ss. 3-7, 1996
- [22] Anonim, Giderayak Bir Analiz Kimler Tasarım-Dışı Bir Mimarlık Ortamı İstiyor, *Mimarlık dergisi*, c. 280, ss. 8-11, 1998
- [23] E. Omacan & M. Önal, ‘Mimarlık Vakfı (MİV)’, *Mimarlık dergisi*, c.273, ss. 3, 1996
- [24] F. Söyler, “Mimarlar Odası 36. Dönem Genel Kurulu,” *Mimarlık dergisi*, c. 280, ss. 3, 1998.
- [25] A. Çelik, “Mimarlık Ortamında “Olanla Yetinme Döngüsü” Kırılmalıdır,” *Mimarlık dergisi*, c. 280, ss. 17-22, 1998
- [26] K. Onal, F.Söyler, O.Ekinci, “36. Dönem Genel Kurul Ardından,” *Mimarlık dergisi*, c. 281, ss. 3-5, 1998
- [27] H. Topal, “Bir Olağanüstü Genel Kurul Öyküsü,” *Mimarlık dergisi*, c. 287, ss. 10-12, 1999.
- [28] F. Söyler, “Mimarlar Odası'nda Değişim İçin Manifesto,” *Mimarlık dergisi*, c. 293, ss.14-20, 2000.
- [29] B. İdil, “AB Süreci Türkiye Mimarlığına Bir Çıkış Yolu Açabilir mi?”, *Mimarlık dergisi*, c. 293, ss. 20-21, 2000.
- [30] Mimarlık dergisi Yayın kurulu, “Mimarlık'tan,” *Mimarlık dergisi*, c. 294, ss. 1, 2000
- [31] Mimarlık dergisi Yayın kurulu, “TMMOB Mimarlar Odası 37. Genel Kurul Bildirisi,” *Mimarlık dergisi*, c. 293, ss. 8-9, 2000
- [32] Mimarlık dergisi Yayın kurulu, “Mimarlar Odası 37. Dönem Olağan Genel Kurulu Yapıldı”, *Mimarlık dergisi*, ss. 7, 2000
- [33] G. Tümer, “Bir Genel Kurul'dan Özel Notlar”, *Mimarlık dergisi*, c. 293, ss. 13-14, 2000.
- [34] O. Ekinci, “Tarihi Kentler Birliği Kuruldu”, *Mimarlık dergisi*, c. 294, ss. 52-54, 2000.
- [35] BİA Haber Merkezi. (2002, 25 Nisan). *TMMOB Mimarlar Odasında Görev Devri* [Online]. Erişim: <https://bianet.org/bianet/emek/9505-tmmob-mimarlar-odasinda-gorev-devri> .

- [36] M. Cengizkan, "Mimarlık'tan," *Mimarlık dergisi*, c. 306, ss. 1, 2002.
- [37] F. Söyler, "Yeni Dönem Çalışmaları, Görüşler ve Öneriler", *Mimarlık dergisi*, c. 305, ss. 10, 2002.
- [38] A. Çelik ve R.F.Şahin. (2020, 25 Aralık). *DOSYA I: Yeni Dönem Perspektifleri*, 'DOSYA II: Örgütsel Yenilenme / Yeniden Yapılanmak için ... [Online]. Erişim: <http://www.mimarlarodasiankara.org/dosya/bulten-17.pdf>.
- [39] Y. Gürsel, "TMMOB ve Mimarlar Odası'nda 50. Yıl Bir Öz Değerlendirme Süreci Olabilir mi?", *Mimarlık*, c. 320, ss. 21-23, 2004.
- [40] Mimarlık dergisi Yayın kurulu, "30 Yıl Aradan Sonra, Konut Kurultayı, Yeniden...", *Mimarlık dergisi*, c. 315, ss. 4, 2004.
- [41] A. Altıner, "Türkiye'de Mimarlık var midur?", *Mimarlık dergisi*, c. 306, ss. 5, 2002
- [42] T. Altıner, "Medyasını Arayan Mimar, Mimarını Arayan Medya – I", *Mimarlık dergisi*, c. 311, ss. ,2003
- [43] T. Altıner, Medyasını Arayan Mimar, Mimarını Arayan Medya – 2", *Mimarlık dergisi*, c. 313, ss. 27, 2003
- [44] S. Kozacıoğlu. (2020, 25 Kasım) *GATS, AB, Mimarlık Eğitimi, Meslek içi Eğitim, Mimarlık Pratiği, Mimarlık Kültürü ve Diğerleri: Sorular ve Yanıtlar* [Online]. Erişim: <http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=6&RecID=69>
- [45] F. Söyler. (2020, 25 Kasım). *GATS, AB, Mimarlık Eğitimi, Meslek içi Eğitim, Mimarlık Pratiği, Mimarlık Kültürü ve Diğerleri: Sorular ve Yanıtlar* [Online]. Erişim: <http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=6&RecID=69>
- [46] F. Söyler. (2003, 10 Ocak) *Neler Yapıyoruz?* [Online]. Erişim: <http://www.mimarlarodasi.org.tr/mimarhaber/index.cfm?sayfa=arsiv&Dergi=12&sub=Dergi&action=Show>
- [47] Cumhuriyet Gazetesi. (2004, 10 Ekim). *Mimarlık ve Kent* [Online]. Erişim: http://www.mimarlarodasi.org.tr/belgedocs/Cumhuriyet_EK.pdf
- [48] TMMOB Mimarlar Odası. (2004, 5 Mayıs). *39. Dönem Çalışma Programı* [Online]. Erişim: <http://www.mimarlarodasiankara.org/dosya/39.pdf>.
- [49] TMMOB Mimarlar Odası. (2004, 10 Haziran). *Mesleki Yeterliliklerin Düzenlenmesi ve Tanınması Hakkında Kanun Tasarısı Taslağı* [Online]. Erişim: <http://www.mimarlarodasi.org.tr/mimarhaber/index.cfm?sayfa=arsiv&Dergi=4&sub=Dergi&action=Show> ve <http://www.mimarlarodasi.org.tr/mimarhaber/index.cfm?sayfa=Arsiv&Dergi=4&Menu=15&Action=showbelge&RecID=6>.
- [50] Mimarlar Odası Yönetim Kurulu. (2020, 8 Aralık). *Yönetim Kurulunun Yeni Dönem Çalışma Anlayışı* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.mimarlarodasi.org.tr/mimarhaber/index.cfm?sayfa=Arsiv&Dergi=4&Menu=15&Action=showbelge&RecID=9>.

