

**YAYINCI**  
PUBLISHER



# MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ve TASARIM DERGİSİ

**JOURNAL OF ENGINEERING  
SCIENCES AND DESIGN**

**e-ISSN: 1308-6693**

**Cilt/Volume: 9 Sayı/Issue: 1 Mart/March 2021**



**İmtiyaz Sahibi / Owner**

Deanery of Engineering Faculty, Suleyman Demirel University, Isparta, TR

**Editörler / Editors**

Gultekin OZDEMIR, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR (Baş Editör / Editor-in-Chief)*  
Erdal AYDEMİR, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR (Editör Yrd. / Co-Editor)*  
Turgay AYDOĞAN, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR (Editör Yrd. / Co-Editor)*  
Mehmet AVCAR, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR (Editör Yrd. / Co-Editor)*  
Ali AGCAL, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Çağlayan BALKAYA, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Atilla BAYRAM, *Van Yuzuncu Yıl University, Van, TR*  
Mehmet Ali BELEN, *Artvin Coruh University, Artvin, TR*  
Habib GURBUZ, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Baris GUREL, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Tahir Serkan IRMAK, *Kocaeli University, Kocaeli, TR*  
Alper KUSCU, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Mehmet Onur OLGUN, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Mehmet OZCELIK, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Savas OZUN, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Yunus PAMUKOGLU, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Olçay POLAT, *Pamukkale University, Denizli, TR*  
Fatih Ahmet ŞENEL, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Hakan TONGAL, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Volkan UZ, *Izmir Institute Of Technology, Izmir, TR*  
Kerim YAPICI, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Demet YILMAZ, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*

**Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board**

Michael G. KAY, *North Carolina State University, USA*  
Yun-Chia LIANG, *Yuan Ze University, Taoyuan, TW*  
Ravi SANKAR, *University of South Florida, Florida, USA*  
Alice E. SMITH, *Auburn University, Auburn, USA*  
Bedri TUC, *Baskent University, Ankara, TR*  
Erol TUTUMLUER, *University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, USA*  
Fatma YALCINKAYA, *Technical University of Liberec, Liberec, Czech Republic*  
Gerhard-Wilhelm WEBER, *Middle East Technical University, Ankara, TR*

**Yayın Editörleri / Technical Editors**

Ayşe BIYIKLI, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Mehmet KIR, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Elif Merve KUCUKONER, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Yasemin SIMSEK TURKER, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Sıla YAMAN, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*

**Dizin ve İndeksler / Abstracting & Indexing**

TR-DIZIN / EBSCOhost / SCILIT / SOBIAD / Google Scholar / CrossRef

**Araştırma Makaleleri / *Research Articles***

<i>MULTI-STEP FORWARD FORECASTING OF ELECTRICAL POWER GENERATION IN LIGNITE-FIRED THERMAL POWER PLANT</i>	1-13
Alper KEREM, İsmail KIRBAŞ	
<i>ISIL İŞLEMİN ELMA SUYUNDA ENZİM AKTİVİTESİ VE FENOLİK BİLEŞİKLERE ETKİSİ: FTIR VE HPLC ÇALIŞMASI</i>	14-26
Hande BALTACIOĞLU, Gözde DOĞANAY	
<i>THE STRUCTURAL COUPLING TO RUPTURE COMPLEXITY OF THE AFTERSHOCK SEQUENCE OF THE 2011 EARTHQUAKES IN LAKE VAN AREA (EASTERN ANATOLIA, TURKEY)</i>	27-51
Mustafa TOKER	
<i>AIR QUALITY INDEX PREDICTION IN BESIKTAS DISTRICT BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND K NEAREST NEIGHBORS</i>	52-63
Burhan BARAN	
<i>KAHRAMANMARAŞ YEMENİ VE ÇARIKLARINDA KULLANILAN DERİ MALZEMESİNİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ</i>	64-76
Mustafa Oğuz GÖK, Hatice ARIKAN	
<i>DOĞRU AKIM ÖZDİRENÇ VE MANYETOTELLÜRİK VERİLERİNİN TERS ÇÖZÜMÜ İÇİN MELEZ ALGORİTMA</i>	77-87
Kadir KARA, Ertan PEKŞEN	
<i>JITTER ÖLÇÜMÜNDE ÖNEMLİ BİR GÖSTERGE: ARDIŞIK BLOKLAR</i>	88-98
Necdet Tuğrul ARTUĞ, Sezin ALPAYDIN BASLO, Barış BASLO	
<i>SÜREKLİ MIKNATISLI SENKRON MOTORLAR İÇİN YENİ ÇOK SEVİYELİ EVİRİCİ TOPOLOJİSİ</i>	99-107
Esra KANDEMİR BEŞER, Ersoy BEŞER	
<i>GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETON AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLEN HARÇLARDA YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI</i>	108-115
Emriye ÇINAR, Behcet DÜNDAR, Tayfun UYGUNOĞLU	
<i>UYARLAMALI BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ TABANLI İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA)'NİN ROTA TAKİBİ VE FAYDALI YÜK TAŞIMA PERFORMANSI</i>	116-125
Egemen BELGE, Aytaç ALTAN, Rifat HACIOĞLU	
<i>ŞEFAATLİ (YOZGAT) DOĞUSU SU KAYNAKLARININ HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ</i>	126-138
Şehnaz ŞENER, Erhan ŞENER	
<i>TÜRKİYE'DE YAŞANAN KIYI KENAR ÇİZGİSİ-MÜLKİYET SORUNLARININ ÖRNEK OLAYLARLA DEĞERLENDİRİLMESİ</i>	139-149
Halil Burak AKDENİZ, Şaban İNAM	
<i>GİRESUN-PIRAZİZ ARASINDA KARADENİZ SAHİL YOLUNA BAĞLI KIYI ÇİZGİSİ DEĞİŞİMİ VE GÜNCEL PLAJ OLUŞUMLARI</i>	150-166
Ahmet APAYDIN, Murat DURMAZ	
<i>STATİK YÜKLÜ RADYAL KAYMALI YATAKLARDA HİDRODİNAMİK YAĞLAMANIN ANALİZİ</i>	167-175
Güler ÖNCÜ, Ertuğrul DURAK	
<i>ÖZDERE (İZMİR) JEOTERMAL KAYNAĞININ HİDROJEOKİMYASI VE DENİZ SUYU İLE İLİŞKİSİ</i>	176-186
Can BAŞARAN	
<i>ŞAŞIRTMALI MAHMUZLARIN ÜÇ BOYUTLU SAYISAL ANALİZİ</i>	187-198
Oğuz ŞİMŞEK, Veysel GÜMÜŞ, Abdulkadir ÖZLÜK	

<i>KALÇA PROTEZİ TASARIMININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ</i>	199-208
<i>Fatih KAYA, Gülhan İNCE, Mehmet AVCAR, Lokman YÜNLÜ</i>	
<i>FDM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN PLA NUMUNELERİN ÇEKME ÖZELLİKLERİNE İŞLEM PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ</i>	209-216
<i>Selim BACAK, Hatice VAROL ÖZKAVAK, Muzaffer TATLI</i>	
<i>KALSİYUM ALÜMİNAT ÇİMENTOLU HAFİF BETONUN FİZİKO-MEKANİK VE TERMAL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI</i>	217-229
<i>Metin DAVRAZ, Murat KORU, Burak YANARDAĞ</i>	
<i>KÜRESEL BULANIK KÜMELER İLE GÜVENİLİRLİK ANALİZİ</i>	230-239
<i>Esra ÇAKIR, Ziya ULUKAN</i>	
<i>PORSELEN KARO YÜZEY MODİFİKASYONU</i>	240-254
<i>Gökhan AÇIKBAŞ, Mehmet Behlül KAYALI, Nurcan Çalış AÇIKBAŞ</i>	
<i>İÇTEN YANMALI MOTORLARDA ÖSTENİTİK EGZOZ SUPAPLARININ YÜKSEK SICAKLIK AŞINMA MEKANİZMALARININ TESPİTİ</i>	255-264
<i>Fatma BAYATA</i>	
<i>ZEMİNLERİN KIVAM VE KOMPAKSİYON ÖZELLİKLERİNİN TAHMİNİNDE RASTGELE ORMAN REGRESYONU YÖNTEMİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ</i>	265-281
<i>Said Enes NURAY, Hazal Berrak GENÇDAL, Zülal AKBAY ARAMA</i>	
<i>TEMİZLİK ÇALIŞANLARININ ÇALIŞMA POZİSYONLARININ BAUA YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ: GIDA ÜRETİM FABRİKASI ÖRNEĞİ</i>	282-300
<i>Gülçin ÖZCAN, Müge ENSARİ ÖZAY</i>	
<i>GÜRBÜZ YÜZ TANIMA İÇİN ÇOK-KİPLİ ÖZNETELİK FÜZYONU</i>	301-311
<i>Cihan TOPAL, Cevdet CIVİR</i>	
<i>ANKARA - İZMİR YÜKSEK HIZLI TREN PROJESİNİN AFYON - UŞAK (EŞME) KESİMİNDEKİ KAYA BİRİMLERİNİN JEOTEKNİK DEĞERLENDİRMESİ</i>	312-318
<i>Mehmet ÖZÇELİK</i>	
<i>ZIMPARA TAŞI İÇEREN CEVHER ALANINA AİT MANYETİK VERİLERİN SINIR ANALİZİ YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ: MUĞLA, TÜRKİYE ÖRNEĞİ</i>	319-329
<i>Erdinç ÖKSÜM, M. Nuri DOLMAZ, Muhterem DEMİR, Luan PHAM</i>	
<i>GREEN SYNTHESIS OF SPHERICAL-SHAPED Ni<sub>1</sub>/3Co<sub>1</sub>/3Mn<sub>1</sub>/3CO<sub>3</sub> PARTICLES</i>	330-335
<i>Müslüm DEMİR</i>	
<i>BİR MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİNİN FARKLI İÇ ORTAMLARINDAN TOPLANAN TOZ ÖRNEKLERİNDEKİ PAH VE PCBLERİN SEVİYELERİNİN VE KAYNAKLARININ İNCELENMESİ</i>	336-347
<i>Sema YURDAKUL, Işıl ÇELİK SAĞLAM, Banu ÇETİN</i>	

## Derleme Makaleler / Review Articles

<i>ALTYAPI YATIRIM KARARLARINDA MALİYET HESABI VE ETKİSİNE DAİR BİR İNCELEME</i>	348-358
<i>Selim Yüksel PAZARÇEVİREN, Mehmet Çağrı KIZILTAŞ</i>	



## MULTI-STEP FORWARD FORECASTING OF ELECTRICAL POWER GENERATION IN LIGNITE-FIRED THERMAL POWER PLANT

Alper KEREM<sup>1\*</sup>, İsmail KIRBAŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Electrical Electronics Engineering, Kahramanmaraş, Turkey

<sup>2</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Computer Engineering, Burdur, Turkey

### Keywords

ARIMA,  
NAR,  
Artificial Neural Network,  
Time Series,  
Multi-Step Forward Forecast.

### Abstract

This paper presents multi-step forward forecasting studies using real-time generated electrical power time series. Nonlinear Automatic Regression (NAR) and Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) models were created and applied to the generator power time series produced in Afşin-Elbistan Thermal B Plant. The data were divided into three categories as raw, 10-moving average and 20-moving average while the number of forwarding steps has been established as 6-step forward, 12-step forward and 20-step forward. Performance results of NAR and ARIMA models were presented with 6 scenarios, and then, the results were compared with tables and graphs. As a result of all studies, it has been observed that the model's success was greatly affected by moving average and forward steps parameters.

## LİNYİT YAKITLI TERMİK SANTRALDE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNİN ÇOK ADIMLI İLERİ TAHMİNİ

### Anahtar Kelimeler

ARIMA,  
NAR,  
Yapay Sinir Ağları,  
Zaman Serisi,  
Çok-Adımlı İleri Tahmin.

### Öz

Bu çalışmada gerçek zamanlı üretilen elektriksel güç zaman serilerinin kullanılmasıyla çok adımlı ileriye dönük tahmin çalışmaları anlatılmaktadır. Doğrusal Olmayan Otoregresif (NAR) ve Otoregresif Hareketli Ortalama (ARIMA) modelleri oluşturulmuş ve Afşin-Elbistan Termik B Santralinde üretilen generatör güç zaman serilerine uygulanmıştır. Veriler ham, 10 hareketli ortalama ve 20 hareketli ortalama olarak üç kategoriye ayrılırken, adım sayısı 6 adım ileri, 12 adım ileri ve 20 adım ileri olarak belirlenmiştir. NAR ve ARIMA modellerinin performans sonuçları 6 senaryo ile oluşturulmuş, ardından sonuçlar tablo ve grafikler ile karşılaştırılmıştır. Tüm çalışmalar sonucunda, hareketli ortalama ve ileri adım sayısı parametrelerinin model başarısını büyük ölçüde etkilediği görülmüştür.

### Alıntı / Cite

Kerem, A., Kirbaş, İ., (2021). Multi-Step Forward Forecasting of Electrical Power Generation in Lignite-Fired Thermal Power Plant, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(1), 1-13.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Kerem, 0000-0002-9131-2274  
İ. Kirbaş, 0000-0002-1206-8294

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	08.12.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	22.12.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	03.02.2021
Yayın Tarihi / Published Date	30.03.2021

## 1. Introduction

Electrical energy is vital for human life to survive. However, the rapidly growing global population and developing technology brings several concerns for energy supplies (Kirbaş and Kerem, 2016). Coal, natural gas, nuclear, oil and renewable energy sources are among the main sources of power production. And, energy consumption can be detailed according to residences, industry, trade and other user communities (Rahman and Esmailpour, 2015). Energy supply, demand and prices have become more changeable and unpredictable in recent competitive

\* İlgili yazar / Corresponding author: alperkerem@ksu.edu.tr, +90-344-300-1702

conditions (Hong et al., 2016). Thus, energy forecasting studies are carried out in order to make these complexities more stable. Furthermore, it's aimed to balance the energy demand; determining the amount of imported power (Rahman and Esmailpour, 2015); managing the electrical power systems with accurately and reliably; ensuring the efficient operation of electrical power systems (Bracale et al., 2014); integrating power plants into the market; balancing the demand for auxiliary service and cost; increasing to power quality, transmission capacity, stability and reliability (Yuan-Kang and Jing-Shan, 2007) using forecasting studies.

Forecasting models consist of physical method, statistical method and hybrid method (Mao and Shaoshuai, 2016). Physical method is a method that uses weather data such as temperature, pressure, surface roughness and obstacles (Chang, 2014). The statistical method based on time series (Mao and Shaoshuai, 2016) that uses the difference between actual data and recently estimated data (Yuan-Kang and Jing-Shan, 2007). Time series forecasting is a technique that uses historical data to predict future problems in science, engineering, economics and many other applications (Niu et al., 2010). The hybrid method aims to increase the prediction accuracy and decrease the error rate by taking advantages of each model that creates it (Bhaskar and Singh, 2012).

This study is based on forecasting of real-time generated electrical power time series. Thus, forecasting studies which use time-series in related literature, have been examined. Accordingly, Rahman and Esmailpour (2015) designed Backpropagation Neural Network (BP+NN) model for electricity generation forecasting. Obradovic and Tomsovic (1999) used time series model to estimate the electricity market price. Amjady et al. (2010) designed the Short-Term Load Forecast (STLF) model for short-term load estimates. They created this new hybrid model using Enhanced Differential Evolution (EDE), Feature Selection (FS) and NN+EA models. Hossain and Mahmood (2020) designed Long Short-Term Memory Neural Network (LSTM+NN) model for electrical load estimations. They compared model performance with Extreme Learning Machine (ELM) and Generalized Regression Neural Network (GRNN) models. Jeong (2020) used Gaussian Process Regression (GPR) model to predict energy trade in microgrid. Liu et al. (2020) performed the electricity market price prediction using LSTM model. Bálint et al. (2019) have forecasted power generation of solar panels using a weather forecast for microgrid application. Sahu et al. (2019) used Nonlinear Automatic Regression (NAR) and Nonlinear Automatic Regression Exogenous (NARX) models in the wind and solar generation forecasting studies. Sfetsos (2000) has applied the models for wind speed forecasting separately, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS), Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA), Backpropagation Neural Network (BP+NN), Levenberg Marquardt Neural Network (LM+NN), Neural Logic Network Logic Rules (NLN+LR) and Radial Basis Function (RBF). Taylor et al. (2009) designed Autoregressive Moving Average Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (ARMA+GARCH) and Autoregressive Fractionally Integrated Moving Average Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (ARFIMA+GARCH) models for wind power density estimations. Shi (2012) performed wind speed and wind power forecast using ARIMA+ANN and ARIMA+Support Vector Machine (SVM) models. Kirbaş (2018) developed ARIMA and NAR models for wind speed forecasting. Liu et al. (2013) designed Wavelet Packet Broyden Fletcher Goldfarb Shanno (WP+BFGS), WP+ARIMA+BFGS and Wavelet+BFGS models for wind speed forecast. They compared model forms with Neuro Fuzzy (NF), ANFIS, Wavelet Radial Basis Function (W+RBF) and Persistent Model (PM). Hu et al. (2013) developed a hybrid model for wind speed estimates using Ensemble Empirical Mode Decomposition (EEMD) and SVM. Abdel-Aal et al. (2009) used Abductive Networks (AN) and NN models for wind speed estimation. Kerem and Kirbaş (2019) designed NAR model for multi-step forward wind speed forecasting. The related literature studies are presented in Table 1.

In this study multi-step forward forecasting studies were carried out using real-time electrical power generated in Afşin-Elbistan B Thermal Power Plant. Performances results of designed ARIMA and NAR models were presented with 6 different scenarios.

**Table 1.** Literature for time series applications in electricity studies

method	problem	reference
BP+NN	electricity generation forecast	(Rahman and Esmailpour, 2015)
time series	electricity market price forecast	Obradovic and Tomsovic (1999)
STLF EDE NN+EA ARIMA ARIMA+W AWNN	electricity load forecast of microgrids	Amjady <i>et al.</i> (2010)
LSTM+NN GRNN ELM	electrical load forecast	Hossain and Mahmood (2020)
GPR	energy trading forecast of microgrids	Jeong (2020)
LSTM	electricity market price forecast	Liu <i>et al.</i> (2020)
time series	solar generation forecast	Bálint <i>et al.</i> (2019)
NAR NARX BR	wind and solar generation forecast	Sahu <i>et al.</i> (2019)
ANFIS ARIMA BP+NN LM+NN NLN+LR RBF	wind speed forecast	Sfetsos (2000)
ARMA+GARCH ARFIMA+GARCH	wind power density forecast	Taylor <i>et al.</i> (2009)
ARIMA+ANN ARIMA+SVM	wind speed forecast wind power forecast	Si (2012)
ARIMA NAR	wind speed forecast	Kırbaş (2018)
W+BFGS WP+BFGS WP+ARIMA+BFGS NF ANFIS WP+RBF PM	wind speed forecast	Liu <i>et al.</i> (2013)
EEMD+SVM	wind speed forecast	Hu <i>et al.</i> (2013)
AN NN	wind speed forecast	Abdel-Aal <i>et al.</i> (2009)
NAR	wind speed forecast	Kerem and Kırbaş (2019)

Abbreviations - AN:Abductive Networks, ANN:Artificial Neural Network, ANFIS:Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems, ARIMA:Autoregressive Integrated Moving Average, ARMA+GARCH:Autoregressive Moving Average Autoregressive Conditional Heteroskedasticity, ARFIMA+GARCH:Autoregressive Fractionally Integrated Moving Average Autoregressive Conditional Heteroskedasticity, AWNN: Adaptive Wavelet Neural Network, BFGS:Broyden Fletcher Goldfarb Shanno, BPNN:Backpropagation Neural Network, BR:Bayesian Regularization, DE:Differential Evolution, EA:Evolutionary Algorithm, EDE:Enhanced Differential Evolution, EEMD:Ensemble Empirical Mode Decomposition, ELM:Extreme Learning Machine, GPR:Gaussian Process Regression, GRNN:Generalized Regression Neural Network, LM:Levenberg Marquardt, LSTM+NN:Long Short Term Memory Neural Network, LR:Logic Rules, NAR:Nonlinear Automatic Regression, NARX:Nonlinear Automatic Regression Exogenous, NF:Neuro+Fuzzy, NLN:Neural Logic Network, NN:Neural Network, PM:Persistent Model, RBF: Radial Basis Function, STLF:Short-Term Load Forecast, SVM:Support Vector Machine, W:Wavelet, WP:Wavelet Packet

## 2. Data From Lignite-Fired Thermal Power Plant

Turkey's installed electrical power is 91.342MW as of 2020. The biggest one is the thermal power plants with 46500,09MW power (and 51% ratio) among the other sources. Table 2 shows Turkey's installed electrical power.