- [51] O.Ekinci. (2004, 10 Haziran) Mimarlık Haber 99,” [Online]. Erişim: <http://www.mimarlarodasi.org.tr/mimarhaber/index.cfm?sayfa=arsiv&Dergi=13&sub=Dergi&action=Show>.
- [52] S. Holl, “Steven Holl,” *Arredamento Mimarlık*, c. 70, ss. 66-86, 1995.
- [53] A. Touraine, *Demokrasi Nedir?*, İstanbul, Türkiye: YKY Yayınları, 2007, ss. 123.
- [54] Z. Baumann, *Siyaset Arayışı*, İstanbul, Türkiye: Metis Yayınları, 2000, ss. 140-162.
- [55] A. Suner, *Hayalet Ev / Yeni Türk Sinemasında Aidiyet, Kimlik ve Bellek*, İstanbul, Türkiye: Metis Yayınları, ss. 94-112, 2005
- [56] F. Keyman , *Türkiye ve Radikal Demokrasi*, Alfa Basım Yayım Dağıtım, 2000, ss. 112.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Metal-Ion Assisted Imprinted Hydrogels For Recognition Of Lysozyme

 Kemal ÇETİN^{a,b*}

^a Department of Biomedical Engineering, Engineering Faculty, Necmettin Erbakan University, Konya, TURKEY

^b Science and Technology Research and Application Center (BITAM), Necmettin Erbakan University, Konya, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: kcetin@erbakan.edu.tr.

DOI: 10.29130/dubited.891731

ABSTRACT

Hydrogels exhibiting selectivity towards lysozyme were produced by metal-ion assisted-imprinting technology. A metal-chelate monomer N-vinyl-2-pyrrolidone is pre-assembled with the template molecule via assistance of Cu(II) ions and co-polymerized with 2-hydroxyethyl methacrylate. Lysozyme imprinted hydrogels were characterized by Fourier transform infrared spectroscopy, swelling tests, scanning electron microscopy. The conditions for the optimum adsorption capacity of the hydrogels towards lysozyme were found out by investigating the effects of initial concentration of lysozyme, medium pH, contact time and ionic strength. Maximum adsorption of lysozyme on poly(hydroxyethyl methacrylate-co-N-vinyl pyrrolidone) hydrogel was found to be 12.25 mg/g for 1.0 mg/mL initial concentration of lysozyme at 25.0°C with an optimal pH of 7.0. After ten adsorption-desorption cycles with the same hydrogel, the lysozyme adsorption capacity decreased by 13.80%.

Keywords: Hydrogels, lysozyme, metal ion coordination, molecular imprinting

Lizozim Tanımada Metal İyon Destekli Baskılanmış Hidrojeller

ÖZET

Lizozime karşı seçicilik sergileyen hidrojeller, metal iyon aracılı baskılama teknolojisi ile üretildi. Metal şelat monomeri olarak N-vinil-2-pirolidon, Cu(II) iyonlarının yardımıyla kalıp molekül ile önceden kompleksleştirildi ve 2-hidroksietil metakrilat ile birlikte polimerleştirildi. Lizozim baskılanmış hidrojeller, Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi, şişme testleri, taramalı elektron mikroskobu ile karakterize edildi. Hidrojellerin lizozime karşı optimum adsorpsiyon kapasitesi için en uygun koşullar, lizozimin başlangıç derişiminin, ortam pH'sının, adsorpsiyon süresinin ve iyonik kuvvetin adsorpsiyon kapasitesine etkileri araştırılarak bulundu. Lizozimin poli(hidroksietil metakrilat-ko-N-vinil pirolidon) hidrojel üzerinde maksimum adsorpsiyonu, 25.0°C'de 1.0 mg/mL başlangıç lizozim derişimi optimum pH değeri (7.0) için 12.25 mg/g olarak bulundu. Aynı hidrojel ile on adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsünden sonra, lizozim adsorpsiyon kapasitesi %13.80 azaldı.

Anahtar Kelimeler: Hidrojeller, lizozim, metal iyon koordinasyonu, moleküler baskılama

I. INTRODUCTION

Lysozyme (N-acetylmuramide glyconohydrolase) is a compact enzyme (14 kDa) consisting of 129 amino acid residues folding into a globular structure [1]. Since it exists in bodily secretions such as tears, milk, and saliva and catalyzes a reaction as breaking the β 1–4 bond found in peptidoglycan residues of bacterial cell walls between N-acetylmuramic acid and N-acetylglucosamine, it is called as body's own antibiotic [2]. Lysozyme has been utilized in various areas including the extraction of bacterial intracellular products (as a cell-disrupting agent), treatment of ulcers and infections, in milk products (as a food additive) and so on [3]. Due to importance of Lys, numerous studies on the adsorption of Lys have been performed using different materials as adsorbents including nanofiber membranes, mesoporous organic silica, porous organic cages, cryogels, monolith immobilized with aptamer, silica nanoparticles and so on [4]–[9].

Hydrogels are three-dimensional polymeric networks that capable of absorbing and keeping large amounts of water in their hydrophilic structure. Hydrogels can be formed by cross-linking of both natural and synthetic polymers and polymerization of monomers using cross-linking agents [10], [11]. Because hydrogels exhibit some outstanding properties such as versatile fabrication methods, simple modification processes and similar flexibility with natural tissues, a wide variety of examples are available in the fields of biomedical engineering and biotechnology, ranging from tissue engineering and drug delivery to chromatography [12]–[16].

Molecularly imprinted polymers (MIPs) are the materials having specific recognition ability for the target molecule [17]–[19]. In the design of MIPs, the appropriate orientation of the target analyte and functional monomer(s) is ensured, followed by polymerization using a cross-linker [20]. After the polymerization step, the target analyte, the so-called imprint molecule or template molecule, is removed resulting in cavities specific to the target analyte [21]. The interactions between functional monomer and imprint molecule can be provided through covalent bonding, non-covalent interactions, metal-ion coordination and so on. Among them, metal-ion assisted imprinting is may be a good candidate due to directionality of coordinate bonds and strength against a wide range of solvent environment [22]–[24].

Herein, we report molecularly imprinted poly(hydroxyethyl methacrylate-co-N-vinyl pyrrolidone) [poly(HEMA-co-NVP)] hydrogel for lysozyme (Lys) recognition through metal ion coordination. The structure and interior morphology of the hydrogels were characterized by Fourier transformation infrared spectroscopy (FT-IR), and scanning electron microscopy (SEM). Sol and gel fractions and equilibrium swelling ratios were also studied. Adsorption capacities of the hydrogel were investigated by changing medium adsorption time, pH, initial Lys concentration and ionic strength. Selectivity and reusability of the hydrogels were also examined.

II. MATERIAL AND METHODS

A. MATERIALS

HEMA, Lys (chicken egg white, EC 3.2.1.17), NVP, N,N'-methylenebis(acrylamide) (MBAAm), ammonium persulfate (APS), bovine serum albumin (BSA), N,N,N',N'-tetramethyl ethylene diamine (TEMED) and cytochrome C (Cyt C) were purchased from Sigma Chemical Co. (St. Louis, MO, USA).

B. PRODUCTION OF HYDROGELS

Lys imprinted poly(HEMA-NVP) hydrogel (MIH) was produced as described below. In the first step, NVP (0.1 mmol) and $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ (0.1 mmol) were added into 1.0 mL of HEPES buffer at pH 7.0 at room temperature (RT) and the solution was allowed to be mixed for 3 h. Then, the template (i.e. Lys) was also added to the solution and mixed for 1 h for preorganization of the NVP–Cu(II) and Lys. In the

second step, 0.260 g of MBAAm was dissolved in 13.2 mL of deionized water (DW). 1.3 mL of HEMA and 0.2 mL of the complex mixture was added into this solution. After stirring the mixture, APS (20 mg) and TEMED (25 μ l) were added and the mixtures are poured into disposable syringes (5 ml) with closed ends. Hydrogelation was carried out at 25 °C for 24 h. Hydrogels were taken from the syringes, washed with 200 mL of deionized water (DI) and cut into disk shape (3.5 mm in thickness). Removal of the imprint molecule (i.e., Lys) from the hydrogels was performed using 1.0 M NaCl until observing no Lys in the washing solution via a UV-spectrophotometer at 280 nm. Then the hydrogels were washed with 50 mM NaOH and DI at RT for 12 h. Non-imprinted hydrogels (NIHs) and poly(hydroxyethyl methacrylate) (PHEMA) hydrogels were also prepared without adding the Lys and the complex mixture, respectively.

C. CHARACTERIZATION STUDIES OF HYDROGELS

Gelation yield (G) and equilibrium swelling ratio (ESR) of the hydrogels were found out by the Equations 1 and 2, respectively:

$$G (\%) = \frac{W_0}{W_r} \times 100 \quad (1)$$

$$ESR = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \quad (2)$$

where W_r is total mass (g) of the reactants utilized for the hydrogelation while W_0 and W_1 are the weights (g) of dried and sufficiently swollen (with DW) hydrogels, respectively.

For FT-IR spectra of hydrogels, the samples were firstly dried and then placed on the ATR probe. FT-IR spectra of the hydrogels were obtained in the range of 4000–400 cm^{-1} using a FTIR-ATR spectrophotometer (Nicolet iS20 ATR-FTIR, Thermo Scientific, USA). Microstructure and wall morphology of the freeze-dried hydrogels were analyzed using SEM (Hitachi, SU1510, Tokyo, Japan) Before SEM analysis, the hydrogels were gold-coated for 2 min.

D. ADSORPTION STUDIES

Effects of medium pH (in the range of 6.0 and 9.0) and adsorption time, initial Lys concentration (in the range of 0.1-2.0 mg/mL), and ionic strength (in the range of 10-100 mM of NaCl) on the Lys adsorption capacity of the imprinted hydrogels were studied in a batch system and the adsorption amounts were found out spectrophotometrically at 280 nm. The experiments were done in replicates of three. The amounts of Lys absorbed by the hydrogels were found using the following formula:

$$Q = \frac{C_i - C_f}{m} \times V \quad (3)$$

where Q (mg/g) is the mass of Lys adsorbed by a unit mass of dry hydrogels, C_i (mg/mL) and C_f (mg/mL) represent the initial and final concentrations, respectively, m is the weight of the hydrogels utilized ($W_{dried\ hydrogels} = 55.00 \pm 1.95$ mg) and V (mL) is solution volume.