**Table 2.** Installed Power of Turkey, 2020 (TEY, 2020)

Source	Installed Power (MW)
thermal	46500,09
hydroelectric	28508,06
wind	7609,34
solar	6032,07
biomass, waste heat, geothermal	2692,14
total	91342

Afşin-Elbistan B Thermal Power Plant is located in Kahramanmaraş city of Turkey. It consists of 4 units and each unit has 360MW installed power. The total installed power of the plant, which uses lignite as fuel, is 1440MW. Geographic location of Afşin-Elbistan B Thermal Power Plant is given in Figure 1.



Figure 1. Geographic location of Afşin-Elbistan B thermal power plant

In our study, raw production data obtained from thermal power plant were analyzed as raw and moving averages of 10 and 20. Descriptive statistics data related to the gathered production information are shown in detail in the Table 3.

Table 3. Data obtained from Afşin-Elbistan B thermal power plant

name	length	max	min	mean	mode
raw	298	899,92	135	705,014	811,000
ma 10	298	873,336	276,6	704,983	476,400
ma 20	298	870,276	439,8	704,657	761,700
name	median	skewness	kurtosis	var	std
raw	768,540	-1,206	3,826	26750,289	163,555
ma 10	739,800	-1,090	3,673	16566,712	128,712
ma 20	739,333	-0,894	2,824	10555,958	102,742

### 3. Methodology

In this study, the electricity production data of the thermal power plant was considered as a time series and 6 different models were developed and the future value of the production was estimated. In order to measure the performance of the prediction models, the raw data has been converted into 10 and 20 moving averages and the effect of using the moving average on the model performance has also been examined. For the forecasting, 3 different levels (6, 10 and 12) are determined as prediction steps. Three main scenarios, consisting of different input data types and different estimation steps, were adapted to ARIMA and NAR methods and a total of 6 different study scenarios were obtained. The scenarios and forecast models used are shown in Figure 2.

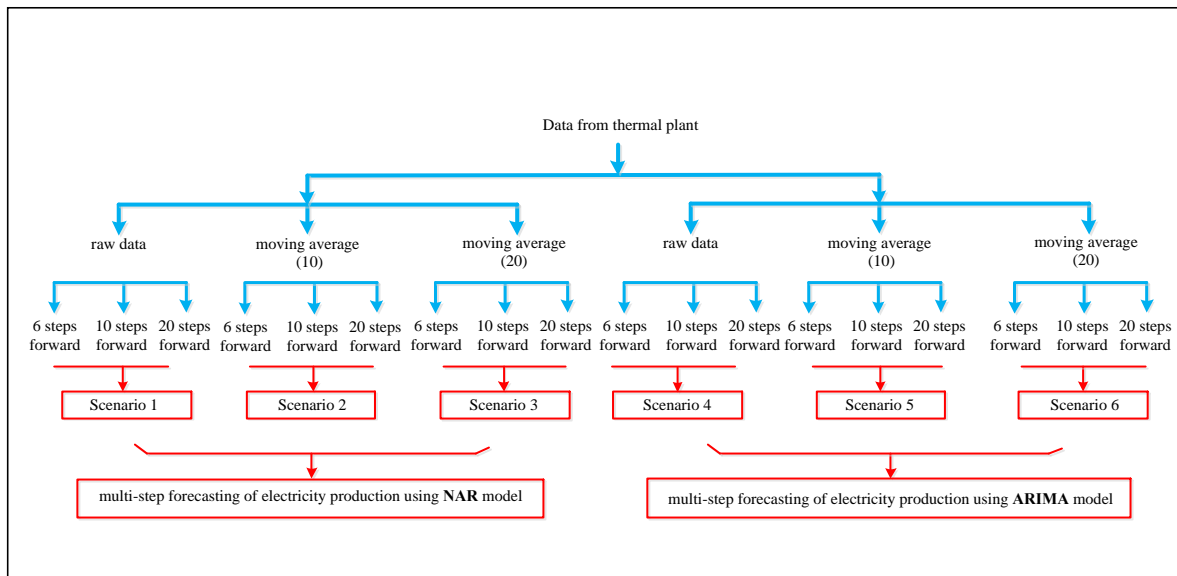


Figure 2. Scenarios for NAR and ARIMA models

Time series are numerical quantities in which the values of variables are observed sequentially from one period to another. It is not a condition that the observed data occur sequentially over time, but it is necessary to see the development of the sequence at regular intervals. The data used in business, economics, engineering, environmental sciences, medicine and many other scientific researches are collected in time series form. The series of observations for such a series, for example, measuring hourly temperatures, daily stock prices, weekly stocks monitoring, monthly diesel consumption or annual growth rates are compiled or collected at regular intervals of



time. One of the distinctive features of the time series data being different from other series data is that the observed values in the series are interdependent during the time period. Therefore, statistical methods and techniques that assume that the observations are independent of each other are not valid for time series (Sevüktekin and Çınar, 2017).

Relationship between realization (observed sample values) and process (a specific stochastic process) in time series analysis; similar to studies in statistical hypothesis testing, it is similar to the relationship between sample and population. Therefore, it can be said that a time series is a sample obtained from a certain stochastic process that constitutes the series.

A special aspect of time series analysis is the fact that consecutive observations take into account the time series. When sequential observations are dependent, it is possible to predict the values they will receive in the future from their previous observations. If a time series is fully predictable, it is expressed as a deterministic time series. However, most of the time series are stochastic (probabilistic); that is, the data that the series may receive in the future can be partially defined by its historical values. Precise predictions of the stochastic series can not be achieved, and future values have a distribution of probability conditioned by the knowledge of past values.

Analysis of time series summarizes the characteristics of a series and tries to reveal the outstanding structure of the series. The situation frequently encountered in time series is autocorrelated structures. As it is known, correlation is a measure of acting together between two variables or a non-causal relationship. Autocorrelation, on the other hand, conceptually implies the relationship between the value of a series in any period and the value of moving together between the value of the previous or next period. If a series has autocorrelation, it can be said that there is a correlation between the observations of the series (Sevüktekin and Çınar, 2017).

In the time series, sometimes instantaneous and mostly non-repeating sling-valued (outlier) observations can be encountered. The deviating values (outliers) are, on average, either too small or too large than the observation values present in the series. Therefore, they do not represent the pattern of the past or the future. The deviating values are generally observation values resulting from unusual events and /but not repeated.

ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) approach is one of the widely used methods for time series analysis. The reason why the method is so popular is that it can be solved with computer software, whether or not any series is stationary, with or without seasonal factors.

In the ARIMA model, there are basically three parameters  $p$ ,  $q$  and  $d$ . The AR component of ARIMA implies that the changing interest variable regresses to its own previous values. The mean of the error term is zero in a stationary time series and the deviation is  $\sigma^2$ . As in equation 1, the representation of this time series as a  $p$ -order autoregressive phase is shown as AR( $p$ ) if  $Y_t$  indicates the value of the time series at  $t$ -time (Kirbaş, 2018).

$$Y_t = \delta + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (1)$$

where  $\delta$  is a constant value and  $\varepsilon_t$  is an error term. If we want to express the time series as a  $q^{\text{th}}$  degree of moving average process MA( $q$ ), we can use equation 2.

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (2)$$

If we combine two AR( $p$ ) and MA( $q$ ) equations we obtain ARMA( $p,q$ ) equation 3.

$$Y_t = \delta + \varphi_1 Y_{t-1} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (3)$$

If the time series seeking to process is not constant, it can be done as a stationary by taking the  $d$  times the difference shape to make it constant. Once the difference is taken from of the non-stationary  $Y_t$  series, the  $\Delta Y$  series, which indicates a stationary feature, is obtained in equation 4.

$$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1} = Y_t - LY_t = Y_t' \quad (4)$$

The ARIMA ( $p, d, q$ ) process can be generally expressed by equation 5 (Sevüktekin and Çınar, 2017)

$$(1 - \varphi_1 L - \varphi_1 L^2 - \dots - \varphi_p L^p) \Delta^d Y_t = \delta + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (5)$$

PACF is used to determine the AR parameter value of the ARIMA model, and the correlogram graphs of the ACF functions are used to determine the parameter value of the MA. Step numbers above the specified threshold level are tested for both parameters AR and MA. Figure 3 shows the ACF correlogram used to determine the MA parameter. Figure 4 shows the PACF correlogram used to determine the AR parameter.

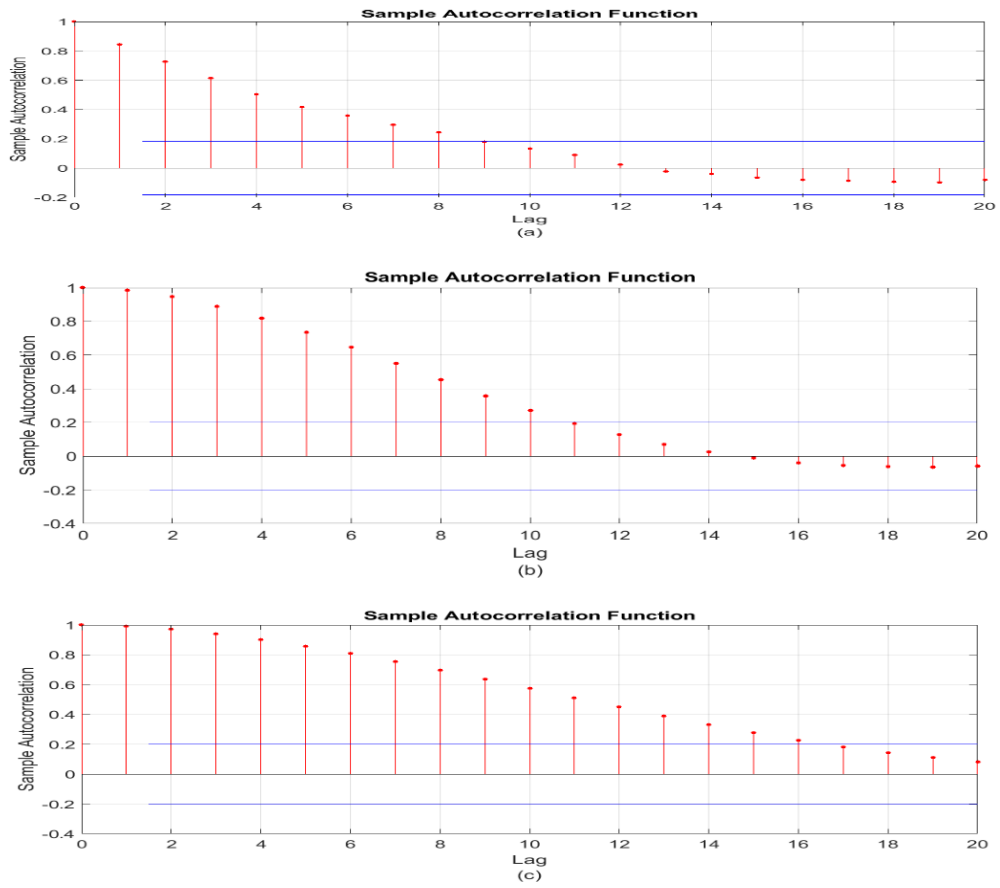


Figure 3. Sample Autocorrelation (a) raw (b) mov avg.10 (c) mov avg. 20 ARIMA

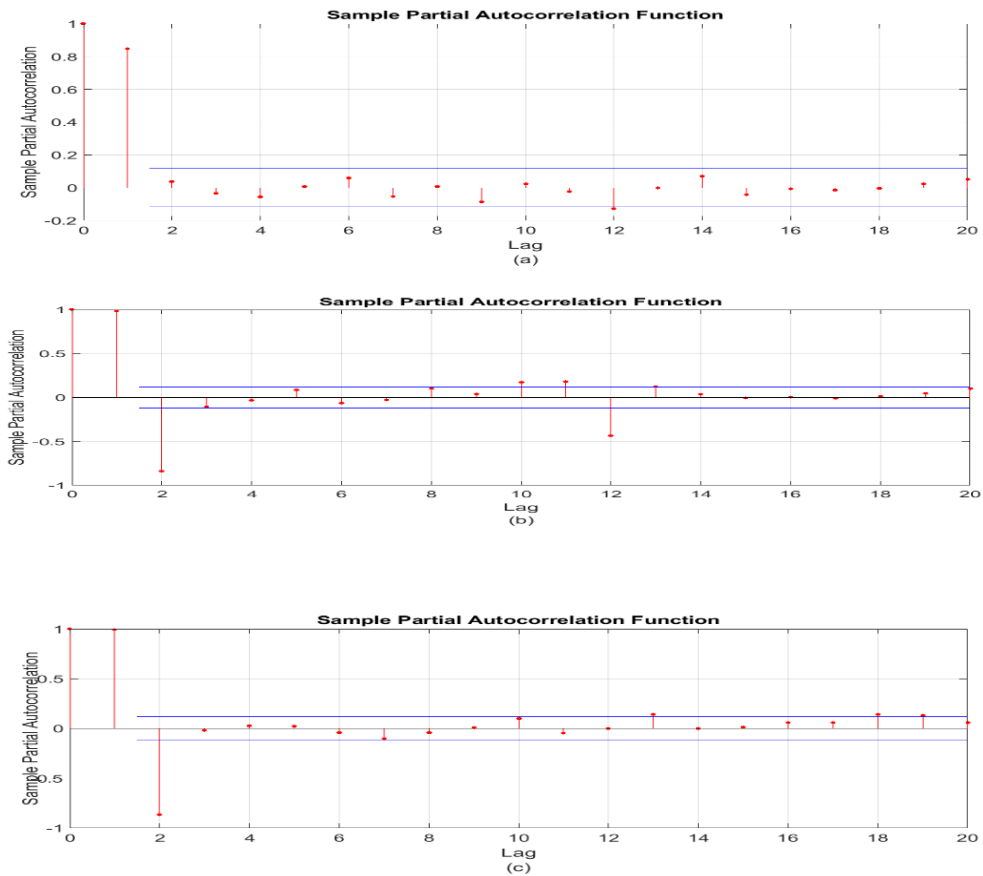


Figure 4. Sample Partial Autocorrelation (a) raw (b) mov avg. 10 (c) mov avg. 20 ARIMA

The efficiency of the model is generally measured by the Akaike Information Criteria (AIC) equation in order to determine the most appropriate parameter in the ARIMA method and is written as (Kirbaş, 2018)

$$AIC = -2 \log(L) + 2(p + q + k) \quad (6)$$

where  $L$  is the probability of the data,  $p$  is the autoregressive portion order, and  $q$  is the moving average portion order. The  $k$  represents the ARIMA model's intercept. The model with the lowest AIC criterion is deemed to be more successful than the others, according to this metric. The parameters demonstrating the best efficiency were obtained from the ARIMA (2,2,5) model in our analysis.

In the scope of the study, NAR ANNs structure was used as an alternative to ARIMA model. Artificial neural network structure is based on expressing the working and learning behaviour of the human brain with a mathematical model. They are used successfully in many different problems such as pattern recognition, classification, regression, optimization.

The multi-layered artificial neural network structure consists of synapses as in the biological sample. Here a mathematical model of a nerve cell is created. The model includes neural weights and a nonlinear transfer function. There are basically three layers in artificial neural networks. The first layer is the input layer where the data of the input variables are entered. The second layer is called the hidden layer and is fully connected with the neurons in the input layer. Data from the input layer is multiplied by certain weight values and transmitted to the transfer functions of neurons in the hidden layer (Kirbaş and Kerem, 2016).

Similarly, the transfer function outputs of the neurons in the hidden layer form the input data of the neurons in the output layer. After the transfer function of the output layer is performed, the output data of the artificial neural network is obtained. In order to determine the multiplier weights in the artificial neural network, the backpropagation algorithm is used. For this process, data with known input and output values are used for training and an increase or decrease is performed on the multiplier weights until the artificial neural network value calculates the correct output value against the known input value. After obtaining the determined performance criteria, the training phase is completed.

NAR is a frequently used approach especially in time series estimations. As training data and multiplier weights in the artificial neural network are calculated, this artificial neural network uses a certain part of the time series (Kirbaş, 2018).

In order to measure model performance, the values that neural network does not know during training are given as an input and asked to estimate the result. The NAR approach assumes that the value of  $y$  in time  $t$  ( $y_t$ ) is a function of the past  $d$  number, as seen in equation 7 (Kerem and Kirbaş, 2019).

$$y_t = f(y_{t-1}, \dots, y_{t-d}) \quad (7)$$

and this unknown  $f$  function tried to be modelled with artificial neural network. Figure 5 shows the NAR 2-delay model consisting of 10 neurons. The future value is estimated by this neural network by focusing on two historical data.

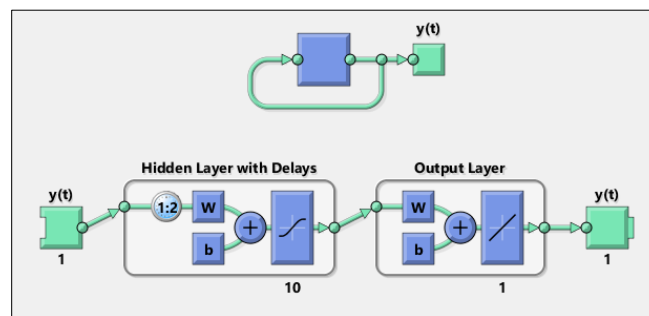


Figure 5. Main structure of NAR neural network model.

The values determined by the neural network are compared with the results previously known and the difference is looked at in order to assess the model's efficiency. For high efficiency, it is required that the value of the difference be close to zero. The seven criteria used to measure the performance of the prediction models in Table 4 are given together with their formulas.

**Table 4.** Model performance criteria (Kerem *et al.*, 2016; Kirbaş and Kerem, 2016; Kirbaş, 2018; Kerem and Kirbaş, 2019)

Model	Equation
Mean squared error	$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2$
Peak signal-to-noise ratio	$PSNR = 20 \log_{10} \left( \frac{MAX_f}{\sqrt{MSE}} \right)$
Root-mean-square error	$RMSE = \sqrt{\frac{SSE}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$
Normalized root-mean-square error	$NRMSE = \frac{RMSE}{Y_{max} - Y_{min}}$
Mean absolute percentage error	$MAPE = \frac{100}{n} \times \sum_{i=1}^n \left  \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right $
Symmetric mean absolute percentage error	$SMAPE = \frac{200}{n} \times \sum_{i=1}^n \left  \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i + \hat{Y}_i} \right $

#### 4. Performance Results

The question of how successful the prediction models developed in the study is very important. In order to make a fair comparison and examine the factors affecting the success of the forecast in more detail, a time series consisting of 298 measurements was created and forward predictions were made using 6 different scenarios. The performance values obtained for the forward estimation made in 6, 10 and 20 forward steps are given in Table 5.

**Table 5.** Scenario 1 results (NAR)

forward steps	values	MSE	PSNR	R	RMSE	NRMSE	MAPE	SMAPE
6 steps	best	3,06E+03	13,269	0,995	55,342	1,100	6,526	6,776
	average	1,25E+04	9,137	0,984	93,276	1,855	10,575	11,374
	worst	2,13E+04	4,851	0,966	145,876	2,901	16,280	18,128
10 steps	best	1,98E+03	15,171	0,996	44,458	0,413	4,832	5,001
	average	4,07E+03	10,132	0,987	83,580	0,777	9,285	9,630
	worst	1,48E+03	6,423	0,975	121,717	1,131	15,135	16,459
20 steps	best	2626,000	13,936	0,995	51,251	0,140	6,415	6,384
	average	2,14E+03	8,028	0,978	104,241	0,285	12,274	12,033
	worst	2319,00	4,477	0,955	152,288	0,416	16,658	18,747

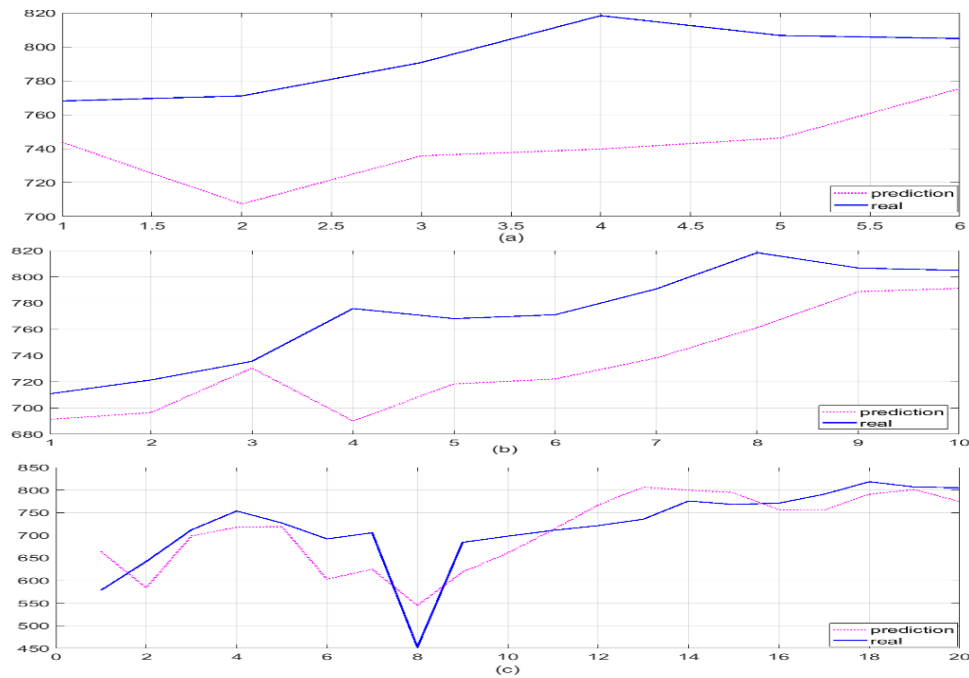
Scenario 1: (10 run), raw data  
delay of training: 8, number of neurons: 12, number of data: 298

When the results of Scenario 1 NAR model are examined, it is seen that the best estimate is obtained in 10 steps. Figure 6 shows the estimates and actual values of the NAR model for scenario 1 together. Table 6 also shows scenario 2 NAR results.

**Table 6.** Scenario 2 results (NAR)

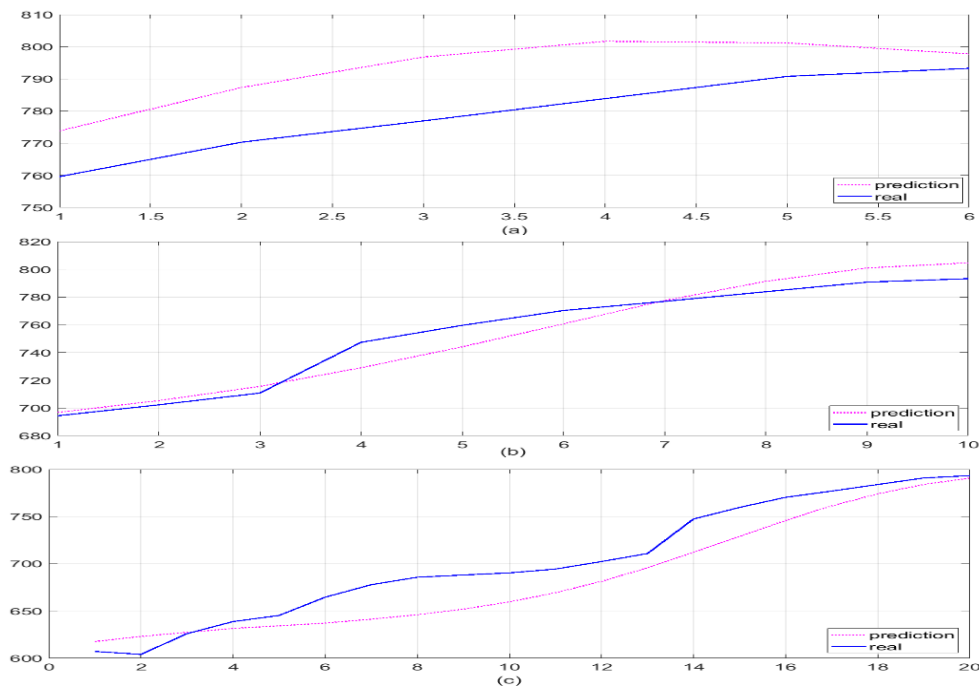
forward steps	values	MSE	PSNR	R	RMSE	NRMSE	MAPE	SMAPE
6 steps	best	1,98E+02	25,172	0,999	14,057	0,417	1,689	1,673
	average	7,64E+02	20,436	0,998	25,974	0,771	3,132	3,071
	worst	1,39E+03	16,703	0,997	37,271	1,107	4,461	4,352
10 steps	best	9,95E+01	28,151	0,999	9,976	0,100	1,094	1,097
	average	1,74E+03	18,700	0,996	36,234	0,366	4,028	4,092
	worst	4,11E+03	11,996	0,992	64,077	0,647	7,106	7,463
20 steps	best	551,091	20,718	0,998	23,475	0,124	2,900	2,951
	average	2,12E+03	15,921	0,995	43,542	0,230	5,066	4,941
	worst	4185,00	11,913	0,991	64,693	0,341	8,024	7,618

Scenario 2: (10 run), moving average: 10,  
delay of training: 8, number of neurons: 12, number of data: 298



**Figure 6.** Scenario 1 results (NAR) (a) 6 step-forward (b) 10 step-forward (c) 20 step-forward

When the results are evaluated, it is seen that the 10-step estimate includes the lowest error value. The results of NAR model for Scenario 2 are given in Figure 7.



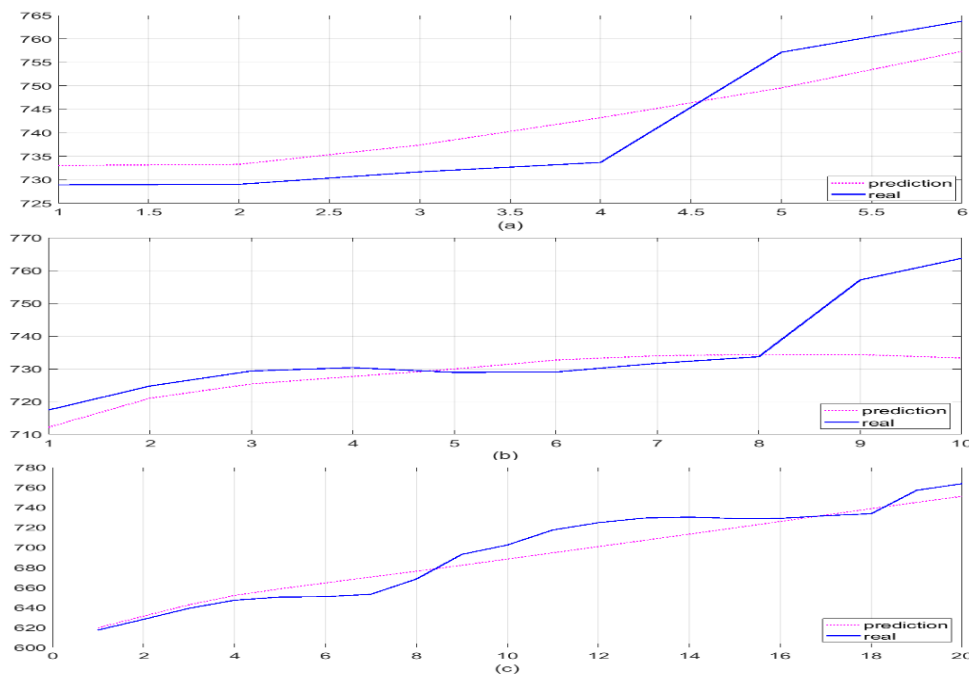
**Figure 7.** Scenario 2 results (NAR) (a) 6 step-forward (b) 10 step-forward (c) 20 step-forward

Scenario 5 results are given in Table 7. Accordingly, the lowest estimation error is seen in the 6-step estimate.

**Table 7.** Scenario 3 results (NAR)

forward steps	values	MSE	PSNR	R	RMSE	NRMSE	MAPE	SMAPE
6 steps	best	42,717	31,824	0,999	6,535	0,187	0,843	0,842
	average	4,89E+02	25,357	0,998	17,298	0,496	1,880	1,919
	worst	2,46E+03	14,221	0,995	49,598	1,424	5,323	5,549
10 steps	best	1,53E+02	26,283	0,999	12,369	0,267	1,020	1,033
	average	2,88E+02	24,158	0,999	16,389	0,354	1,824	1,807
	worst	5,71E+02	20,563	0,998	23,897	0,516	2,635	2,587
20 steps	best	1,65E+02	25,966	0,999	12,830	0,087	1,527	1,535
	average	2,48E+03	16,607	0,994	44,417	0,303	5,284	5,096
	worst	7,10E+03	9,616	0,985	84,281	0,576	9,857	9,408

Scenario 3: (10 run), moving average: 20  
delay of training: 8, number of neurons: 12, number of data: 298



**Figure 8.** Scenario 3 results (NAR) (a) 6 step-forward (b) 10 step-forward (c) 20 step-forward

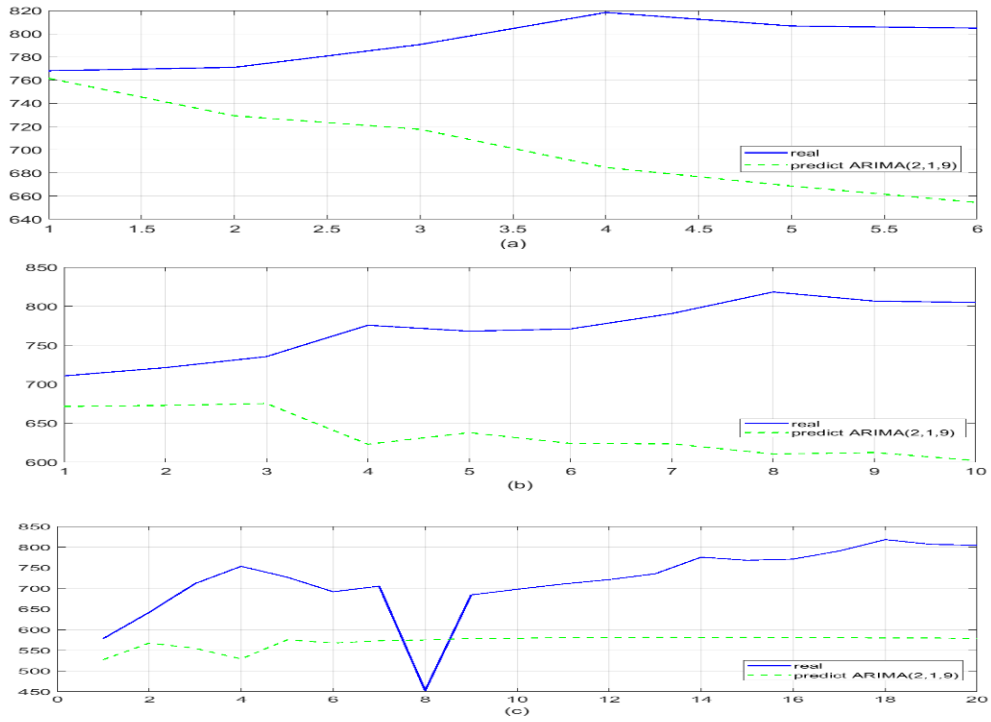
Table 8 shows the results for scenarios 4, 5 and 6. Accordingly, 10-step estimation of scenario 6 gives the most successful result, while the worst estimate was realized in the 20-step process of scenario 4-5-6.

**Table 8.** Scenario 4-5-6 results ARIMA(2,2,5)

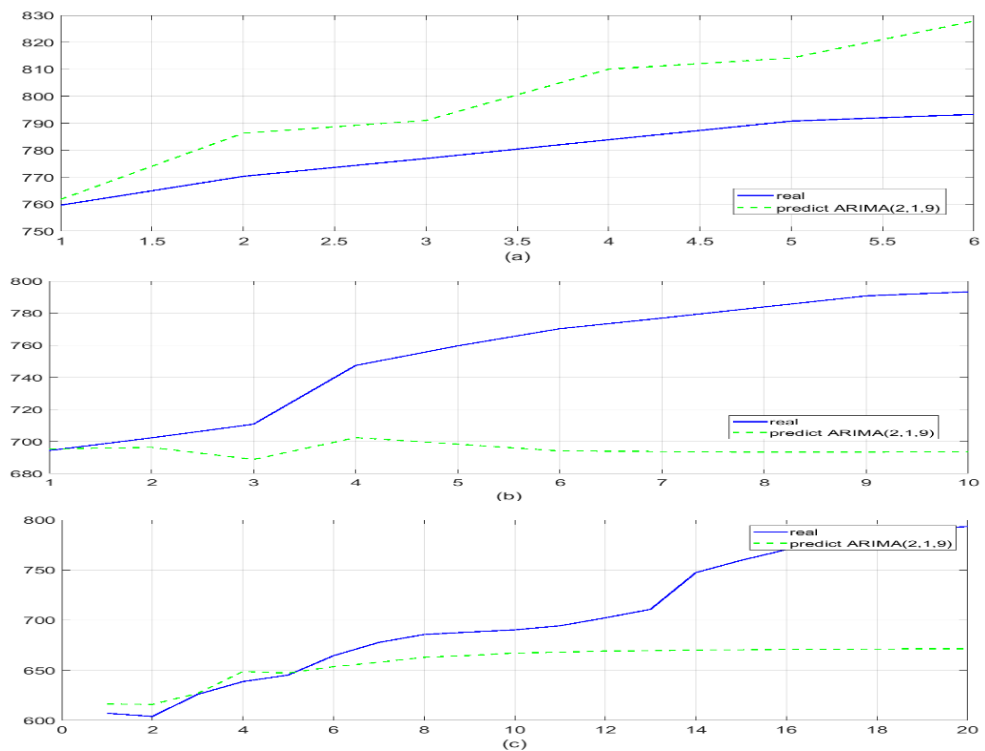
	frd step	MSE	PSNR	R value	RMSE	NRMSE	MAPE	SMAPE	SMAPE
Scenario 4	6 step	11110	7,674	0,982	105,402	2,096	11,273	12,203	1,392
	10 step	21904	4,726	0,963	147,999	1,376	17,180	19,135	1,375
	20 step	27570	3,726	0,947	166,043	0,454	21,687	24,177	2,432
Scenario 5	step 6	480,51	21,314	0,999	21,921	0,651	2,470	2,432	3,751
	step 10	4660,6	11,446	0,992	68,268	0,690	7,516	7,921	6,764
	step 20	4137,8	11,963	0,992	64,326	0,340	6,396	6,764	7,921
Scenario 6	step 6	152,59	26,296	1,000	12,353	0,355	1,383	1,392	10,026
	step 10	188,5	25,378	1,000	13,729	0,296	1,359	1,375	10,140
	step 20	6191,2	10,213	0,987	78,684	0,538	9,404	10,026	12,203

Scenario 4: (10 run), raw data  
Scenario 5: (10 run), moving average: 10  
Scenario 6: (10 run), moving average: 20  
number of data: 298

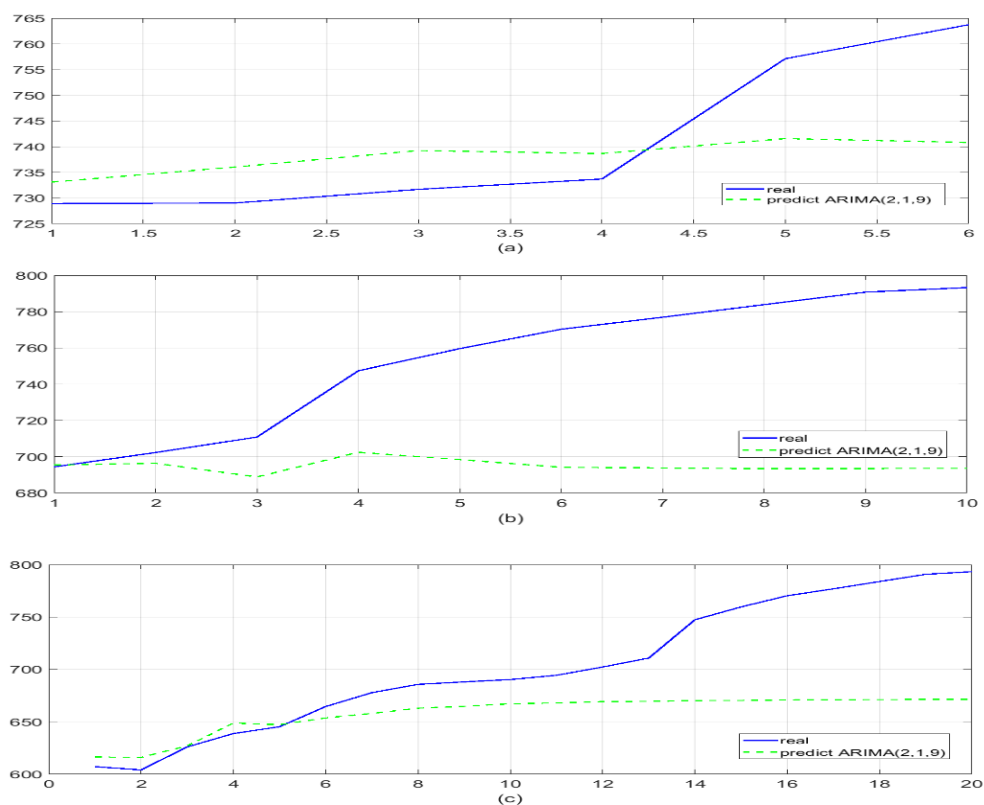
Figures 9 show 3 different scenario results for the 10 and 11 ARIMA models.



**Figure 9.** Scenario 4 results (ARIMA) (a) 6 step-forward (b) 10 step-forward (c) 20 step-forward



**Figure 10.** Scenario 5 results (ARIMA) (a) 6 step-forward (b) 10 step-forward (c) 20 step-forward



**Figure 11.** Scenario 6 results (ARIMA) (a) 6 step-forward (b) 10 step-forward (c) 20 step-forward

## 5. Conclusion

In this study, it is aimed to forecast the production data from a thermal power plant in 6, 10 and 20 steps prospectively. For this aim, two different prediction models based on ARIMA and NAR models have been developed. In order to compare the performance of the models, six different scenarios have been created and the results are compared with tables and graphs.

NAR model seems to be more successful than ARIMA model when tables and graphs are examined. The number of prediction steps is also vital in multi-step estimation. Estimation performance decreases as the number of steps increases. It is quite difficult to find an exact number for the most suitable prediction number. When the model results are examined, it is seen that the best model is the NAR model used in scenario 3. Since the NAR model is based on artificial neural network, it contains randomness and different performance rates can be observed in each training steps. For a fairer evaluation, the same scenario was run 20 times in a row, and the best, worst and average values obtained from these 20 studies were found. Another outcome obtained from the results is that the NAR model can make more flexible predictions than the ARIMA model. The use of moving averages in the time series also clearly affects the forecast performance positively.

The results of the study show that the thermal power plant production data can be estimated prospectively using ARIMA or NAR based time series prediction models.

## Acknowledgements

The authors thank to Electricity Generation Company (EÜAŞ) and directorate of Afşin-Elbistan B Power Plant for their cooperation in providing data.

## Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

## References

Abdel-Aal R.E., Elhadidy M.A., Shaahid S.M., 2009. Modeling And Forecasting the Mean Hourly Wind Speed Time Series Using GMDH-Based Abductive Networks, *Renewable Energy* 34: 1686-1699.