E. SELECTIVITY STUDIES

BSA and Cyt c were utilized as competitor proteins (prepared separately with initial concentrations of 1.0 mg/mL) to investigate the Lys selectivity of the imprinted hydrogels. MIHs and NIHs were performed separately in the aqueous solutions of proteins at the batch system for 3 h and initial and final concentrations were measured using a UV spectrophotometer. The terms given below were calculated with the following equations respectively in order to examine the selectivity of the hydrogels for Lys:

$$\text{Distribution coefficient } (K_d) = \frac{C_i - C_f}{C_f} \times \frac{V}{m} \quad (4)$$

$$\text{Selectivity coefficient } (k) = \frac{K_d(\text{Lys})}{K_d(\text{competitor protein})} \quad (5)$$

$$\text{Relative selectivity coefficient } (k') = \frac{k_{\text{imprinted}}}{k_{\text{non-imprinted}}} \quad (6)$$

F. REUSABILITY PERFORMANCE OF THE HYDROGELS

The reusability of the hydrogels was investigated by performing ten cycles of adsorption-elution-regeneration process with the same hydrogels.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. CHARACTERIZATION STUDIES

In literature, it is showed that Cu(II) ions interacts with NVP through its carbonyl group and the lone pair of the nitrogen atom [25]. FT-IR spectra of the hydrogels were given in Figure 1. For the spectrum of PHEMA, a broad band around 3300 cm⁻¹ was due to O-H group. The peak at 1718 was associated with ester carbonyl group. The peaks at 1150 and 1070 cm⁻¹ were attributed to the stretching vibrations of C-O [26]. Since amount of HEMA used in reaction mixture is 100 times higher in mole than NVP, the peaks of NVP are not so clear. However, higher intensity for the peak around 1665 cm⁻¹, might be the contribution of the carbonyl stretching banding of NVP [26].

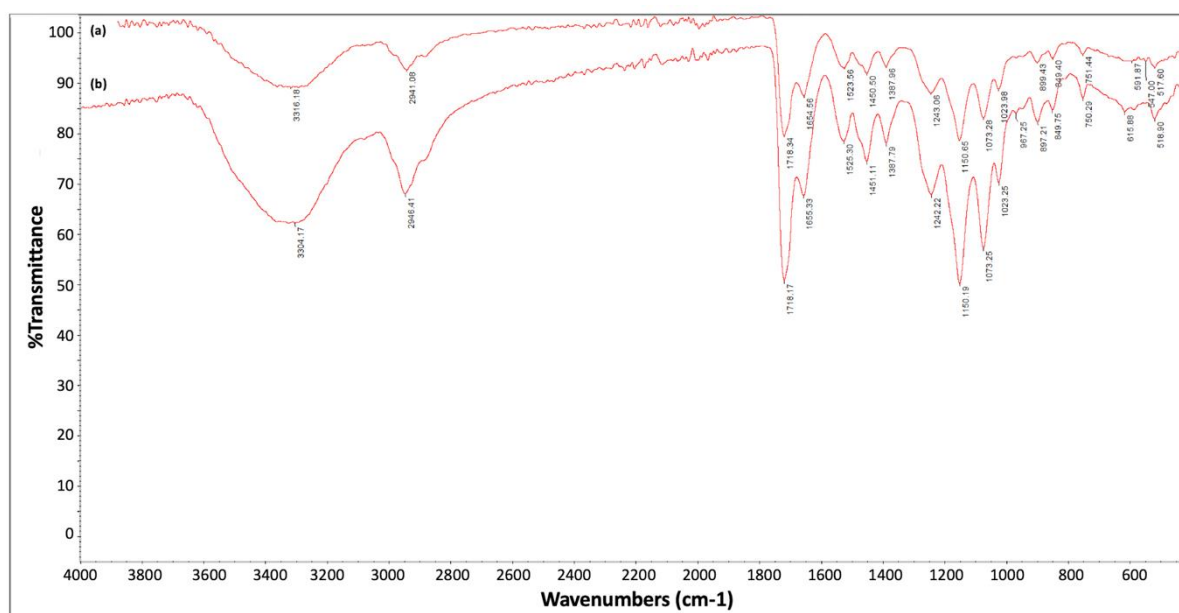


Figure 1. FT-IR spectra of (a) P(HEMA-NVP) and (b) PHEMA hydrogels.

Gelation yields of PHEMA and P(HEMA-NVP) hydrogels were calculated as 86.82% and 83.41%, respectively. Equilibrium swelling ratio of PHEMA and P(HEMA-NVP) hydrogels were found to be

8.78 and 9.73 g water/g hydrogel, respectively. This is an expected situation since NVP has more hydrophilic character than HEMA [27].