- Amjady A., Keynia F., Zareipour H. 2010., Short-Term Load Forecast of Microgrids by a New Bilevel Prediction Strategy, IEEE Transactions on Smart Grid, 1(3):286-294.
- Bálint R., Fodor A., Magyar A. 2019., Model-Based Power Generation Estimation of Solar Panels Using Weather Forecast for Microgrid Application, Acta Polytechnica Hungarica, 16 (7): 149-165.
- Bhaskar K. and Sing S. N. 2012., AWNN-Assisted Wind Power Forecasting Using Feed-Forward Neural Network. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Sustainable Energy, 3(2): 306-315.
- Bracale A., Carpinelli G., Rizzo R., Russo A. 2014., Advanced Method and Cost-Based Indices for Probabilistic Forecasting the Generation of Renewable Power, 3<sup>rd</sup> Renewable Power Generation Conference (RPG 2014), 24-25 Sept. 2014, Naples, Italy.
- Chang W.Y. 2014., A Literature Review of Wind Forecasting Methods, Journal of Power and Energy Engineering, 2:161-168.
- Hong T., Pinson P., Fan S., Zareipour H., Troccoli, A., Hyndman, R. J. 2016., Probabilistic Energy Forecasting: Global Energy Forecasting Competition 2014 and Beyond, International Journal of Forecasting, 32: 896-913.
- Hossain M.S., Mahmood H. 2020., Short-Term Load Forecasting Using an LSTM Neural Network, 2020 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI), 27-28 Feb. 2020 Champaign, IL, USA.
- Hu J., Wang J., Zeng G. 2013., A Hybrid Forecasting Approach Applied to Wind Speed Time Series, Renewable Energy, 60:185-194.
- Jeong G., Park S., Hwang G. 2020., Time Series Forecasting Based Day-Ahead Energy Trading in Microgrids: Mathematical Analysis and Simulation, IEEE Access, 10.1109/ACCESS.2020.2985258, 8(20): 63885-63900.
- Kerem A., Kirbas İ., Saygin A. 2016., Performance Analysis of Time Series Forecasting Models for Short Term Wind Speed Prediction, International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS), 24-28 May 2016, Sarajevo, Bosnia-Herzegovina.
- Kerem A., Kırbaş İ. 2019., Doğrusal Olmayan Otoregresif Ağ (NAR) Modelinin Gerçek Zamanlı Rüzgar Hızı Zaman Serilerine Uygulanması, International Symposium on Advanced Engineering Technologies (ISADET), 02-04 May, Kahramanmaraş, Turkey.
- Kırbaş İ., Kerem A. 2016., Short-Term Wind Speed Prediction Based on Artificial Neural Network Models, Measurement and Control, 49 (6) 183-190.
- Kırbaş İ. 2018., İstatistiksel Metotlar ve Yapay Sinir Ağları Kullanarak Kısa Dönem Çok Adımlı Rüzgâr Hızı Tahmini, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(1): 24-38.
- Liu H., Tian H., Pan D., Li Y. 2013., Forecasting Models for Wind Speed Using Wavelet, Wavelet Packet, Time Series and Artificial Neural Networks, Applied Energy, 107:191-208.
- Liu S., Zhang L., Zou B. 2020., Study on Electricity Market Price Forecasting With Large-Scale Wind Power Based on LSTM, 6<sup>th</sup> International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA), 3-6 Jan. 2020, Harbin, China.
- Mao Y. and Shaoshuai W. 2016., A Review of Wind Power Forecasting & Prediction. Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), 2016 International Conference, Beijing, China.
- Niu D., Shi H., Li J., Wei Y. 2010., Research on Short-Term Power Load Time Series Forecasting Model Based on BP Neural Network, 2<sup>nd</sup> International Conference on Advanced Computer Control, 27-29 March 2010, Shenyang, China.
- Obradovic Z., Tomsovic, K. 1999., Time Series Methods for Forecasting Electricity Market Pricing, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Conference Proceedings (Cat. No.99CH36364), 18-22 July 1999, Edmonton, Alta, Canada.
- Rahman M.N., Esmailpour A. 2015., An Efficient Electricity Generation Forecasting System Using Artificial Neural Network Approach With Big Data, 2015 IEEE First International Conference on Big Data Computing Service and Applications, 213-217.
- Sahu M. K., Sahoo B., Khatoı M., Behera S. 2019., Short-Term Wind And PV Generation Forecasting of Time-Series Using ANN, International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS), 15-17 May 2019, Madurai, India.
- Sevüktekin M., Çınar M. 2017., Ekonometrik Zaman Serileri Analizi: Eviews Uygulamalı, Dora Yayıncılık, 1- 667.
- Sfetsos A. 2000., A Comparison of Various Forecasting Techniques Applied to Mean Hourly Wind Speed Time Series, Renewable Energy, 21: 23-35
- Shi J., Guo J., Zheng S. 2012., Evaluation of Hybrid Forecasting Approaches for Wind Speed and Power Generation Time Series, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16: 3471-3480.
- Taylor J.W., McSharry P.E., Buizza R. 2009., Wind Power Density Forecasting using Ensemble Predictions and Time Series Models, IEEE Transactions on Energy Conversion, 24(3): 775-782.
- Türkiye Elektrik Yatırımları 2020 Yılı Ocak Ayı Özet Raporu, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü Yatırımlar Dairesi Başkanlığı, Ocak 2020, 1-4, Ankara, Turkey
- Yuan-Kang W., Jing-Shan H. 2007., A Literature Review of Wind Forecasting Technology in The World, 2007 IEEE Lausanne Power Tech, 1-5 July 2007, Lausanne, Switzerland.



## ISIL İŞLEMİN ELMA SUYUNDA ENZİM AKTİVİTESİ VE FENOLİK BİLEŞİKLERE ETKİSİ: FTIR VE HPLC ÇALIŞMASI

Hande BALTACIOĞLU\*, Gözde DOĞANAY

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Elma Suyu, Isıl İşlem, Fenolik Bileşik, FTIR, HPLC.</i>	Bu çalışmada farklı sıcaklık (40, 50, 60, 70 ve 80 °C) ve sürelerde (5, 10, 15, 20, 25, 30 dakika) uygulanan ısıl işlemin elma suyunda Polifenol oksidaz (PPO) ve Peroksidaz (POD) enzim aktivitesi ile fenolik bileşikler üzerine etkisi incelenmiş ve fenolik bileşiklerdeki değişim FTIR spektroskopisi ve HPLC kullanılarak belirlenmiştir. Enzim inaktivasyonu genellikle artan sıcaklık ve zamanla artmıştır. PPO enziminde 80 °C'de 20 dakika sonunda % 99 inaktivasyon sağlanırken, POD enziminde 80 °C'de 20 dakika sonunda % 93,29 inaktivasyon sağlanmıştır. Genellikle 70 ve 80 °C sıcaklıkta toplam fenolik ve antioksidan aktivitede artış belirlenmiştir. Bu artış, enzim inaktivasyonu ile ilişkilendirilmiştir. 80 °C' de 20 dakika ısıl işlemden sonra toplam fenolik madde miktarı 668,41 ± 12,70 mg GAE/kg yaş ağırlık, EC <sub>50</sub> değeri 24,28 ± 0,69 mg/ml olarak belirlenmiştir. HPLC ile elma suyunda belirlenen fenolik bileşikler kateşin, klorojenik asit, epikateşin ve kamferol olmuştur. FTIR spektrumları incelendiğinde spesifik bantların epikateşin ve klorojenik asitle uyumlu olduğu ve bulunan sonuçların HPLC ile paralellik gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca FTIR spektroskopisi ile fenolik bileşik içeriğinde bir değişim gözlenmemiştir.

## EFFECT OF THERMAL TREATMENT ON ENZYME ACTIVITY AND PHENOLIC COMPOUNDS IN APPLE JUICE: FTIR AND HPLC STUDY

Keywords	Abstract
<i>Apple Juice, Thermal Treatment, Phenolic Compound, FTIR, HPLC.</i>	In this study, the effect of thermal treatment with different temperatures (40, 50, 60, 70, 80 °C) and times (5, 10, 15, 20, 25, 30 minutes) on Polyphenol oxidase(PPO) and Peroxidase (POD) and phenolic compounds in apple juice was investigated and the change in phenolic compounds was determined by FTIR spectroscopy and HPLC. Enzyme inactivation generally increased with increasing temperature and time. In PPO 99 % and in POD 93.29 % inactivation was achieved after 20 minutes at 80 °C. Generally, an increase was determined at 70 and 80 °C in total phenolic content (TPC) and antioxidant activity. This increase has been associated with enzyme inactivation. After 20 minutes at 80 °C, TPC was determined as 668.41 ± 12.70 mg GAE/kg fresh weight, EC <sub>50</sub> value was 24.28 ± 0.69 mg/ml. The phenolic compounds identified in apple juice by HPLC were catechin, chlorogenic acid, epicatechin and kaempferol. An increase in the amount of phenolic compounds was determined for 20 minutes at 80 °C. When FTIR spectra were examined, it was determined that the specific bands were compatible with epicatechin and chlorogenic acid and these results were parallel to HPLC. In addition, no change in phenolic compounds was observed with FTIR spectroscopy.

### Alıntı / Cite

Baltacıoğlu, H., Doğanay, G., (2021). Isıl İşlemin Elma Suyunda Enzim Aktivitesi ve Fenolik Bileşiklere Etkisi: FTIR ve HPLC Çalışması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 14-26.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Baltacıoğlu, 0000-0003-0774-0872  
G. Doğanay, 0000-0002-1227-9892

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	28.12.2020
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	15.02.2021
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	28.02.2021
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

\* İlgili yazar / Corresponding author: handebaltacioglu@ohu.edu.tr, + 90-388-225-4226

## 1. Giriş (Introduction)

Meyvelerin ve sebzelerin işlenmesinde gıda kalitesinin sağlanması için enzimlerin inaktive edilmesi oldukça önem taşımaktadır. Polifenol oksidaz (PPO) ve Peroksidaz (POD) kaynaklı enzimatik esmerleşmeye bağlı olarak meydana gelen renk değişimleri, meyve suyunda kaliteyi etkileyen önemli bir problem olarak görülmektedir. Günümüzde meyve suyu üretiminde mikroorganizma ve enzimlerin inaktivasyonu için genellikle ısı işlem kullanılmaktadır. Ancak, ısı işlemler sırasında seçilen parametrelere göre gıdanın besinsel ve duyu özellikleri olumsuz etkilenmektedir. Bu nedenle ısı işlem ile enzim inaktivasyonu sağlanırken meyve sularında önemli bioaktif bileşenlerden olan fenolik bileşiklerin değişiminin de belirlenmesi önemlidir.

Yapılan bu çalışmada ülkemizde meyve suyu sektöründe en fazla üretilen meyve suyu olan elma suyuna, ısı işlem uygulamasının etkisi incelenmiştir. Bu amaçla ısı işlem uygulaması ile meyve sularının kalitesini olumsuz etkileyen PPO ve POD enzimlerinin inaktivasyonu araştırılmıştır. Bununla birlikte ısı işlem uygulamasının fenolik bileşikler üzerine etkisi belirlenmiştir. Bu amaçla toplam fenolik madde miktarı Folin-Ciocalteu yöntemiyle belirlenirken, antioksidan aktivite tayini DPPH yöntemiyle tespit edilmiştir. Ayrıca bireysel fenolik bileşiklerin ısı işlem ile değişimi yaygın kullanılan HPLC yöntemiyle ve FTIR spektroskopisiyle belirlenmiştir. Son yıllarda FTIR spektroskopisi meyve veya meyve suyu gibi çeşitli gıdalarda farklı kalite özelliklerini incelemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. FTIR spektroskopisi fenolik bileşik gibi çeşitli biyoaktif bileşenlerin belirlenmesinde hızlı, ekonomik, güvenilir ve kolay bir metot olarak önem kazanmaya başlamıştır.

Bu çalışma ısı işlem uygulamasının hem PPO ve POD gibi enzimatik esmerleşmeden sorumlu enzimlere etkisi hem de fenolik bileşiklere etkisinin Red Chief elma çeşidinde belirlendiği ilk çalışma olacaktır. Bu amaçla hafif ısı ( $\leq 80$  °C) uygulaması ve uzun işlem sürelerinde elma suyunda enzim aktivitesi, toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ile FTIR spektroskopisi ve HPLC kullanılarak fenolik bileşiklerin değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Elma (*Malus domestica*), gülgiller (*Rosaceae*) familyasından kültürü yapılan bir meyve türüdür. Lezzetli ve ekonomik olması, kolay bulunabilmesi ve sağlık üzerine olumlu etkileri bakımından en çok tüketilen gıdalardan biridir. İnsan beslenmesinde monosakkaritlerin, minerallerin, diyet lifinin, çeşitli biyolojik aktif bileşiklerin, C vitamini ve doğal antioksidan olarak bilinen fenolik bileşenlerin kaynağıdır (Erdogan ve Demirci, 2014). Ülkemiz meyve suyu sanayisinde işlenen meyvelerde en büyük payı yaklaşık % 46 ile elma almaktadır (Anonim, 2011).

Meyve ve sebzelerde bulunan doğal enzimlerden işleme teknolojisi açısından en önemlisi kuşkusuz PPO (EC 1.14.18.1) enzimidir. Doğrama, parçalama, ezme gibi işlemler veya başka bir mekanik etki sonucu oluşan zedelenme yerlerinde rengin hızla esmerleşip kararması bu enzimlerin istenmeyen etkilerinin sonucudur (Terefe vd., 2014). PPO'lar bakır içeren oksidoredüktazlardır. Substratları olan fenolik bileşikler oksijen eşliğinde esmer renkli bileşiklere oksitlemektedirler (Önez, 2006). POD'lar (EC 1.11.1.7), hidrojen peroksit varlığında fenolik bileşiklerin oksidasyonunu katalizleyerek kahverengi bozunma ürünlerinin oluşumuna öncülük eder (Cemeroğlu vd., 2001).

Gıdalarda kalite kayıplarına neden olan enzimleri inaktif hale getirmek için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Isıl işlemler enzim inaktivasyonunda gıda endüstrisinde en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Literatürde ısı işlem uygulaması ile elma PPO ve POD enzimlerinin inaktivasyonu üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Doğal enzimler, farklı termal kararlılıklara sahip izoenzimlerden oluşabilmektedir. Bu nedenle farklı meyvelerde veya aynı meyvenin farklı çeşitlerinde inaktivasyon süreleri ve sıcaklıkları farklılık göstermektedir (Yemenicioğlu vd., 1997).

Yemenicioğlu vd. (1997), 6 farklı elma çeşidinden (Golden Delicious, Starking Delicious, Granny Smith, Gloster, Starcrimson ve Amasya) elde edilen PPO'nun ısı parametrelerini belirlemek için üç farklı sıcaklık (68, 73, 78 °C) kullanmış ve elmadan elde edilen PPO' nın diğer meyvelerden elde edilene göre ısıya karşı daha dirençli olduğu bildirilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada Red Fuji, Granny Smith ve Golden Delicious PPO enzimleri arasında Granny Smith PPO enziminin 25-45 °C sıcaklık aralığında ısıya en fazla dayanıklı enzim olduğu, buna karşın Red Fuji PPO enziminin 65 °C' de en çok stabil kalan enzim olduğu belirlenmiştir (Liu vd., 2017). Krapfenbauer vd. (2006), sekiz farklı elma çeşidinden üretilen elma sularına (Florina, Gala, Golden Delicious, Idared, Jonagold, Pilot, Pinova ve Topaz) 60-90 °C sıcaklıkta ve kısa süreli (20-100 s) ısı işlem uygulamış ve PPO enziminin 80 °C' de tamamen inaktive olduğunu belirlemiştir. Niu vd. (2010), bulanık elma suyunda 55 °C' de hafif ısı uygulaması ile PPO enziminin minimum kalıntı aktivitesini % 66,4 ve 65 °C' de % 38,6 olarak bulmuştur. Golden HP ve Red delicious cinsinde POD enzimi 70 °C' de 10 dakika sonunda inaktif olurken, Golden JK ve Royal delicious 70 °C de 5 dakika sonunda inaktif olmuştur (Dubey vd., 2007). Jonagold Red cinsi elmalarda pastörizasyon sonunda POD' in kalıntı aktivitesi % 52 ve PPO' ın ise % 54 olarak belirlenmiştir (Riener vd., 2008).

Isıl işlemin etkinliğini belirlemek için sadece enzim inaktivasyonuna bakmak yeterli değildir. Enzim inaktivasyonu ile birlikte uygulanan prosesin gıdanın kalite parametreleri üzerindeki etkisi de incelenmelidir. Özellikle yüksek sıcaklıklardaki ısıl işlemler gıdanın besinsel ve duyuşal özellikleri üzerinde olumsuz etkilere sahiptirler. Sıcaklığın etkisiyle fenolik bileşikler gibi bileşenlerde olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Literatürde yapılan bazı çalışmalar, ısıl işlem ile hücre duvarı ve hücre matriksinin yapısının bozulması nedeniyle fenolik asitlerin miktarının arttığını ifade ederken bazı çalışmalar ise ısıl işlem ile fenolik bileşenlerde ve antioksidan aktivitede azalma veya bir değişiklik olmadığını belirtmektedir (Meral, 2016).

Aguilar-Rosas vd. (2007), termal pastörizasyon (90 °C' de 30 saniye) ile elma suyunda toplam fenolik maddede %32,2'lik bir azalma belirlemiştir. Golden delicious cinsi elmalarda ısıl işlem (90 °C 1 dak) uygulaması sonunda toplam fenolik maddede kayıp % 21-26 arasında tespit edilmiştir (Başlar ve Erturgay, 2013). Yapılan başka bir çalışmada HTST pastörizasyonunun (85 °C, 30 s; 90 °C, 15 s) bulanık elma suyunun fenolik içeriği üzerine düşük bir etkisi olduğu saptanmıştır (Nayak vd., 2017). He vd. (2016), elma suyunda 80 °C'de 30 dakikalık ısıl işlemden sonra toplam fenolik madde miktarında % 1,35 artış belirlerken, 90 °C 'de 30 saniye ısıl işlem gören elma suyu örneklerinde % 9,82 azalış gözlemlenmiştir.

Literatürde elma suyunda çeşitli sıcaklık ve süre parametrelerine bağlı olarak uygulanan ısıl işlemin enzim aktivitesi üzerine etkisinin belirlendiği çalışmalar mevcutken, fenolik maddedeki ve antioksidan aktivitedeki değişimin belirlendiği çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışma ile elma (Red Chief) suyunda hafif ısı ( $\leq 80$  °C) uygulaması ve uzun işlem sürelerinde enzim aktivitesi, toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ile FTIR spektroskopisi ve HPLC kullanılarak fenolik bileşiklerin değişimi incelenmiştir.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

#### 3.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada kullanılan taze elma (*Malus domestica*) yerel üreticilerden sağlanmıştır. Çalışmada Red Chief çeşidi elma kullanılmıştır. Meyveler, meyve suyu eldesinden önce 4°C sıcaklıkta depolanmıştır. Yıkamış ve kâğıt havlu ile yüzeyleri kurulanmış meyveler dörde kesilip, çekirdek evleri ayrılmış ve blenderdan (Arnica AA 1233 GH21530 Orbital Mix, Türkiye) geçirilmiştir. Elde edilen meyve suyu 4 katlı tülbentten süzölmüştür. Taze sıkılmış meyve suları kontrol olarak ayrılmıştır.

#### 3.2. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

##### 3.2.1. Isıl işlem (Thermal treatment)

Elde edilen taze meyve suyu farklı sıcaklık ve sürenin meyve suyu üzerine etkisini belirlemek için ısıl işleme tabi tutulmuştur. 200 ml meyve suyu 7 cm çap ve 9,5 cm uzunluğa sahip cam beher içine konularak, cam beher su banyosu (Yüksel Kaya Makine, YKM-AS209, Türkiye) içine yerleştirilmiştir. Isıl işlem sırasında örnek içinde hızlı bir şekilde sıcaklığın homojen dağılımını sağlayabilmek için laboratuvar tipi özel mekanik karıştırıcı (İsolab, 615.01.001, GmbH, Germany) kullanılmıştır. Meyve suyuna farklı sıcaklıklarda (40, 50, 60, 70 ve 80°C) ve farklı sürelerde (5, 10, 15, 20, 25, 30 dakika) ısıl işlem uygulanmıştır. İşlem boyunca örnek sıcaklığı dijital sıcaklık ölçer kullanılarak kontrol edilmiştir. Cam beher içine konulan meyve suyu sıcaklığı istenen değere ulaştığında ısıl işlem başlatılmıştır. Örnekler enzim aktivitesinin ölçümü için ısıl işlemin hemen sonrasında buzlu su banyosuna alınmıştır. Her bir uygulama üç kez tekrarlanmıştır.

##### 3.2.2. Kalan PPO enzim aktivitesinin belirlenmesi (Determination of residual PPO enzyme activity)

İnaktivasyon sonunda PPO enzim aktivitesi ölçümleri Baltacıoğlu vd. (2015) tarafından kullanılan yöntem modifiye edilerek, spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Bu amaçla Thermo Scientific marka Evolution 300 model (Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, USA) spektrofotometre kullanılmıştır. PPO enzim aktivitesi 420 nm dalga boyunda absorbans artışı ölçülerek belirlenmiştir. Test tüplerine konulacaklar aşağıda listelenmiştir:

	Test	Şahit
50 mM (pH=6,5) potasyum fosfat tamponu	2,00 ml	2,30 ml
0,25 M kateşol (K- fosfat tamponu içinde çözünmüş)	0,30 ml	0,30 ml
Örnek	0,30 ml	0,00 ml

Reaksiyon, örnek ilavesi ile başlamıştır. Tüp içeriği vorteks ile karıştırıldıktan sonra absorbans değerleri 3 dakika boyunca 5 saniyede bir kaydedilmiştir. Aktivite ölçüm sıcaklığı  $25 \pm 2$  °C olarak sağlanmıştır. PPO enzim aktivitesi zamana karşı çizilen  $A_{420}$  grafiğinin ilk doğrusal kısmının eğiminin belirlenmesiyle, birim zamanda absorbanstaki

0,001'lik değişim olarak ifade edilmiştir. Kalan enzim aktivitesi kontrolün aktivitesine oranla yüzde olarak ifade edilmiştir.