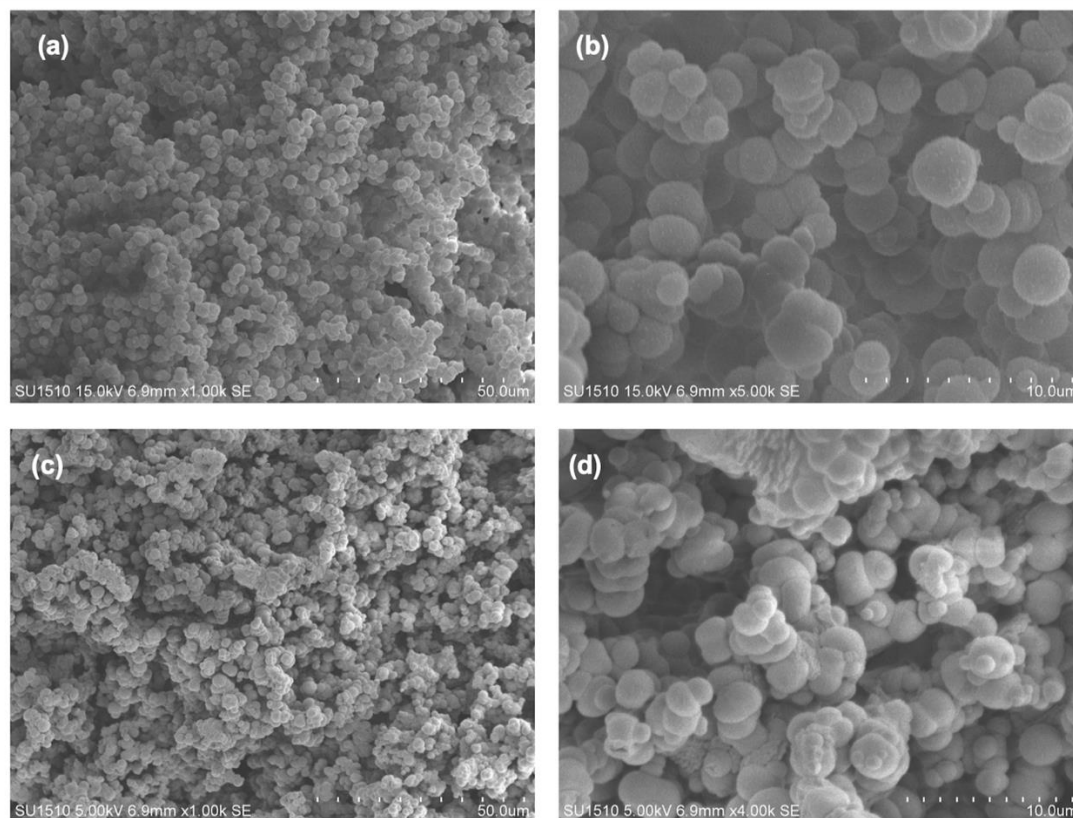


Figure 2. SEM images of the hydrogels. (a and b) poly(HEMA) and (c and d) poly(HEMA-NVP) hydrogels. (Magnifications: 6.9 mm x 1.00k for a and c; 6.9 mm x 5.00k for b; 6.9 mm x 4.00k for d).

Surface morphology and internal structure of the hydrogels were analyzed via SEM. In literature, it was found that hydrogels prepared in cylinder form have higher pore sizes than those prepared in film form [28]. Because higher pore size causes lower back-pressure, hydrogels were produced in cylindrical form and then cut into disc form. As shown in Figure 2, maximum pore size of the hydrogels is around 10 μm .

B. ADSORPTION STUDIES

B. 1. pH

The adsorption amount of Lys by MIHs at various pH values are shown in Figure 3. The maximum Lys adsorption capacity of MIHs was obtained as 12.25 mg/g polymer at pH 7.0 and a decrement was observed above and below of this pH value. In the hydrogelation process NVP–Cu(II)-Lys was prepared at pH 7.0. Therefore, the high binding affinity at pH 7.0 could be explained due to the memory effect of the molecular imprinting [7].

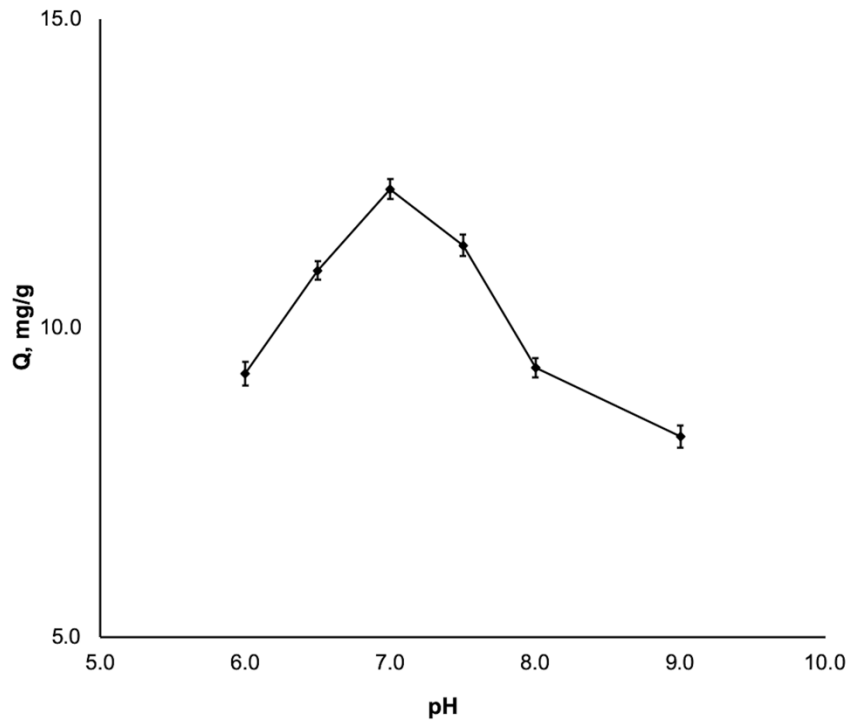


Figure 3. Effect of pH on Lys adsorption by MIHs. $C_{i_{Lys}}$: 1.0 mg/mL; t : 3 h.

B. 2. Incubation time

Time dependence of the adsorption values of Lys by MIHs are presented in Figure 4. At the beginning, relatively faster adsorption rates were observed while it was decreased by time and reached adsorption equilibria in around 3 h.

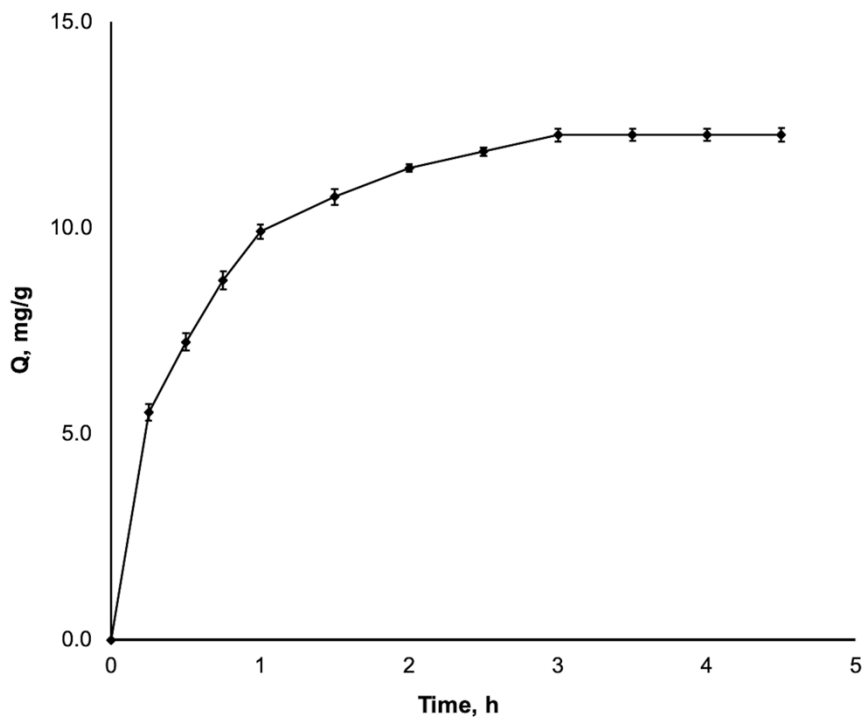


Figure 4. Effect of incubation time on Lys adsorption by MIHs. $C_{i_{Lys}}$: 1.0 mg/mL; pH: 7.0.