### 3.2.3. Kalan POD enzim aktivitesinin belirlenmesi (Determination of residual POD enzyme activity)

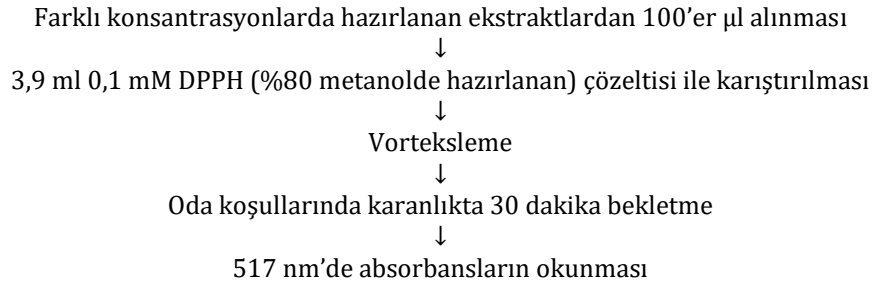
İnaktivasyon sonunda POD enzim aktivitesi ölçümleri spektrofotometrik yöntemle Abid vd. (2014) tarafından kullanılan yöntemde değişiklik yapılarak belirlenmiştir. Bu amaçla Thermo Scientific marka Evolution 300 model (Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, USA) spektrofotometre kullanılmıştır. POD aktivitesi substrat olarak pirogallol kullanılarak belirlenmiştir. Tüp içerisine 1 ml örnek, 1,52 ml 100 mM potasyum fosfat tamponu (pH 6), 0,32 ml %5 pirogallol ve 0,16 ml 0,147 M H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> karıştırılmıştır. Reaksiyon H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilavesi ile başlatılmış ve absorbansdaki artış 3 dakika boyunca 5 saniyede bir kaydedilmiştir. Aktivite ölçüm sıcaklığı 25 ± 2 °C olarak belirlenmiştir. Enzim aktivitesi zamana karşı çizilen A420 grafiğinin ilk doğrusal kısmının eğiminin belirlenmesiyle, birim zamanda absorbansdaki 0,001'lik değişim olarak ifade edilmiştir. Kalan enzim aktivitesi kontrolün aktivitesine oranla yüzde olarak ifade edilmiştir.

### 3.2.4. Toplam fenolik madde tayini (Determination of total phenolic content)

Toplam fenolik madde tayini Folin-Ciocalteu metoduna göre yapılmıştır (Singleton ve Rossi, 1965). Standart olarak gallik asit kullanılmıştır. Meyve suyundaki fenolik bileşikler (1:5) % 1 HCl içeren % 80'lik metanol ile ekstrakte edilmiştir. Karışım 4 saat boyunca 40 rpm devirde çalkalanmış ve berrak kısmın ayrılması için 9000 devirde, +4 C'de, 15 dakika santrifüj (Nüve marka NR 800R model, Türkiye) edilmiş, elde edilen berrak kısım tüp içine alınmıştır. Toplam fenolik tayini için 100 µl örnek üzerine 0,75 ml Folin- Ciocalteu çözeltisi (suda, %10'luk) eklenmiş ve oda sıcaklığında 5 dakika bekletilmiştir. Daha sonra 0,75 ml Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (suda, 75g/L) ilave edilerek kuvvetlice karıştırılmıştır. Oda sıcaklığında karanlıkta 1 saat bekletilmiş ve süre sonunda 725 nm'de çözeltilerin absorbansları okunmuştur. Aynı işlemler kalibrasyon eğrisi için hazırlanmış farklı konsantrasyonlardaki gallik asit çözeltilerine de uygulanmıştır. Ekstraktların absorbansları, çizilen gallik asit kalibrasyon eğrisinden okunarak toplam fenolik madde konsantrasyonu eşdeğer gallik asit olarak hesaplanmıştır (mg GAE/kg yaş ağırlık).

### 3.2.5. DPPH yöntemiyle antioksidan aktivite tayini (Antioxidant activity determination by DPPH method)

Serbest radikal yakalama etkinliği deneyi 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) radikali kullanılarak Blois'in metoduna göre çalışılmış ve aşağıdaki prosedür uygulanmıştır (Blois, 1958).



Örnek yerine 0,1 ml %80'lik metanol kullanılarak aynı şartlarda kontrol olarak kullanılmış ve kontrolün absorbansı günlük olarak ölçülmüştür. Şahit olarak %80 metanol kullanılmıştır. % DPPH radikali giderme aktivitesi Denklem 1' e göre hesaplanmıştır:

$$\% \text{ DPPH Radikali Giderme Aktivitesi} = \frac{\text{Kontrolün absorbansı} - \text{Örnek Absorbansı}}{\text{Kontrol Absorbansı}} \quad (1)$$

Örneklerin farklı konsantrasyonlarına karşı hesaplanan % inhibisyon değerleri ile çizilen grafikten lineer regresyon ile % 50 inhibisyona neden olan antioksidan derişimleri elde edilmiş ve sonuçlar EC<sub>50</sub> (mg/ml) olarak ifade edilmiştir.

### 3.2.6. Fenolik bileşik değişiminin FTIR spektroskopisi kullanılarak belirlenmesi (Determination of phenolic compound change using FTIR spectroscopy)

Uygulanan inaktivasyon yönteminin fenolik madde içeriğine etkisi Fourier Dönüşüm Kızıl Ötesi (FTIR) spektroskopisi kullanılarak belirlenmiştir. Örneklerin absorpsiyon spektrumu Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan ATR hücreesine sahip FTIR spektroskopisi (Bruker,

Almanya) kullanılarak, 2 cm<sup>-1</sup> çözünürlükte 128 tarama yapılarak 400-4000 cm<sup>-1</sup> bölgesinde elde edilmiştir. Ekstraksiyon solventinin (metanol, %80) karışımının bantları kapatmasından dolayı örnekler liyofilize edilerek kurutulduktan sonra (önce etüvde metanol uçurulmuş), okuma kurutulmuş örnekte gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.7. HPLC ile fenolik bileşiklerin belirlenmesi (Determination of phenolic compounds by HPLC)

Elma suyunun fenolik içeriğini belirlemek için HPLC yöntemi uygulanmıştır (Kuşçu ve Bulantekin, 2016). Ekstrakt eldesi için, öncelikle 15'şer ml falkon tüplerinde 2 g elma suyu üzerine % 80'lik metanol (%1'lik HCl içeren) çözeltisi ilave edilerek 10 ml hacme tamamlanmış ve oda sıcaklığında, ışık almayacak şekilde 240 dak çalkalanması ile ekstraksiyon sağlanmıştır. Sonrasında ekstrakt 9000 rpm, 15 dak, +4 C'de santrifüj edilerek, elde edilen süzütüden tüp içine alınmıştır. Enjeksiyondan önce ekstraktlar, 0,45µm teflon membran filtreden geçirilmiş ve kahverengi şişelere doldurulmuştur. Daha sonra, şişelerdeki ekstraktların 20 µl'si SIL-10AD vp otomatik örnekleme sistemi ile HPLC'ye (Shimadzu Corporation, Kyoto Japan) enjekte edilmiştir. HPLC sistemi bir pompa (LC-10ADvp), degazer (DGU- 14A), kontrol fırını (CTO-10Avp), bir detektörden (DAD dedektör (λ<sub>max</sub>=278nm)) oluşmaktadır. Polifenolikler Agilent Eclipse XDB-C18 kolonu kullanılarak ((250x4,60 mm), 5 mikron ) ayrılmıştır. Kolon sıcaklığı 30 °C'dir. Ayrım ikili çözücü sistemiyle gradient program uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Mobil faz % 3 asetik asit (A) ve metanolden (B) oluşmaktadır. Akış hızı çalışma boyunca 0,8 ml/dakikadır. Gradient programı Tablo 1'e göre uygulanmıştır.

**Tablo 1.** Gradient programı (Gradient program)

Süre (dakika)	A (%)	B (%)
0	93	7
20	72	28
28	75	25
35	70	30
50	70	30
60	67	33
62	58	42
70	50	50
73	30	70
75	20	80
80	0	100
81	93	7

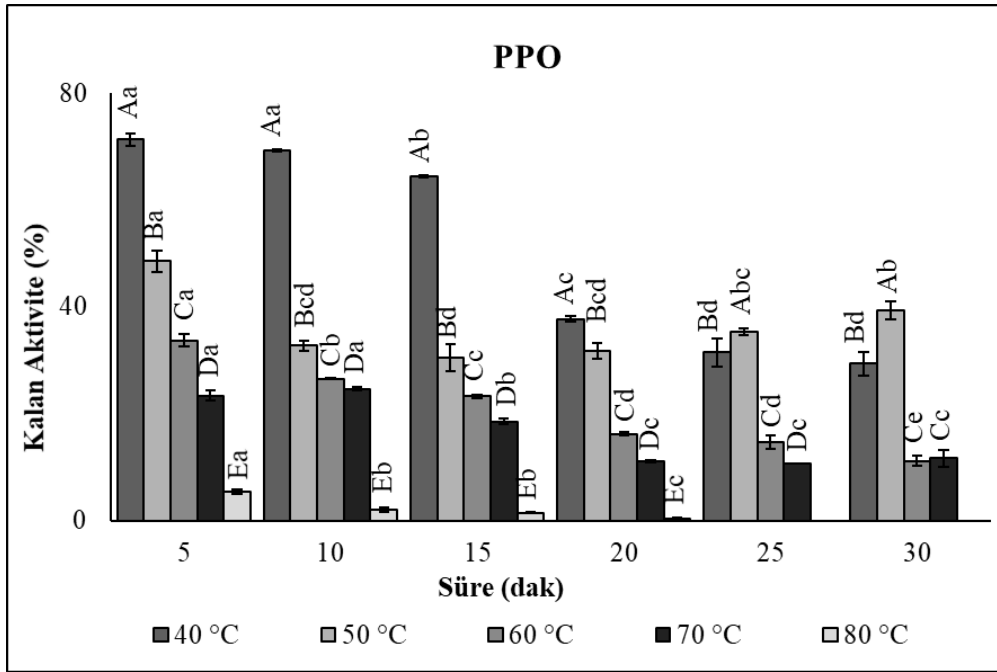
### 3.2.8. İstatistiksel analiz (Statistical analysis)

Veriler Minitab (17 versiyon, Minitab Inc., State College, PA, ABD) paket programı kullanılarak % 95 güvenlik aralığında analiz edilmiş olup verilerin analizinde genel lineer model kullanılmıştır. Uygulamalar arasındaki farklılıkların tespiti için Tukey's çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Her bir deney en az üç kez tekrarlanmıştır.

## 4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

### 4.1. Isıl İşlem Sonrasında Elma Suyunda Kalan PPO Aktivitesi (Residual PPO Activity in Apple Juice after Thermal Treatment)

Sıcaklığın enzim aktivitesi üzerine etkisini belirlemek için farklı sürelerde elma suyu örneklerine ısıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlem öncesi ve sonrasında PPO enzimlerinin aktiviteleri belirlenmiştir. Kalan enzim aktivitesi kontrolün aktivitesine oranla yüzde olarak ifade edilmiştir. Buna göre uygulanan sıcaklık ve süreye göre kalan enzim aktivitesinde gözlenen değişiklikler PPO enzimi için Şekil 1' de verilmiştir.



Grafikteki farklı harfler ((A, B, C...), sıcaklıklar; (a, b, c...), süreler) değerler arasında önemli bir fark olduğunu göstermektedir.

**Şekil 1.** Isıl işlem sonunda kalan PPO aktivitesi (Residual PPO activity after thermal treatment)

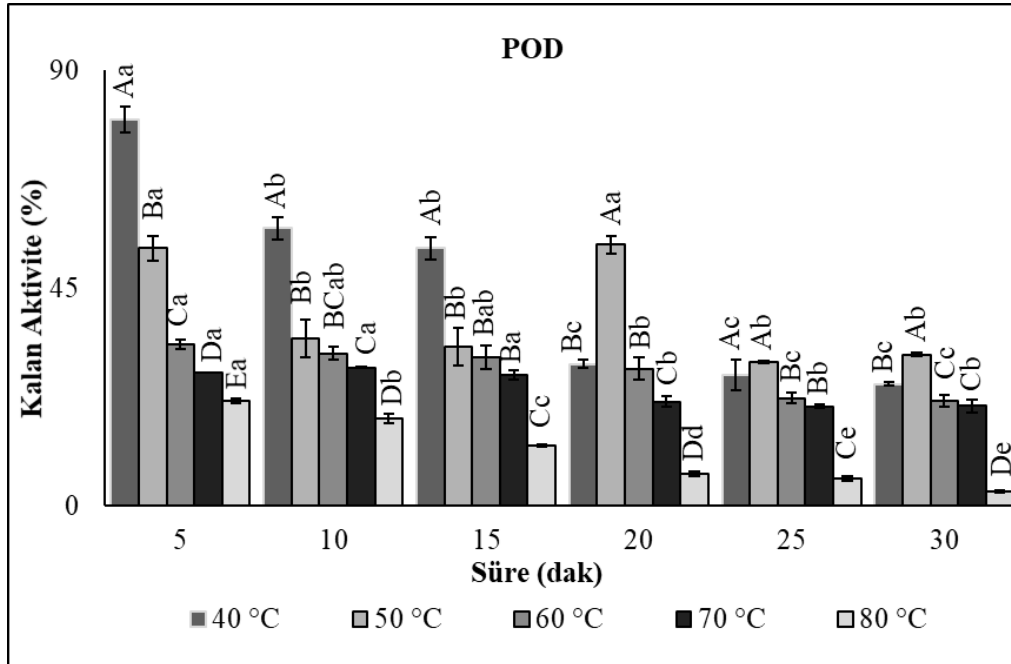
Elma suyuna uygulanan ısıl işlem sonucunda, enzim aktivitesindeki değişim incelendiğinde sıcaklığın, sürenin ve sıcaklık-süre etkileşiminin PPO enzim aktivitesi üzerine etkisi önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). 40 °C sıcaklıkta 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 dakika uygulanan ısıl işlem sonrasında kalan PPO enzim aktivitesi sırasıyla % 71,37 ± 1,11; % 69,33 ± 0,18; % 64,49 ± 0,18; % 37,73 ± 0,55; % 31,47 ± 2,63 ve % 29,36 ± 2,23 olarak belirlenmiştir. Aynı sıcaklık değerinde 5, 10 ve 15 dakikada enzim aktivitesindeki azalma yavaşken, 20, 25 ve 30 dakikalık süre sonunda enzim inhibisyonunda artış hızlanmıştır.

Kalan enzim aktivitesi, 50 °C sıcaklıkta artan sürelerde sırasıyla % 48,55 ± 2,05; % 32,71 ± 0,85; % 30,45 ± 2,46; % 31,74 ± 1,46; % 35,27 ± 0,66 ve % 39,26 ± 1,68 olarak saptanmıştır. Bu sıcaklık değerinde uzun işlem süreleri sonunda (25 ve 30 dakika) enzim aktivitesinde artış gözlenmiştir. Benzer şekilde elma suyunda 50 °C sıcaklıkta 60 dakikaya kadar uygulanan ısıl işlemlerde PPO enziminin aktivitesinin arttığı belirlenmiştir. Bunun nedeninin enzim konformasyonunda gözlenen değişim olabileceği düşünülmektedir (Murtaza vd., 2018). 60 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sonunda kalan aktivite % 33,68 ± 1,13 iken, 30 dakika sonunda bu değer % 11,15 ± 0,88 olarak belirlenmiştir. 70 °C sıcaklıkta 5 dakika uygulanan işlemde sonra kalan aktivite değeri % 23,41 ± 0,88 bulunmuştur. Aynı sıcaklıkta 30 dakika sonunda bulunan değer % 11,61 ± 1,61 olarak tespit edilmiştir. 80 °C sıcaklıkta ise 5 dakikalık işlemde sonra % 5,40 ± 0,47 aktivite gözlenirken, 20 dakika sonunda % 99 inaktivasyon sağlanmıştır. Elma suyunda PPO enzim aktivitesinin sıcaklık ve süreye bağlı olduğu ve genellikle artan sıcaklık ve süre arasında önemli bir etkileşim ( $p < 0,05$ ) olduğu gözlenmiştir.

Benzer şekilde yapılan çalışmalarda genellikle artan sıcaklık ve süre ile PPO aktivitesinin azaldığı belirlenmiştir. Royal gala cinsi elmadan elde edilen meyve suyuna 75 °C sıcaklıkta 20 dakika uygulanan ısıl işlem ile kalan PPO enzim aktivitesi % 3,2 olarak tespit edilmiştir (Sulaiman vd., 2016). Yi vd. (2017), Pink Lady, Granny Smith ve Jonagold çeşitlerinden üretilen meyve suyuna 85 °C sıcaklıkta 5 dakika ısıl işlem uygulaması sonrasında PPO enzim aktivitesi belirleyememişlerdir. Elma dilimlerine 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55°C ve 65 °C sıcaklıkta 20 dakikalık hafif ısı uygulaması yapılan bir çalışmada, bu dilimlerden bulanık meyve suyu üretilmiş ve elma suyunda 55 °C' de ısı uygulaması sonucu PPO enziminin minimum kalıntı aktivitesi % 66,4 iken, 65 °C ise % 38,6 bulunmuştur (Niu vd., 2010). Krapfenbauer vd. (2006), sekiz farklı elma çeşidi (Florina, Gala, Golden Delicious, Idared, Jonagold, Pilot, Pinova ve Topaz) kullanarak elde ettikleri elma sularında yüksek sıcaklıkta (60-90 °C) ve kısa süreli (20-100 s) (HTST) ısıl işlem uygulamışlar ve 60 °C' de, PPO aktivitesinde önemli bir azalma tespit edememişlerdir. Ancak 20, 50 ve 100 s ısıtma süresinden sonra 70 °C' de enzim aktivitesinde önemli bir azalma olduğu bulunurken ısıtma süresi arasında bir fark gözlenmemiştir. PPO enziminin 80 °C' de ise tamamen inaktivasyonu sağlanmıştır. Bu çalışmalarda bulunan sonuçlar, literatürde belirlenenler sonuçlar ile benzer bulunmuştur.

#### 4.2. Isıl İşlem Sonrasında Elma Suyunda Kalan POD Aktivitesi (Residual POD Activity in Apple Juice after Thermal Treatment)

Elma suyu örneklerine uygulanan ısıl işlem sonrasında sıcaklık ve süreye bağlı olarak belirlenen kalan POD aktivitesi Şekil 2' de verilmiştir.



Grafikteki farklı harfler ((A, B, C...), sıcaklıklar; (a, b, c...), süreler) değerler arasında önemli bir fark olduğunu göstermektedir.

**Şekil 2.** Isıl işlem sonunda kalan POD aktivitesi (Residual POD activity after thermal treatment)

Sıcaklığın, sürenin ve sıcaklık-süre etkileşiminin POD enzim aktivitesi üzerine etkisi önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). 40 °C sıcaklıkta 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 dakika uygulanan ısıl işlem sonrasında kalan POD enzim aktivitesi sırasıyla % 79,81 ± 2,75; % 57,33 ± 2,29; % 53,21 ± 2,29; % 29,35 ± 0,91; % 27,06 ± 3,21; % 25,22 ± 0,45 olarak belirlenmiş ve artan süre ile POD enziminin aktivitesinin azaldığı görülmüştür. Kalan enzim aktivitesi, 50 °C sıcaklıkta ısıl işlemde sonra artan sürelerde sırasıyla % 53,24 ± 2,59; % 34,63 ± 3,96; % 32,90 ± 3,96; % 53,95 ± 1,90; % 29,68 ± 0,31; % 31,25 ± 0,31 olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklık değerinde 20 dakika süren ısıl işlemde sonra POD enzim aktivitesinde artış gözlenmiştir. Benzer şekilde Dubey vd. (2007) tarafından, Royal delicious cinsinde 50 °C 10 ve 25 dk ısıl işlem sonrasında enzim aktivitesinde belli oranda artış görülmüştür. Aynı şekilde Red delicious cinsinde de 50 °C de 25 dakikada enzim aktivitesinde artış belirlenmiştir. Bunun nedeninin, enzim konformasyonunda gözlenen değişim olabileceği düşünülmektedir.

60 °C sıcaklıkta 5 dakika sonunda kalan aktivite % 33,33 ± 0,90 iken, 30 dakika sonunda % 21,65 ± 1,18 olarak tespit edilmiş ve artan süre normlarıyla lineer bir azalış görülmüştür. 70 °C sıcaklıkta 5 dakika sonunda kalan POD aktivitesi ise % 27,50 ± 0,01 olup, artan süre ile kalan aktivite azalış göstermiş ve 30 dakika sonunda % 20,65 ± 1,25 olarak bulunmuştur. 80 °C de ise 5 dakika sonunda kalan aktivite % 21,71 ± 0,46 olarak ölçülmüştür. Aynı sıcaklıkta 20 dakika sonunda % 93,29 inaktivasyon belirlenirken, 25 ve 30 dakikalık ısıl işlem sürelerinde elde edilen inaktivasyon arasında önemli bir fark belirlenmemiştir ( $p > 0,05$ ). Genel olarak bakıldığında 80 °C' de 20 dakika sonunda yeterli inaktivasyon sağlandığı söylenebilmektedir. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde Red Chief elma çeşidinde POD enziminin PPO'ya kıyasla ısıl işleme daha dirençli olduğu belirlenmiştir.

Yi vd. (2017), Pink Lady, Granny Smith ve Jonagold çeşitlerinden üretilen meyve suyuna 85 °C sıcaklıkta 5 dakika ısıl işlem uygulaması sonrasında POD enzim aktivitesi belirlenmemiştir. Golden delicious JK cinsinden üretilen elma suyunda 70 °C 5 dakika sonunda, Red delicious cinsinde 70 °C 10 dakika sonunda, Royal delicious cinsinde 70 °C 5 dakika sonunda enzim inaktivasyonu sağlandığı belirlenmiştir (Dubey vd., 2007). Elde edilen veriler literatür ile karşılaştırıldığında farklı elma çeşitlerinde POD inaktivasyon sıcaklık ve sürelerinin farklılık gösterdiği belirlenmiştir.



### 4.3. Isıl İşlem Süresince Toplam Fenolik Madde Miktarındaki Değişim (Change in Total Phenolic Content during Thermal Treatment)

Elma suyunda ısıl işlem süresince toplam fenolik madde miktarındaki değişimi Tablo 2' de gösterilmektedir. Isıl işlem uygulamasında sıcaklığın, sürenin ve sıcaklık-süre etkileşiminin toplam fenolik madde üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Taze elma suyunda  $404,13 \pm 6,20$  mg GAE/kg yaş ağırlık olarak toplam fenolik madde belirlenmiştir. Isparta ilinden elde edilen farklı elma çeşitlerinde toplam fenolik madde miktarı meyve etinde  $399,0 - 657,1$  mg GAE /100g arasında, kabuğunda ise  $929,7 - 1692,5$  mg GAE /100g arasında değişmektedir (Yıldırım vd., 2019). Buna karşın taze meyveye kıyasla meyve suyuna işleme sonucunda toplam fenolik madde miktarı azalmaktadır. Başlar ve Erturgay (2013), elma sularının toplam fenolik madde miktarının  $190 - 200$  mg GAE/L arasında değiştiğini rapor etmiştir.

**Tablo 2.** Isıl işlem süresince elde edilen toplam fenolik madde (mg GAE/kg yaş ağırlık) değerleri (Total phenolic content (mg GAE / kg wet weight) during thermal treatment)

Süre (dak)	Sıcaklık (°C)				
	40	50	60	70	80
5	741,98 ± 7,71 <sup>Aa</sup>	449,25 ± 8,17 <sup>Dc</sup>	348,53 ± 1,51 <sup>Eb</sup>	538,54 ± 16,29 <sup>Cc</sup>	672,83 ± 11,80 <sup>Bab</sup>
10	712,90 ± 13,81 <sup>Ab</sup>	515,16 ± 9,61 <sup>Ca</sup>	304,28 ± 4,84 <sup>Dd</sup>	559,05 ± 11,34 <sup>Bbc</sup>	703,51 ± 1,79 <sup>Aa</sup>
15	603,18 ± 1,55 <sup>Bc</sup>	525,96 ± 1,88 <sup>Da</sup>	276,14 ± 3,07 <sup>Ee</sup>	554,57 ± 6,45 <sup>Cbc</sup>	636,99 ± 2,63 <sup>Ab</sup>
20	205,67 ± 8,08 <sup>Ed</sup>	388,64 ± 15,05 <sup>Cd</sup>	332,52 ± 3,17 <sup>Dc</sup>	587,64 ± 8,15 <sup>Ba</sup>	668,41 ± 12,70 <sup>Aab</sup>
25	200,33 ± 4,90 <sup>Ed</sup>	491,24 ± 8,01 <sup>Cb</sup>	346,81 ± 1,57 <sup>Db</sup>	573,39 ± 3,71 <sup>Bab</sup>	638,21 ± 29,89 <sup>Ab</sup>
30	223,23 ± 9,73 <sup>Ed</sup>	504,21 ± 0,1 <sup>Cab</sup>	378,52 ± 1,61 <sup>Da</sup>	568,74 ± 7,48 <sup>Bab</sup>	668,42 ± 25,96 <sup>Aab</sup>

Tablodaki farklı harfler ((A, B, C...), sıcaklıklar; (a, b, c...), süreler) değerler arasında önemli bir fark olduğunu göstermektedir.

40 °C' de 5, 10, 15 dakika sonunda ısıl işlem görmemiş taze elma suyuna göre toplam fenolik maddede artış belirlenirken aynı sıcaklık değerinde 20, 25, 30 dakika sonunda toplam fenolik maddede azalış tespit edilmiştir. Kısa işlem sürelerinde gözlenen bu artışın ısıl işlem ile hücre duvarı ve hücre matriksinin yapısının bozulması nedeniyle fenolik bileşik miktarının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (He vd., 2016). 40 °C' de artan süreye bağlı olarak fenolik bileşiklerdeki azalmanın, yüksek enzim aktivitesi ve açığa çıkan bu maddelerin uzun işlem süreleri sonucunda yapısının bozulmasından kaynaklandığı söylenebilmektedir (He vd., 2016). 50 °C' de genel olarak bakıldığında ısıl işlem görmemiş taze elma suyu örneğine göre fenolik bileşiklerde artış gözlenmiş ancak 20 dakikada gözlenen azalışın PPO ve POD enzim aktivitesindeki artış nedeniyle olabileceği düşünülmektedir. 60 °C' de genel olarak ısıl işlem görmemiş taze elma suyu örneğine göre fenolik madde de azalış belirlenmiştir. Bunun nedeni PPO ve POD enzim aktivitesinin yüksek olması ile sıcaklığın fenolik bileşikler üzerindeki olumsuz etkisinden kaynaklanabilmektedir. Yüksek sıcaklık (70 ve 80 °C) uygulamaları sonucu toplam fenolik madde değişimi ısıl işlem görmemiş taze elma suyu örneğine kıyaslanınca artış olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeninin elma suyunda enzim inaktivasyonunun sağlanmasından dolayı, fenolik bileşiklerin substrat olarak kullanılamaması olabileceği düşünülmektedir.

Aguilar-Rosas vd. (2007), elma suyunda 90 °C' de 30 saniye boyunca termal pastörizasyon uygulaması sonucunda toplam fenolik maddede %32,2'lik bir azalma belirlemiştir. Golden delicious cinsi elmalara ısıl işlem (90 °C 1 dak) uygulaması ile toplam fenolik maddedeki kayıp ısıl işlem sonrasında % 21-26 arasında tespit edilmiştir (Başlar ve Erturgay, 2013). He vd. (2016), elma suyuna ısıl işlem uygulamışlar ve toplam fenolik madde miktarında 80 °C' lik işlemden sonra % 1,35 artış belirlerken, 90 °C' de ısıl işlem gören elma suyu örneklerinde % 9,82 azalış belirlemişlerdir. Literatürdeki çalışmalara baktığımızda yüksek sıcaklıkta (90 °C) kısa işlem sürelerinde toplam fenolik maddenin azaldığı görülmekteyken, bu çalışmada olduğu gibi hafif ısı ( $\leq 80$  °C) uygulamalarında ve uzun işlem sürelerinde toplam fenolik maddenin arttığı görülmüştür.

### 4.4. Isıl İşlem Süresince Antioksidan Aktivitedeki Değişim (Change in Antioxidant Activity during Thermal Treatment)

Örneklerin antioksidan aktivitesi DPPH yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve EC<sub>50</sub> değeri (radikalin %50'sinin inhibisyonunu sağlayan miktar) hesaplanmıştır. Bu değer küçük olması, antioksidan aktivitenin yüksek olduğunu göstermektedir (Cemeroğlu vd., 2010). Tablo 3' de ısıl işlem süresince farklı sıcaklık ve sürelerde elde edilen EC<sub>50</sub> değerleri gösterilmektedir. Antioksidan aktivitedeki değişime, sıcaklığın, sürenin ve sıcaklık-süre etkileşiminin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Isıl işlem görmemiş taze elma suyu örneğinin EC<sub>50</sub> değeri  $31,78 \pm 1,46$  mg/ml olarak belirlenmiştir. Toplam fenolik maddenin artışına bağlı olarak genel

anlamda antioksidan aktivite de artmaktadır.

**Tablo 3.** Isıl işlem süresince elde edilen EC<sub>50</sub> değerleri (EC<sub>50</sub> values during thermal treatment)

Süre (dak)	Sıcaklık (°C)				
	40	50	60	70	80
5	22,65 ± 0,07 <sup>Ee</sup>	41,45 ± 1,45 <sup>Bb</sup>	45,60 ± 0,36 <sup>Ad</sup>	31,68 ± 0,44 <sup>Cb</sup>	26,71 ± 1,32 <sup>Dc</sup>
10	20,05 ± 0,30 <sup>Ef</sup>	31,51 ± 1,17 <sup>Cc</sup>	48,27 ± 0,38 <sup>Ab</sup>	34,43 ± 0,42 <sup>Ba</sup>	29,22 ± 0,14 <sup>Dab</sup>
15	24,56 ± 0,11 <sup>Dd</sup>	32,82 ± 0,35 <sup>Bc</sup>	50,54 ± 0,4 <sup>Aa</sup>	28,87 ± 0,36 <sup>Cc</sup>	28,25 ± 0,08 <sup>Cbc</sup>
20	49,81 ± 0,16 <sup>Ac</sup>	45,87 ± 1,40 <sup>Ba</sup>	50,49 ± 0,03 <sup>Aa</sup>	32,65 ± 0,56 <sup>Cb</sup>	24,29 ± 0,70 <sup>Dd</sup>
25	59,03 ± 0,07 <sup>Aa</sup>	43,18 ± 0,04 <sup>Cab</sup>	44,95 ± 0,02 <sup>Bd</sup>	34,50 ± 0,54 <sup>Da</sup>	24,15 ± 0,74 <sup>Ed</sup>
30	53,42 ± 0,17 <sup>Ab</sup>	45,17 ± 1,42 <sup>Ba</sup>	47,04 ± 0,02 <sup>Bc</sup>	32,96 ± 0,50 <sup>Cb</sup>	30,48 ± 1,04 <sup>Da</sup>

Tablodaki farklı harfler ((A, B, C...), sıcaklıklar; (a, b, c...), süreler) değerler arasında önemli bir fark olduğunu göstermektedir.

40 °C' de 5, 10 ve 15 dakikada antioksidan aktivitede artış, daha sonraki sürelerde antioksidan aktivitede azalış görülmüştür. Bu durum toplam fenolik miktarının değişimine bağlanmıştır. Çetković vd. (2008), farklı elma çeşitlerini (Pinova, Reinders, Jonagold, Iduna, Braeburn) kullanarak elde ettikleri elma posasının fenolik ve antioksidan kapasitesini inceledikleri çalışmada; toplam fenolik madde en yüksek 8,67 mg/g ile Reinders cinsinde belirlenirken, en düşük EC<sub>50</sub> değerleri 6,33 ± 0,31 mg/ml olarak yine Reinders cinsinde belirlenmiştir. Bu cinsin en yüksek antioksidan aktiviteye sahip olması toplam fenolik ile ilişkilendirilmiştir.

50 °C' de tüm sürelerde ısıl işlem görmemiş taze elma suyuna göre EC<sub>50</sub> değerlerinde bir artış belirlenmiş ve bu durum antioksidan aktivitede azalış olduğunu göstermiştir. Antioksidan aktivitede 15. dakikaya kadar artarken, bu süreden sonraki işlemlerde azalma gözlenmiştir. Bu değişim toplam fenolik madde miktarında gözlenen değişim ile paralellik göstermektedir. 60 °C' de 5 dakika sonunda EC<sub>50</sub> değeri 45,59 ± 0,36 mg/ml olarak bulunurken, 30 dakika sonunda 47,04 ± 0,02 mg/ml olarak bulunmuştur. Bu sıcaklıkta EC<sub>50</sub> değerleri ısıl işlem görmemiş taze elma suyu örneğine göre artmış yani antioksidan aktivitede azalış belirlenmiştir. Bu durum toplam fenolik madde miktarının azalışına bağlanmıştır.

70 °C' de EC<sub>50</sub> değerleri incelendiğinde elde edilen değerler ısıl işlem görmemiş taze elma suyu değerine yakın bulunmuştur. Antioksidan aktivitenin yüksek olması toplam fenolik madde miktarının yüksek olması ile ilişkilendirilebilir. 80 °C' de EC<sub>50</sub> değerleri 5 dakika ısıl işlem sonunda 26,70 ± 1,31 mg/ml olarak bulunmuşken, 20 dakika sonunda 24,28 ± 0,69 mg/ml olarak belirlenmiştir. 20 dakikalık ısıl işlem süresinden sonra genel olarak antioksidan aktivitede artış görülmüştür. Bunun nedeninin yeterli (> %90) enzim inaktivasyonunun sağlanması ve toplam fenolik madde miktarının artışı olduğu söylenebilmektedir.

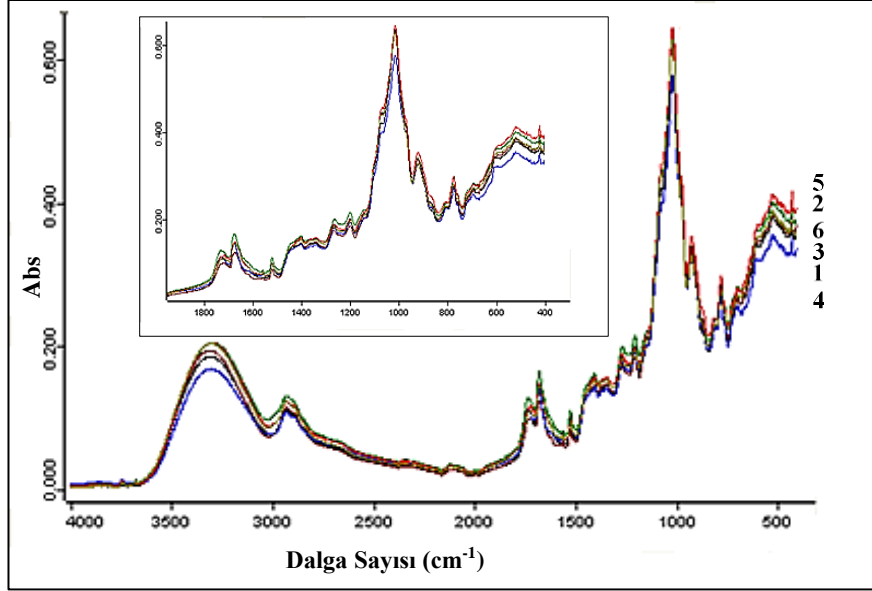
Bahukhandi vd. (2018), Hindistan'ın farklı yerlerinde yetişen üç geleneksel elma çeşidinin (Benoni, Fanny ve Rymerin) antioksidan aktivitesinin (DPPH), 4,99–14,06 mmol/kg YA aralığında olduğunu belirlemiştir. Yıldırım vd. (2019), Isparta ilinden temin edilen beş farklı elma (Starking Delicious, Golden Delicious, Pink Lady, Arap Kızı ve Granny Smith) çeşidinde antioksidan aktiviteyi (% inhibisyon) meyve eti kısmında sırasıyla (% 44,42; % 47,06; % 32,52 % 51,33; % 49,54) olarak belirlerken, kabuk kısmında sırasıyla (% 73,51; % 77,28; % 66,67; % 74,23; % 87,21) olarak tespit etmişlerdir.

#### 4.5. FTIR Çalışmaları (FTIR Study)

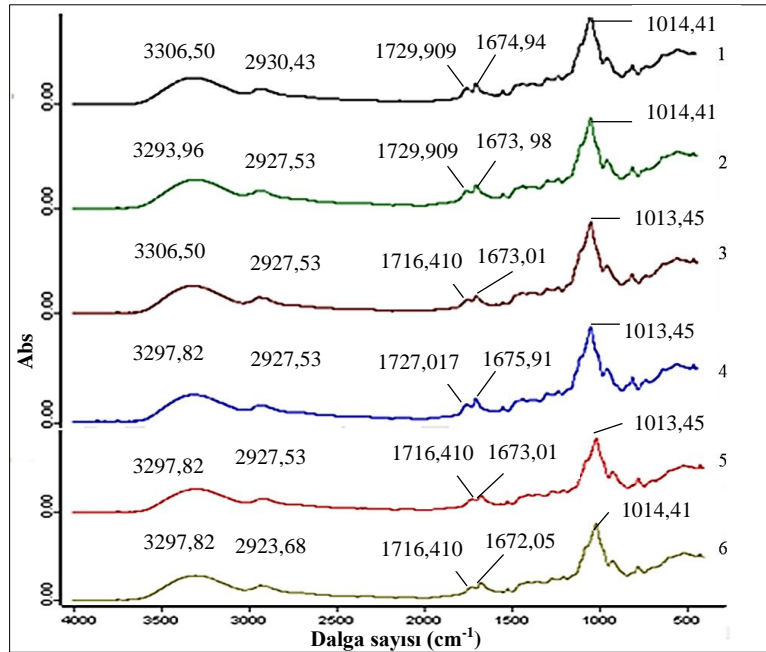
Bu çalışmada fenolik bileşiklerin FTIR spektroskopisi kullanılarak analizi yapılmıştır. Bu amaçla farklı sıcaklık (40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C ve 80 °C) ve sabit süre (20 dk) ısıl işlem uygulanmış örneklerde FTIR spektroskopisi kullanılarak fenolik bileşenler incelenmiştir. Kontrol örneği olarak ısıl işlem uygulanmamış elma suyu ekstraktı alınarak oda sıcaklığında (25 °C) FTIR spektrumları belirlenmiştir. Farklı sıcaklık ve sabit süredeki elma suyu örneklerinin FTIR spektrumları Şekil 3 ve ayrıştırılmış FTIR spektrumları Şekil 4' de gösterilmektedir.

FTIR spektrumlarına bakıldığında 1. spektrum kontrol örneğini (taze meyve suyu), 2. spektrum 40 °C 20 dakika, 3. spektrum 50 °C 20 dakika, 4. spektrum 60 °C 20 dakika, 5. spektrum 70 °C 20 dakika ve 6. spektrum 80 °C 20 dakika ısıl işlem uygulanmış elma suyu örneklerini ifade etmektedir. 1800 - 750 cm<sup>-1</sup> (parmak izi bölgeleri) dalga sayıları arasında bulunan bantlar, bitkilerde bulunan polifenollerle ilgilidir (Okur vd., 2019). Dört soğan çeşidinin toplam fenolik içeriğinin FTIR spektroskopisi kullanılarak belirlendiği çalışmada, 1618 cm<sup>-1</sup>'de bulunan belirgin tepe, C-C uzaması polifenolik bileşenlerde yüksek seviyelerde bulunan fenil halkasını ifade ettiği söylenmiştir (Lu vd., 2011). Tahir vd. (2017), baldaki fenolik bileşiklerin belirlenmesi için, FTIR spektrofotometresini kullanmışlar ve 1700-1600 cm<sup>-1</sup>'deki bantları, karbonil gruplarının C-O ve C-C germe hareketine bağlanmış ve bu bölge fenolik moleküllerle ilişkilendirmiştir. 1715-1680 cm<sup>-1</sup> bölgesindeki bantların, aril (hidroksibenzoik asitler) ve / veya α,β-

doymamış (hidroksisünamik asitler) karboksilik asit yapıları (C=O) germe titreşimlerinden kaynaklandığı belirtilmektedir. Ayrıca 1720  $\text{cm}^{-1}$  civarındaki bant klorojenik asit olarak gösterilmektedir (Abbas vd., 2017). Okur vd. (2019), vişne posasından fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu için farklı metodlar uygulamış ve elde edilen ekstraktların fenolik bileşik içeriğini FTIR spektroskopisi kullanarak belirlemiştir. 3000-3300  $\text{cm}^{-1}$  hatta 2800  $\text{cm}^{-1}$ 'e kadar uzayan bantların, aromatik halkanın C-H germe titreşimlerinden kaynaklandığı belirtilmiştir. 1500-1150  $\text{cm}^{-1}$  aralığındaki bantların CH (fenoller) ve OH titreşimleri nedeniyle olduğu rapor edilmiştir. 1014  $\text{cm}^{-1}$ 'de bulunan bant, piran halkasının OH ikamesinin C-O esnemesini ifade etmiş ve özellikle epikateşin ile ilişkilendirilmiştir. FTIR sonuçları incelendiğinde farklı sıcaklık, sabit süre uygulanan ısıl işlemin fenolik bileşik profili açısından bir değişime neden olmadığı gözlenmiştir.