B. 3. Initial Lys concentration

The change in the adsorption capacity of MIHs by varying the initial Lys concentration ($C_{i_{Lys}}$) was investigated (Figure 5). Firstly, a drastic increase was observed and then reached to the equilibrium at $C_{i_{Lys}} = 1.0$ mg/mL. Maximal adsorption capacity of MIHs was observed as 12.25 mg/g dry hydrogel which represents occupation of all imprinted cavities.

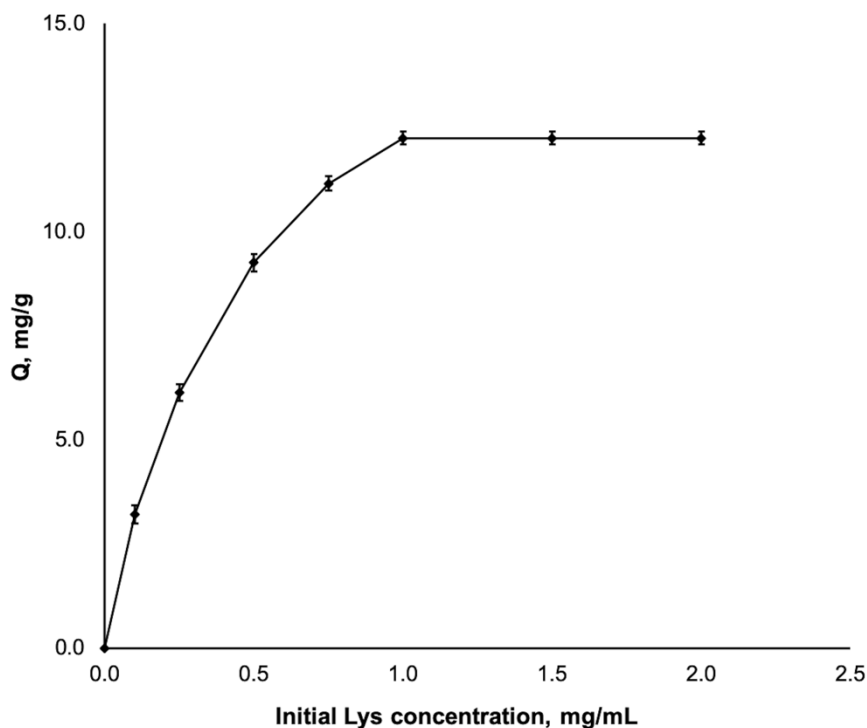


Figure 5. Effect of $C_{i_{Lys}}$ on Lys adsorption by MIHs. t : 3 h; pH: 7.0.

B. 4. Ionic strength

As seen in Figure 6, amount of adsorbed Lys by MIHs was decreased by increasing NaCl concentration. The reason behind the decrease in the adsorption capacity by increasing salt concentration could be that the salt ions mask the binding sites for Lys [29]. NaCl at higher concentrations may promote anions to occupy the free coordination sites and leading lower adsorption capacity [30].

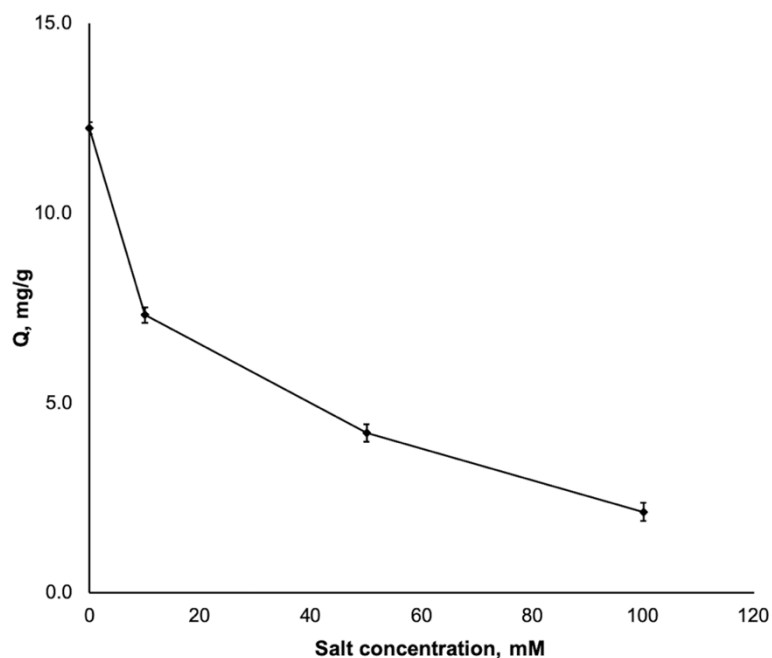


Figure 6. Effect of ionic strength on Lys adsorption by MIHs. $C_{i_{Lys}}$: 1.0 mg/mL; t : 3 h; pH: 7.0.

C. SELECTIVITY STUDIES

Selective recognition of the target molecule is a significant feature of the systems based on molecular imprinting technology. The MIHs exhibited a high specificity degree towards Lys compared with the other proteins (K_d for Lys is 5.27 while K_d for BSA and Cyt c are 3.88 and 2.77, respectively). Values of k' of MIHs for Lys/BSA is 1.92 times and Lys/Cyt c is 2.15 times bigger than the NIHs. According to results, high selectivity came from the rigid structure of the cavities and the nature of the between the metal ion mediated pre-polymerized complex of Lys and NVP.