Şekil 3. Elma suyu örneklerinin FTIR spektrumları (FTIR spectra of apple juice samples)



Şekil 4. Elma suyunun ayrıştırılmış FTIR spektrumları (Separated FTIR spectra of apple juice)

#### 4.6. HPLC Çalışmaları (HPLC Study)

Elma suyunun fenolik içeriğini belirlemek ve farklı sıcaklık ve sabit süre (20 dk) parametrelerinde değişimini incelemek için HPLC kullanılmıştır. Kontrol (ısıl işlem görmemiş taze elma suyu) örneği ve farklı koşullarda işlem gören elma sularında belirlenen fenolik bileşikler ve miktarları Tablo 4' de gösterilmektedir.

**Tablo 4.** HPLC ile belirlenen fenolik bileşikler ve miktarları (Phenolic compounds and their amounts determined by HPLC)

Numune	Kateşin (mg/kg)	Klorojenik asit (mg/kg)	Kafeik asit (mg/kg)	Epikateşin (mg/kg)	Kamferol (mg/kg)
Kontrol	6,02 ± 0,22 <sup>C</sup>	21,48 ± 0,23 <sup>B</sup>		14,57 ± 0,19 <sup>C</sup>	2,99 ± 0,12 <sup>D</sup>
40 °C 20 dk	1,51 ± 0,06 <sup>F</sup>	2,53 ± 0,16 <sup>F</sup>	0,50 ± 0,02	<LOQ	4,48 ± 0,06 <sup>A</sup>
50 °C 20 dk	4,51 ± 0,13 <sup>D</sup>	7,48 ± 0,12 <sup>E</sup>		7,05 ± 0,18 <sup>E</sup>	4,05 ± 0,10 <sup>B</sup>
60 °C 20 dk	3,54 ± 0,08 <sup>E</sup>	9,49 ± 0,11 <sup>D</sup>		8,06 ± 0,15 <sup>D</sup>	3,01 ± 0,08 <sup>D</sup>
70 °C 20 dk	8,01 ± 0,16 <sup>B</sup>	16,53 ± 0,18 <sup>C</sup>		27,03 ± 0,29 <sup>B</sup>	3,97 ± 0,08 <sup>B</sup>
80 °C 20 dk	11,51 ± 0,16 <sup>A</sup>	24,48 ± 0,11 <sup>A</sup>		34,01 ± 0,33 <sup>A</sup>	3,51 ± 0,01 <sup>C</sup>

Tabloda aynı sütundaki farklı harfler (A, B, C...) değerler arasında önemli bir fark olduğunu göstermektedir. (Epikateşin için LOD: 0,3 mg/L LOQ: 0,8 mg/L)

HPLC ile ısı işlem görmemiş taze elma suyunda belirlenen fenolik bileşikler kateşin, klorojenik asit, epikateşin ve kamferoldur. Genel olarak bakıldığında artan sıcaklığa bağlı olarak fenolik bileşiklerde artış görülmüştür. 40 °C' de 20 dakika ısı işlem sonunda fenolik bileşiklerdeki değişim incelendiğinde kateşin ve klorojenik asit ısı işlem görmemiş taze elma suyuna göre azalış gösterirken, kamferol miktarında artış belirlenmiştir. Aynı sıcaklık değerinde kafeik asit 0,50 ± 0,02 ppm olarak belirlenmiştir. Bu durum düşük sıcaklık uygulaması ile bağlı halde bulunan fenolik bileşiklerin, serbest forma geçmesiyle açıklanmıştır (Szalzo vd., 2004). Daha yüksek sıcaklık uygulamalarında düşük miktarda belirlenmiş bu bileşiğin parçalandığı ve tespit edilemediği düşünülmektedir. 50 °C 20 dakika sonunda kateşin, klorojenik asit, epikateşin ısı işlem görmemiş taze elma suyuna göre azalış gösterirken kamferolde artış belirlenmiştir. 60 °C sıcaklıkta işlem sonunda kateşin, klorojenik asit, epikateşin ısı işlem görmemiş taze elma suyuna göre azalış gösterirken kamferol miktarında değişiklik olmamıştır. 70 °C ve 80 °C' de 20 dakikada gerçekleştirilen ısı işlem sonunda fenolik bileşiklerde artış belirlenmiştir. Bu durum toplam fenolik madde miktarındaki artışla paralellik göstermektedir. Bunun nedeninin enzim inaktivasyonunun sağlanması sonucu fenolik bileşiklerin substrat olarak kullanılamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde Moro cinsi portakal sularında 80 °C' de 1 dakika pastörizasyon sonunda, kafeik asit, klorojenik asit ve toplam hidroksisünamik asitlerin miktarının arttığı belirlenmiştir (Szalzo vd., 2004). Bu durum katabolizma içinde yer alan ve inaktivasyona neden olan enzimlerin aktif bölümlerinin ısı işlem ile alikonulması şeklinde açıklanmıştır.

Türkiye' de yetiştirilen bazı elma çeşitlerinin başlıca fenolik bileşikleri HPLC yöntemiyle incelenmiş ve analiz sonucuna göre elma sularında kateşin (9,09-115,30 mg/l), klorojenik asit (41,10-276,3 mg/l), epikateşin (3,38-6,76 mg/l), kafeik asit (3,04-79,09 mg/l) ve floridzin (0,52-20,13 mg/l) tespit edilmiştir (Karaman, 2008). Pearson vd. (1999), 6 farklı ticari elma suyunun fenolik bileşimini HPLC yöntemiyle incelemişler ve fenolik bileşenlerden kateşin 7,6 - 33,8 mg/l, klorojenik asit 17,0 - 58,3 mg/l ve rutin 1,1 - 7,8 mg/l aralığında belirlenmiştir. Ayrıca aynı çalışmada toplam fenolik madde miktarı meyve suyunda 181,7- 48,4 mg/l olarak belirlenmiştir. Karadeniz vd. (2001), 3 farklı çeşit (Amasya, Golden, Starking) elmadan hazırlanan elma suyu örneklerine 97 °C 20 dakika ısı işlem uygulamış ve fenolik madde kompozisyonunu araştırmışlardır. Bulgulara göre elma suyunda konsantrasyonu en yüksek fenolik bileşik klorojenik asit (62,3-342,6 mg/l) olmuştur. Bunu epikateşin (5,3- 240,1 mg/l), floretinlikozit (5,5-60,0 mg/l), floridzin (6,9-29,7 mg/l) ve p-kumarik asit (1,1-16,0 mg/l) izlemektedir. Elma suyundaki fenolik madde miktarının öncelikle meyve çeşidine bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir.

Elmalardaki fenolik bileşik içeriğini ve işlenmiş ürünleri değerlendirmek amacıyla Jonagold, Sampion, Idared ve Topaz cinsi elmaların kullanıldığı bir çalışmada, meyvelerde en yüksek fenolik asit içeriği Idared (346 mg/kg) cinsinde bulunmuştur. En yüksek miktarda kuersetin glikozit içeriği Jonagold (87 mg/kg) ve Topaz (83 mg/kg) cinslerindedir (Markowski ve Płocharski, 2006). Buna göre elma suyunda bulunan fenolik bileşikler literatürde yapılan çalışmalarda belirlenenler ile benzerlik göstermektedir.

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Yapılan bu çalışmada, Red Chief cinsinden üretilen elma suyuna, farklı sıcaklık (40, 50, 60, 70, 80 °C) ve sürelerde (5, 10, 15, 20, 25, 30 dakika) ısı işlem uygulamasının meyve sularının kalitesini olumsuz etkileyen PPO ve POD enzim inaktivasyonu üzerine etkisi belirlenmiş ve fenolik bileşiklerin değişimine etkisi araştırılmıştır.

Genellikle artan süre ve sıcaklığa bağlı olarak PPO ve POD enzimlerinin aktivitesinde azalış belirlenmiştir. PPO enziminde 80 °C sıcaklıkta 5 dakikalık ısı işleminden sonra % 5,40 ± 0,47 aktivite gözlenirken, 20 dakika sonunda % 99 enzim inaktivasyonu sağlanmıştır. POD enzimi için 80 °C' de 5 dakika sonunda kalan aktivite % 21,71 ± 0,46 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte aynı sıcaklıkta 20 dakika sonunda % 93,29 inaktivasyon belirlenirken, 25

ve 30 dakikalık ısı işlem sürelerinde elde edilen inaktivasyon değerleri arasında önemli bir fark belirlenmemiştir ( $p > 0,05$ ). Yani genel olarak bakıldığında 80 °C' de 20 dakika sonunda yeterli inaktivasyon sağlandığı söylenebilmektedir. Aynı zamanda elde edilen veriler değerlendirildiğinde POD enziminin PPO' ya kıyasla ısı işleme daha dirençli olduğu belirlenmiştir.

Genel olarak toplam fenolik madde miktarında değişimine bakıldığında düşük sıcaklık uygulamalarında bazı parametrelerde artış bazı parametrelerde azalış belirlenmiştir. Bu durum fenolik bileşiklerin ısıya duyarlı olup sıcaklıktan etkilenmesiyle ve yapıdaki enzimlerin aktiflik durumuyla ilişkilendirilmiştir. 80 °C' de 20 dakika sonunda toplam fenolik madde miktarı  $668,41 \pm 12,70$  mg GAE/ kg yaş ağırlık olarak belirlenmiştir. Yüksek sıcaklık uygulamaları sonucu toplam fenolik madde değişimi incelendiğinde ısı işlem görmemiş taze elma suyu örneğine kıyaslanınca artış olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeninin elma suyunda enzim inaktivasyonunun sağlanmasından dolayı, fenolik bileşiklerin substrat olarak kullanılamaması olabileceği düşünülmektedir.

Isıl işlem uygulamasından sonra genellikle antioksidan aktivitedeki değişim toplam fenolik madde değişimiyle ilişkili bulunmuştur. 80 °C' de EC<sub>50</sub> değeri 20 dakika sonunda  $24,28 \pm 0,69$  mg/ml olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklık değerinde genel olarak antioksidan aktivitede artış görülmüştür. Bunun nedeninin yeterli (> %90) enzim inaktivasyonunun sağlanması ve toplam fenolik madde miktarının artışı olduğu söylenebilmektedir.

FTIR spektrumları incelendiğinde farklı sıcaklık, sabit süre uygulanan ısı işlem sonucunda fenolik bileşik içeriğinde bir değişim gözlenmemiştir. Parmak izi bölgesi (1800 - 750 cm<sup>-1</sup>) incelendiğinde spesifik bantların epikateşin ve klorojenik asitle uyumlu olduğu belirlenmiş, belirlenen fenolik bileşiklerin HPLC ile belirlenen fenolik bileşikler ile paralellik gösterdiği belirlenmiştir.

HPLC ile fenolik bileşikler incelenmiş, ısı işlem görmemiş taze elma suyunda belirlenen fenolik bileşikler kateşin, klorojenik asit, epikateşin, kamferol olmuştur ve genel olarak artan sıcaklığa bağlı olarak fenolik bileşiklerde artış görülmüştür. 70 °C ve 80 °C' de 20 dakikada gerçekleştirilen ısı işlem sonunda fenolik bileşiklerde artış belirlenmiştir. Bu durum toplam fenolik madde miktarındaki artışla paralellik göstermektedir.

Yapılan çalışma sonucunda elma suyuna uygulanacak en uygun parametre 80 °C 20 dakikalık ısı işlem uygulaması olmuştur. Bu parametrelerde PPO ve POD enzimlerinde yeterli enzim inaktivasyonu (>%90) sağlanmış, aynı zamanda fenolik bileşiklerde ve antioksidan aktivitede artış belirlenmiştir.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar (References)

- Abbas, O., Compère, G., Larondelle, Y., Pompeu, D., Rogez, H., Baetena, V., 2017. Phenolic Compound Explorer: A Mid-Infrared Spectroscopy Database. *Vibrational Spectroscopy*, 92, 111-118.
- Abid, M., Jabbar, S., Hu, B., Hashim, M.M., Wu, T., Lei, S., Khan, M.K., Zeng, X., 2014. Thermosonication as a Potential Quality Enhancement Technique of Apple Juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21, 984-990.
- Aguilar-Rosas, S.F., Ballinas-Casarrubias, M.L., Nevarez-Moorillon, G.V., Martin-Belloso, O., Ortega-Rivas, E., 2007. Thermal and Pulsed Electric Fields Pasteurization of Apple Juice: Effects on Physicochemical Properties and Flavour Compounds. *Journal of Food Engineering*, 83, 41-46.
- Anonim, 2011, "Türkiye meyve suyu v.b. ürünler sanayi raporu", <https://www.meyed.org.tr> (Erişim tarihi: 15 Mart 2015).
- Bahukhandi, A., Dhyani, P., Bhatt, I.D., Rawal, R.S., 2018. Variation in Polyphenolics and Antioxidant Activity of traditional Apple Cultivars from West Himalaya, Uttarakhand. *Horticultural Plant Journal*, 4(4), 151-157.
- Baltacıoğlu, H., Bayındırlı, A., Severcan, M., Severcan, F., 2015. Effect of Thermal Treatment on Secondary Structure and Conformational Change of Mushroom Polyphenol Oxidase (PPO) as Food Quality Related Enzyme: A FTIR Study. *Food Chemistry*, 187, 263-269.
- Başlar, M., Ertugay, M.F., 2013. The Effect of Ultrasound and Photosonication Treatment on Polyphenoloxidase (PPO) Activity, Total Phenolic Component and Colour of Apple Juice. *International Journal of Food Science and Technology*, 48, 886-892.
- Blois, M.S., 1958. Antioxidant Determinations by the Use of Stable Free Radical. *Nature*, 181(4617) 1199-1200.
- Cemeroğlu, B., 2010. Gıda Analizleri. Gıda Teknolojileri Derneği Yayınları, 34.
- Cemeroğlu, B., Yemencioğlu, A., Özkan, M., 2001. Meyve ve Sebzelelerin Bileşimi Soğukta Depolanmaları. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 24.
- Ćetković, G., Čanadanović-Brunet, J., Djilas, S., Savatović, S., Mandić, A., Tumbas, V., 2008. Assessment of Polyphenolic Content and *in vitro* Antiradical Characteristics of Apple Pomace. *Food Chemistry*, 109(2), 340-347.
- Dubey, A., Diwakar, S.K., Rawat, S.K., Kumar, P., Batra, N., Joshi, A., Singh, J., 2007. Characterization of Ionically Bound Peroxidases from Apple (*Mallus pumilus*) Fruits. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 37(1), 47-58.

- Erdoğan, S.S., Demirci, M., 2014. Elmanın Fenolik Bileşen ve Lif İçeriği Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü. Gıda Teknolojisi Bölümü, 43(1-2), 41-52.
- He, Z., Tao, Y., Zeng, M., Zhang, S., Tao, G., Qin, F., Chen, J., 2016. High Pressure Homogenization Processing, Thermal Treatment and Milk Matrix Affect *in vitro* Bioaccessibility of Phenolics in Apple, Grape and Orange Juice to Different Extents. Food Chemistry, 200, 107-116.
- Karadeniz, F., Ekşi, A., 2001. Elma Suyunda Fenolik Madde Dağılımı Üzerine Araştırma. Tarım Bilimleri Dergisi, 7(3), 135-141.
- Karaman, Ş., 2008. Türkiye’de Yetiştirilen Bazı Elma Çeşitlerinin Toplam Antioksidan Kapasitelerinin ve Antioksidan Özellik Gösteren Başlıca Bileşenlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Krapfenbauer, G., Kinner, M., Gössinger, M., Schönlechner, R., Berghofer, E., 2006. Effect of Thermal Treatment on the Quality of Cloudy Apple Juice. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54(15), 5453-5460.
- Kuşçu, A., Bulantekin, Ö., 2016. The Effects of Production Methods and Storage on the Chemical Constituents of Apple Pekmez. Journal of Food Science and Technology, 53(7), 3038-3092.
- Liu, F., Han, Q., Ni, Y., 2017. Comparison of Biochemical Properties and Thermal Inactivation of Membrane-Bound Polyphenol Oxidase from Three Apple Cultivars (*Malus domestica* Borkh). International Journal of Food Science and Technology, 17, 1-8.
- Lo Scalzo, R., Iannocari, T., Summa, C., Morelli, R., Rapisarda, P., 2004. Effect of Thermal Treatments on Antioxidant and Antiradical Activity of Blood Orange Juice. Food Chemistry, 85(1), 41-47.
- Lu, X., Wang, J., Al-Qadiri, H.M., Ross, C.F., Powers, J.R., Tang, J., Rasco, B.A., 2011. Determination of Total Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Onion (*Allium cepa*) and Shallot (*Allium oschaninii*) Using Infrared Spectroscopy. Food Chemistry, 129, 637-644.
- Markowski, J., Płocharski W., 2006. Determination of Phenolic Compounds in Apples and Processed Apple Products. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 14(2), 133-142.
- Meral, R., 2016. Farklı Isıl İşlem Uygulamalarının Fenolik Bileşenler Üzerine Etkisi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi/ Journal of The Institute of Natural and Applied Sciences, 21(1), 55-67.
- Murtaza, A., Muhammad, Z., Iqbal, A., Ramzan, R., Liu, Y., Pan, S., Hu, W., 2018. Aggregation and Conformational Changes in Native and Thermally Treated Polyphenol Oxidase From Apple Juice (*Malus domestica*). Front. Chem., 6:203.
- Nayak, P.K., Rayaguru, K., Krishnan, K.R., 2017. Quality Comparison of Elephant Apple Juices After High-Pressure Processing and Thermal Treatment. Journal Science Food Agricultural 97, 1404-1411.
- Niu, S., Xu, Z., Fang, Y., Zhang, L., Yang, Y., Liao, X., Hu, X., 2010. Comparative Study on Cloudy Apple Juice Qualities from Apple Slices Treated by High Pressure Carbon Dioxide and Mild Heat. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 11(1), 91-97.
- Okur, İ., Baltacıoğlu C., Baltacıoğlu H., Alpas H., Ağçam E., 2019. Evaluation of the Effect of Different Extraction Techniques on Sour Cherry Pomace Phenolic Content and Antioxidant Activity and Determination of Phenolic Compounds by FTIR and HPLC. Waste and Biomass Valorization.
- Önez, Z., 2006. Üzümnden (*Vitis Vinifera L.*) İzole Edilen Polifenol Oksidaz Enziminin Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Pearson, D.A., Tan, C.H., German, J.B., Davis, P.A., Gershwin, M.E., 1999. Apple Juice Inhibits Human Low Density Lipoprotein Oxidation. Life Sciences, 64(21), 1913-1920.
- Riener, J., Noci, F., Cronin, D.A., Morgan, D.J., Lyng, J.G., 2008. Combined Effect of Temperature and Pulsed Electric Fields on Apple Juice Peroxidase and Polyphenoloxidase Inactivation. Food Chemistry, 109(2), 402-407.
- Singleton, V.L., Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. American Journal of Enology and Viticulture, 16, 144-158.
- Sulaiman, A., Farid, M., Silva, F.V., 2016. Quality Stability and Sensory Attributes of Apple Juice Processed by Thermosonication, Pulsed Electric Field and Thermal Processing. Food Science and Technology International, 23(3), 265-276.
- Tahir, H.E., Xiaobo, Z., Zhihua, L., Jiyong, S., Zhai, X., Wang, S., Mariod, A.A., 2017. Rapid Prediction of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Sudanese Honey Using Raman and Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy. Food Chemistry, 226, 202-211.
- Terefe, N.S., Buckow, R., Versteeg, C., 2014. Quality-Related Enzymes in Fruit and Vegetable Products: Effects of Novel Food Processing technologies Part 1: High-Pressure Processing. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 54(1), 24-63.
- Yemenicioğlu, A., Özkan, M., Cemeröğlu, B., 1997. Heat Inactivation Kinetics of Apple Polyphenoloxidase and Activation of its Latent Form. Journal of Food Science, 62(3), 508-510.
- Yıldırım, M., Benzer, F., Çimen, M., Barış, D., Yıldırım H., Sanyürek, N.K., Karakavuk, E., 2019. Isparta’da Yetişen Bazı Elma Çeşitlerinin Meyve Eti, Kabuk ve Çekirdek Yuvasındaki Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi. International Journal of Pure and Applied Sciences, 5(1), 31-36.
- Yi, J., Kebede, B.T., Hai Dang, D.N., Buvé, C., Grauwet, T., Van Loey, A., Hu, X., Hendrickx, M., 2017. Quality Change During High Pressure Processing and Thermal Processing of Cloudy Apple Juice. LWT- Food Science and Technology, 75, 85-92.