Table 1. K_d , k and k' coefficients for MIHs and NIHs.

Protein	MIHs		NIHs		
	K_d (mL/g)	k	K_d (mL/g)	k	k'
Lys	5.27	–	3.72	–	–
BSA	3.88	1.36	5.25	0.71	1.92
Cyt c	2.77	1.90	4.21	0.88	2.15

D. DESORPTION AND REUSABILITY

Since reusability of a material is a significant factor in terms of environment and cost, retained Lys adsorption capacity and reusability of the MIHs were investigated in a batch system. Same MIHs were used in 10 times adsorption-desorption cycles under the optimal adsorption conditions. As seen in Figure 7, after the tenth cycle, adsorbed amount of Lys was found to be 10.56 mg/g and 86.20% of its capacity was retained. According to findings, MIHs can be utilized several times for Lys adsorption with no significant decrease in adsorption capacity.

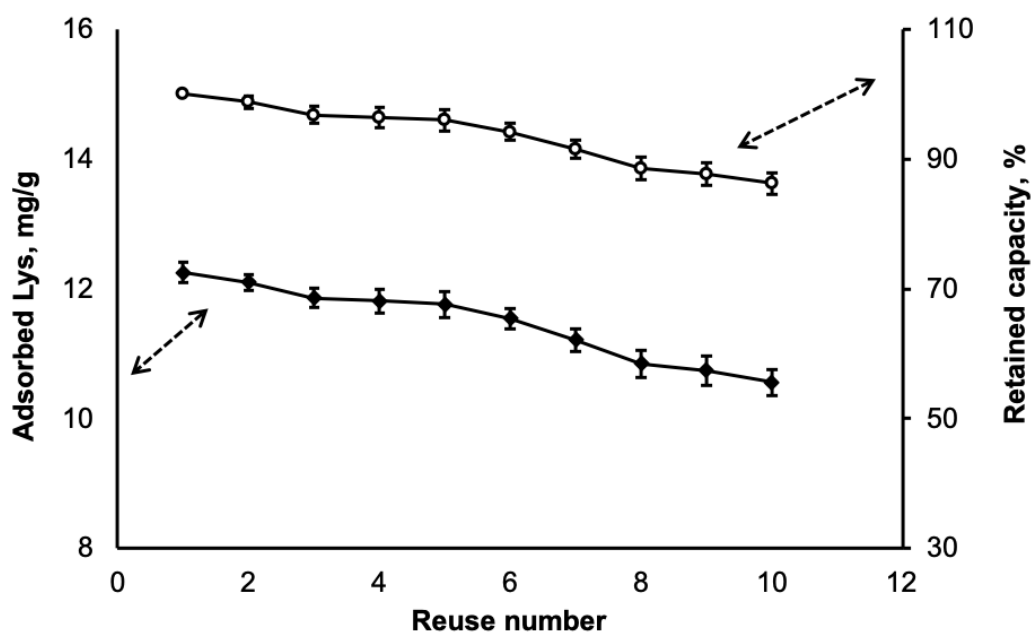


Figure 7. Retained capacity and reusability of the MIHs. Adsorption pH 7.0; $C_{i,lys}$: 1.0 mg/mL; T : 25 °C.

IV. CONCLUSION

Adsorption and isolation of Lys have been getting importance due to its utmost features such as being a naturally occurring antibacterial enzyme with high activity. In this study, hydrogels that can recognize Lys were designed by combining the easy-preparation and selectivity of molecular imprinting and higher stability of metal ion coordinated interactions. Imprinted P(HEMA-NVP) hydrogels exhibited a higher affinity towards the target molecule. The hydrogels also exhibited a good reusability performance with negligible loss in Lys adsorption capacity. Considering all these results, MIHs could be a good candidate for Lys recognition.

V. REFERENCES

- [1] A. Panda, A. Shettar, P. K. Sharma, M. A. Repka, and S. N. Murthy, "Development of lysozyme loaded microneedles for dermal applications," *Int. J. Pharm.*, vol. 593, pp. 120104, 2021.
- [2] G. Sener, E. Ozgur, E. Yilmaz, L. Uzun, R. Say, and A. Denizli, "Quartz crystal microbalance based nanosensor for lysozyme detection with lysozyme imprinted nanoparticles," *Biosens. Bioelectron.*, vol. 26, no. 2, pp. 815–821, 2010.
- [3] R. Ghosh, S. S. Silva, and Z. Cui, "Lysozyme separation by hollow-fibre ultrafiltration," *Biochem. Eng. J.*, vol. 6, no. 1, pp. 19–24, 2000.
- [4] P. L. Show, C. W. Ooi, X. J. Lee, C. L. Yang, B. L. Liu, and Y. K. Chang, "Batch and dynamic adsorption of lysozyme from chicken egg white on dye-affinity nanofiber membranes modified by ethylene diamine and chitosan," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 162, pp. 1711–1724, 2020.
- [5] O. Osta, M. Bombled, D. Partouche, F. Gallier, N. Lubin-Germain, N. Brodie-Linder, C. Alba-Simionesco, "Direct Synthesis of Mesoporous Organosilica and Proof-of-Concept Applications in Lysozyme Adsorption and Supported Catalysis," *ACS Omega*, vol. 5, no. 30, pp. 18842–18848, 2020.

- [6] D. Zhao, Y. Wang, Q. Su, L. Li, and J. Zhou, "Lysozyme Adsorption on Porous Organic Cages: A Molecular Simulation Study," *Langmuir*, vol. 36, no. 41, pp. 12299–12308, Oct. 2020.
- [7] N. Bereli, M. Andaç, G. Baydemir, R. Say, I. Y. Galaev, and A. Denizli, "Protein recognition via ion-coordinated molecularly imprinted supermacroporous cryogels," *J. Chromatogr. A*, vol. 1190, no. 1, pp. 18–26, 2008.
- [8] S. Kumar, V. K. Aswal, and J. Kohlbrecher, "SANS and UV-vis spectroscopy studies of resultant structure from lysozyme adsorption on silica nanoparticles," *Langmuir*, vol. 27, no. 16, pp. 10167–10173, 2011.
- [9] K. Du, M. Yang, Q. Zhang, and S. Dan, "Highly Porous Polymer Monolith Immobilized with Aptamer (RNA) Anchored Grafted Tentacles and Its Potential for the Purification of Lysozyme," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 55, no. 2, pp. 499–504, 2016.
- [10] A. S. Hoffman, "Hydrogels for biomedical applications," *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 64, no. SUPPL. Elsevier, pp. 18–23, 2012.
- [11] X. Nie, A. Adalati, J. Du, H. Liu, S. Xu, and J. Wang, "Preparation of amphoteric nanocomposite hydrogels based on exfoliation of montmorillonite via in-situ intercalative polymerization of hydrophilic cationic and anionic monomers," *Appl. Clay Sci.*, vol. 97–98, pp. 132–137, 2014.
- [12] W. Wang, R. Narain, and H. Zeng, "Hydrogels," in *Polymer Science and Nanotechnology*, Elsevier, 2020, pp. 203–244.
- [13] E. Caló and V. V. Khutoryanskiy, "Biomedical applications of hydrogels: A review of patents and commercial products," *European Polymer Journal*, vol. 65. Elsevier Ltd, pp. 252–267, 2015.
- [14] M. Liu *et al.*, "Injectable hydrogels for cartilage and bone tissue engineering," *Bone Research*, vol. 5, no. 1. Sichuan University, pp. 1–20, 2017.
- [15] B. Özkahraman, E. Tamahkar, N. İdil, A. Kılıç Suloglu, and I. Perçin, "Evaluation of hyaluronic acid nanoparticle embedded chitosan–gelatin hydrogels for antibiotic release," *Drug Dev. Res.*, p. ddr.21747, 2020.
- [16] G. Sharma *et al.*, "Applications of nanocomposite hydrogels for biomedical engineering and environmental protection," *Environmental Chemistry Letters*, vol. 16, no. 1. Springer Verlag, pp. 113–146, 2018.
- [17] Y. Saylan and A. Denizli, "Molecularly Imprinted Polymer-Based Microfluidic Systems for Point-of-Care Applications," *Micromachines*, vol. 10, no. 11, pp. 766, 2019.
- [18] K. Şarkaya, S. Aşir, I. Göktürk, F. Yılmaz, H. Yavuz, and A. Denizli, "Electrochromatographic separation of hydrophobic amino acid enantiomers by molecularly imprinted capillary columns," *Process Biochem.*, vol. 92, pp. 69–77, 2020.
- [19] C. Armutcu, E. Özgür, M. E. Çorman, and L. Uzun, "Interface imprinted polymers with well-oriented recognition sites for selective purification of hemoglobin," *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, vol. 197, pp. 111435, 2021.
- [20] L. Chen, S. Xu, and J. Li, "Recent advances in molecular imprinting technology: current status, challenges and highlighted applications," *Chem. Soc. Rev.*, vol. 40, no. 5, pp. 2922, 2011.
- [21] S. A. Zaidi, "Latest trends in molecular imprinted polymer based drug delivery systems," *RSC*

- Advances*, vol. 6, no. 91. Royal Society of Chemistry, pp. 88807–88819, 2016.
- [22] Q. Zhang, L. Zhang, P. Wang, and S. Du, “Coordinate Bonding Strategy for Molecularly Imprinted Hydrogels: Toward pH-Responsive Doxorubicin Delivery,” *J. Pharm. Sci.*, vol. 103, no. 2, pp. 643–651, 2014.
- [23] H. Zheng, L. Xing, Y. Cao, and S. Che, “Coordination bonding based pH-responsive drug delivery systems,” *Coordination Chemistry Reviews*, vol. 257, no. 11–12. Elsevier, pp. 1933–1944, 2013.
- [24] K. Çetin and A. Denizli, “5-Fluorouracil delivery from metal-ion mediated molecularly imprinted cryogel discs,” *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, vol. 126, pp. 401–406, 2015.
- [25] S. Z. Bajwa and P. A. Lieberzeit, “Recognition principle of Cu²⁺-imprinted polymers - Assessing interactions by combined spectroscopic and mass-sensitive measurements,” *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 207, no. PB, pp. 976–980, 2015.
- [26] X. Yang, L. Huang, L. Zhou, H. Xu, and Z. Yi, “A photochromic copolymer hydrogel contact lens: From synthesis to application,” *Int. J. Polym. Sci.*, vol. 2016, 2016.
- [27] L. Brannon-Peppas and N. A. Peppas, “Dynamic and equilibrium swelling behaviour of pH-sensitive hydrogels containing 2-hydroxyethyl methacrylate,” *Biomaterials*, vol. 11, no. 9, pp. 635–644, 1990.
- [28] O. Ozay, P. Ilgin, H. Ozay, Z. Gungor, B. Yilmaz, and M. R. Kivanç, “The preparation of various shapes and porosities of hydroxyethyl starch/p(HEMA-co-NVP) IPN hydrogels as programmable carrier for drug delivery,” *J. Macromol. Sci. Part A*, vol. 57, no. 5, pp. 379–387, 2020.
- [29] S. Akgöl, S. Özkara, L. Uzun, F. Yılmaz, and A. Denizli, “Pseudospecific magnetic affinity beads for immunoglobulin-G depletion from human serum,” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 106, no. 4, pp. 2405–2412, 2007.
- [30] W. Y. Chen, C. F. Wu, and C. C. Liu, “Interactions of imidazole and proteins with immobilized Cu(II) ions: Effects of structure, salt concentration, and pH in affinity and binding capacity,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 180, no. 1, pp. 135–143, 1996.