## THE STRUCTURAL COUPLING TO RUPTURE COMPLEXITY OF THE AFTERSHOCK SEQUENCE OF THE 2011 EARTHQUAKES IN LAKE VAN AREA (EASTERN ANATOLIA, TURKEY)

Mustafa TOKER\*

Van Yuzuncu Yıl University, Faculty of Engineering, Department of Geophysical Engineering, Van, Turkey

### Keywords

Lake Van,  
Van Earthquake,  
Aftershock Sequence,  
Microseismicity,  
Clusters.

### Abstract

This study presents an analysis of the structural coupling to the two large destructive earthquakes that occurred in Lake Van area on October 23 (Mw 7.1), and November 9 (Mw 5.6), 2011, together with the azimuth-dependent distribution of the seismic activity and microseismicity clusters after the mainshocks, associated with the complex rupture processes of the aftershock sequence. The aftershock sequences after the two mainshocks were linked to the local crustal faults beneath Lake Van area, followed successively and produced unusually intense activity and significant damage in the area. The main purposes of this study are to document the spatial and temporal distribution and evolution of the October 23, 2011 aftershock hypocenters and the azimuth-dependent distribution of seismic activity, and to understand the structural character of the aftershock sequence using the distributional and evolutionary patterns of the aftershock hypocenters. A total of 10,000 aftershocks were obtained from seismic data with a high signal-to-noise ratio collected over three years from October 23, 2011 to March 17, 2014. These aftershocks were relocated for the time periods from November 2011 through March 2012 to March 2014 and  $\approx 5000$  aftershocks were retained in the depth versus distance cross-sections to detect the clusters in the first step of study (November 2011-March 2012). The focal depth distribution of the aftershock clusters, the migration of hypocenter activity and microseismicity clusters were analyzed and the distributional patterns of the detected clusters were assessed using the geometric distribution of the aftershock hypocenters. The spatial and temporal distribution of aftershocks reveals interesting key features of the deep rupture complexity of the Van earthquake. This study presents the results of the first detailed hypocentral observations and this is important data for future seismic hazard analyses in the study area.

## VAN GÖLÜ BÖLGESİNDE 2011 YILI DEPREMLERİNİN ARTÇI ŞOK SERİSİ KIRILMA KARMAŞIĞINA YAPISAL BAĞLANTI (DOĞU ANADOLU, TÜRKİYE)

### Anahtar Kelimeler

Van Gölü,  
Van Depremi,  
Artçışok Sekansı,  
Mikrosismisite,  
Kümeler.

### Öz

Bu çalışma, Van Gölü alanında gerçekleşen, 23 Ekim Van (Mw 7.1) ve 9 Kasım Edremit (Mw 5.6) 2011 yılı depremleriyle, artçışok kırılma karmaşığına bağlı olarak, anaşok sonrası oluşan küçük deprem kümelerinin ve genel sismik hareketliliğın, azimuta bağlı değışimini dikkate alarak kurulan yapısal ilişkinin bir analizini sunmaktadır. Her iki anaşoktan sonra oluşan artçışok serileri, Van Gölünün altında bulunan kabuk kökenli faylarla ilişkilendirilmiş ve ardarda olmak üzere, sıradışı yıkıcı bir etki oluşturarak, bölgede çok önemli bir zarara neden olmuşlardır. Bu nedenle, çalışmamızın temel amacı, 23 Ekim 2011 artçışok odak derinliklerinin zamana, mekana ve azimuta bağlı olarak dağılımını ve dağılım sürecini göstermek ve aynı zamanda, artçışok odak derinliklerini kullanarak, artçışok serilerinin yapısal karakterini anlamaktır. Bu çalışmada, yaklaşık 10.000 artçışok verisi, 23 Ekim 2011 ve 17 Mart 2014 tarihleri arasında 3 yıl süreyle kaydedilen, sinyal gürültü oranı yüksek deprem katalogundan elde edilmiştir. Bu artçışok veri seti, 2011 Kasım ve 2014 Mart tarihleri arasında yeniden yersel olarak konumlandırılmış ve bu çalışmanın ilk aşamasını teşkil eden, yaklaşık 5000 adet artçışok verisi, derinlik-uzaklık profil kesitlerinde, deprem kümelenmelerini tespit edebilmek için

\* İlgili yazar / Corresponding author: tokermu@gmail.com, +90-432-444-5065

kullanılmıştır (Kasım 2011-Mart 2012). Böylece, artçışok kümelenmelerinin derinlik dağılımı, deprem odak derinliklerin hareketi ve küçük deprem kümelenmelerinin analizi gerçekleştirilmiştir ve ayrıca, artçışok odak derinliklerinin geometrik dağılımı kullanılarak, tespit edilmiş deprem kümelenmelerinin dağılım geometrilerinin analizi yapılmıştır. Artçışokların zamanda ve mekandaki dağılımları, Van depremini oluşturan fayın derinlerdeki kırılma karmaşasına dair, çok ilginç temel özelliklerini açıkça göstermiştir. Bu çalışma, ilk kez, deprem odağı analizi detaylı gözlem sonuçlarını vermektedir ve bu veri sonuçları, çalışma alanında, gelecekteki olması muhtemel deprem hasar analizleri için çok önem arz etmektedir.

#### Alıntı / Cite

Toker, M., (2021). The Structural Coupling to Rupture Complexity of the Aftershock Sequence of the 2011 Earthquakes in Lake Van Area (Eastern Anatolia, Turkey), Journal of Engineering Sciences and Design, 9 (1), 27-51.

#### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Toker, 0000-0001-9981-6605

#### Makale Süreci / Article Process

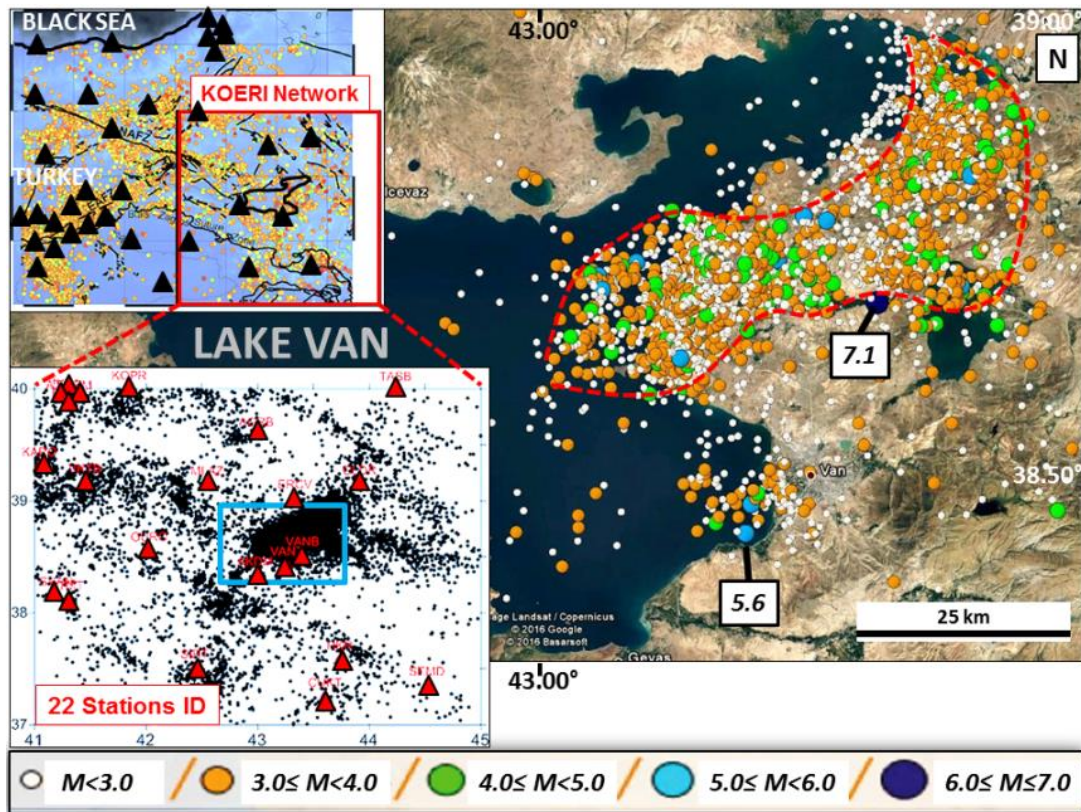
<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	14.01.2021
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	13.02.2021
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	01.03.2021
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

## 1. Introduction

During the last ten years, seismological observations of aftershock seismicity from the interplate and intraplate seismotectonic settings and magnitudes have indicated that variations in stress state less than 1 bar are able to induce the reactivation of nearby faults that are close to failure, either as long-term post-seismic deformation (e.g., spatial and temporal occurrence of aftershock activity) or as secondary larger earthquakes (e.g., compound seismicity). This phenomenon has been described as a triggering process (King et al. 1994; Harris et al. 1995; Benito et al. 2004). The triggering process may involve the anomalous generation of aftershocks or secondary mainshocks with different focal mechanisms, with prominent changes in the spatial and temporal character of the mainshock aftershock sequence in a given focal area which increases or decreases for several months or years after a mainshock (Stein and Lisowski 1983; Reasenber and Simpson 1992; Stein 1999; Benito et al. 2004).

Lake Van located in the province of Van in eastern Anatolia is characterized by intraplate seismicity and highly active compressional shear strains (Kutoğlu et al. 2016) with long-term aftershocks of magnitudes more than 3.5-4.0 occurring repeatedly (Toker 2013; 2014) (Figure 1). Toker (2014; 2015) has shown that these aftershock events in the temporal form of multi-clusteral patterns are repeating ruptures of asperities comprising areas of large coseismic slip, which are locked during interseismic period. On October 23, 2011, a great thrust earthquake of magnitude Mw 7.1 occurred in the Lake Van area (Irmak et al. 2012; Bayrak et al. 2013; Elliott et al. 2013; Acaarel et al., 2014; Gori et al., 2014; Moro et al. 2014; Toker 2015; Mackenzie et al., 2016) (Figure 1). The earthquake and its strong aftershocks activated the ~27-km-long Blind Thrust fault system that marks the accretionary wedge complex and the transition between the basins of Lake Van and Lake Erçek (Doğan and Karakaş 2013; Elliott et al. 2013; Karakaş et al. 2013; Doğan et al. 2014). The multi-crustal occurrence and distribution of long-period aftershocks and focal mechanism of this larger event show a northeast-southwest striking rupture plane dipping towards the northwest (Irmak et al. 2012; Toker 2013; Bayrak et al. 2013; Fielding et al. 2013; Utkucu et al. 2013; Gori et al., 2014; Mackenzie et al., 2016). The rupture gradually expanded near the hypocenter and was shaped in a sigmoidal-like propagation (Figure 1). It is thought that the earthquake occurred as a result of a long-term high plateau uplift (Görür et al. 2015) and an eastward oblique tectonic extrusion of the Lake Van basin (Toker and Şengör 2011; Toker and Ecevitoğlu 2012a, b; Toker, 2017; Toker et al., 2017).





**Figure 1.** The catalogue seismicity of the Lake Van area and all 5,088 aftershocks distribution of the 23 October 2011 Van ( $M_w$  7.1) and 9 November 2011 Edremit ( $M_w$  5.6) earthquakes (see Table 1 for source parameters). The epicenters of the aftershocks occurred until April 2012 are plotted (Landsat/Copernicus©2016 Google, ©2016 Basarsoft). The colored dots denote the aftershock magnitudes determined by the KOERI seismic network (the inset maps) (©2018 GeoBasis-DE/BKG (© 2009), Google Maps API) and © 2018 Google Earth, Mapa GISrael, ORION-ME). The inset map (top) shows the KOERI network in E-Anatolia squared in red and stations shown by black triangles, while the inset map (bottom) shows the station locations of KOERI network in detail, together with 22 stations ID shown by red triangles, which are used for the distributional analyses of the aftershocks relocated in this study. The study area, Lake Van, is shown by blue rectangle. The catalogue-located epicenters show a compact and sigmoidal distributional pattern striking ENE (dashed red curves). The seismic density of the located hypocenters is elongated and concentrated along a landward extending sigmoidal pattern corresponding to the ruptured area, the faulting style in the lake and the location of Lake Van area (see Figure 5 for details) (NAFZ, North Anatolian Fault Zone and EAFZ, East Anatolian Fault Zone).

The October 23, 2011 Van earthquake was a somewhat unusual case concerning the anomalous occurrence and the spatial and temporal distribution of its aftershocks ( $M \geq 3.5$ ) in Lake Van (Figure 1 and Table 1). The Van earthquake was followed by numerous aftershocks with the same origin and most of the aftershock activity was restricted to a narrow area, bounded by the faults of the lake (Toker, 2017; Toker et al., 2017; Toker and Şahin, 2019); ~2,828 events occurred in the first month (November 2011), and 4,853 in the first five months (November 2011- March 2012), nearly half of which were larger than  $M_w$  3.0. Until the end of 13 April 2012 over a period of 163 days, the total activity of 5,304 aftershocks comprised of 184  $M_w \geq 4.0$  and 13  $M_w \geq 5.0$  events (Bayrak et al. 2013; Toker 2014). This earthquake was associated with the local fault system aligned with the Lake Van basin that extends from west to east (Moro et al. 2014). Two weeks later, on 9 November, a second major earthquake of  $M_w$  5.6, the Edremit event (5-7 km depths), occurred the near the southeastern coast of Lake Van along the north dipping a normal oblique-strike-slip Edremit fault (Utkucu 2013; Utkucu et al. 2013; Doğan et al. 2014) (Figure 1). This second earthquake was also associated with the local fault system (Ketin 1977; Utkucu 2006). The aftershock sequence of the November 9, 2011 Edremit earthquake worsened the situation in the area that had been affected by the previous Van earthquake. The aftershocks and the fault focal solutions of the Edremit event are on the different fault than the previous events (Figure 1 and Table 1).

**Table 1.** Updated source parameters of 22 earthquakes shown in Fig. 5 (compiled and modified from Irmak et al., 2012 and various institutions).

No	Date (dd/mm/yy)	Origin time (hr:mm:s)	Location (°) Lat.-Lon.	ERH (km)	ERZ (km)	Depth (km)	Mag	Strike	Dip	Rake
1	23/10/2011	10:41:21	38.7188-43.3367	3.3	1.8	15.0	7.1*	246	46	59
2	23/10/2011	20:45:34	38.6345-43.0775	2.7	0.5	5.0	5.7+	248	71	90
3	09/11/2011	19:23:34	38.4295-43.2342	2.6	0.5	5.8	5.6+	223	55	63
4	08/11/2011	22:05:50	38.7241-43.0870	0.9	0.5	4.3	5.5+	203	59	-88
5	25/10/2011	14:55:08	38.7733-43.5468	3.2	1.0	5.0	5.4+	38	41	-54
6	29/10/2011	22:42:22	38.8985-43.5503	0.9	0.2	5.0	5.3+	165	60	-56
7	23/10/2011	18:10:45	38.6980-43.3873	3.5	0.5	5.0	5.0+	289	82	35
8	23/10/2011	18:53:48	38.4072-43.3383	3.3	1.4	5.0	4.9+	219	57	25
9	23/10/2011	19:06:06	38.7868-43.2960	3.7	0.8	5.0	4.9+	228	64	-90
10	06/11/2011	02:43:12	38.9243-43.5650	1.2	0.3	5.0	4.9+	169	57	-54
11	02/11/2011	04:43:20	38.8735-43.5695	1.3	0.3	5.0	4.8+	171	58	-61
12	09/11/2011	22:38:18	38.4508-43.2085	1.9	0.7	5.0	4.5+	238	43	90
13	23/10/2011	19:43:25	38.7835-43.3447	4.1	0.9	5.0	4.4+	223	68	-90
14	24/10/2011	22:13:31	38.7710-43.1790	1.2	0.4	2.1	4.4+	183	63	-90
15	24/10/2011	18:52:16	38.7263-43.2247	1.9	0.4	2.5	4.2+	50	41	-49
16	25/10/2011	03:28:51	38.8368-43.6687	8.9	1.9	2.2	3.7+	283	57	43
17	25/10/2011	00:16:40	38.5482-43.1103	3.7	1.4	5.0	3.7+	126	74	-34
18	24/10/2011	20:15:49	38.8840-43.4742	0.9	0.3	5.0	3.6+	259	56	36
19	25/10/2011	00:26:26	38.8977-43.4658	4.0	0.9	5.0	3.6+	285	57	42
20	24/10/2011	16:24:19	38.9192-43.5143	0.4	0.1	3.7	3.6+	289	56	43
21	25/10/2011	02:39:38	38.7445-43.2055	1.3	0.5	4.0	3.5+	115	61	146
22	30/11/2011	00:47:21	38.5090-43.4058	2.6	1.2	2.8	5.0+	174	81	-32

**MAG:** Magnitude, **ERH:** Horizontal error, **ERZ:** Vertical error, \***Moment magnitude ( $M_w$ )** obtained by waveform inversion, +**Local magnitude ( $M_L$ )**.

## 2. Literature survey

The two mainshocks of October 23 and November 9, together with thousands of events of lesser magnitude and their respective aftershock sequences, produced an intense period of intraplate seismic activity over a short time interval. This seismic activity did not appear to decrease over time and frequency, according to the known laws. The temporal propagation and evolution of the Van aftershock sequence showed a complex short and long term dynamic evolution in the aftershock area (Toker 2013; 2014; 2015). This is repeated for all the events, and may have induced alternating stress increases and decreases in either time or space, thus generating the observed clusters, declusters and dynamic complexity in the aftershock sequence (Toker 2015). If this is the case, the

rupture area of the Van mainshock ruptures repeatedly in the consecutive aftershocks and it is extremely important to reveal aftershock hypocenters of the mainshock in order to understand the focal depth nature of the rupture complexity. This suggests that the present probability of the repeated aftershock occurrence ( $M_w \geq 4.0-4.5$ ) in the mainshock area is quite high.

Soon after the Van earthquake, many geologists undertook field investigations of the surface ruptures and co-seismic deformation (Irmak et al. 2012; Koçyiğit 2012; Doğan and Karakaş 2013; Karakaş et al. 2013; Doğan et al. 2014). However, because of the occurrence of seismic-related surface ruptures, mass-wasting and landslides in the fields along the faults, the field investigations were limited to scattered sites and no information was obtained on geological nature of the ruptured area. Geophysical studies were also inadequate for determining the spatial and temporal details of the aftershock clusters around the hypocenter of the mainshock (Bayrak et al. 2013; Elliott et al. 2013; Fielding et al. 2013; Utkucu et al. 2013; Moro et al. 2014). Furthermore, the land-based observations that were conducted were insufficient to describe the overall rupture geometry and the detailed seismic activity (Altınır et al. 2013; Kalafat et al. 2013; Utkucu 2013). Prior to the present study, little was known about the focal depth nature of aftershock seismicity and structural coupling to rupture complexity at crustal depths.

Since the aftershocks following the Van and Edremit mainshocks occurred in larger numbers, they can assist in delineating the focal depth pattern of the rupture upon which the Van mainshock occurred and clarify the spatial and temporal distribution of the seismicity around the focal area. A close spatial inspection of the cluster pattern of the aftershock distribution at depths of 10 km up to 30 km implies a possible relation between the fault-controlled nucleation zone of 2011 Van earthquake aftershock sequence and P- and S-wave velocity anomalies (Toker and Şahin, 2019 and references therein). This relation seems to be due to crustal faulting movements in the Lake Van area, as explained in the tectonic model study of Toker et al. (2017) and also Toker (2017). This paper explores the structural coupling to the aftershock sequences in the Lake Van area to gain a better understanding of the hypocenter dynamics of aftershock sequence. Moreover, the current study analyzes the focal depth features of aftershocks beneath the surface based on seismic velocity observations (Toker and Şahin, 2019) and comments on rupture propagation complexity of aftershock sequence, and contributes to the investigation of the distributional configurations of the hypocenters on the scale of a few tens of kilometers. This paper presents the results of the first detailed hypocentral observations, coupled to the boundary faults of Lake Van basin, and this is important data for future seismic hazard analyses in the area.

### 3. Structure of Lake Van

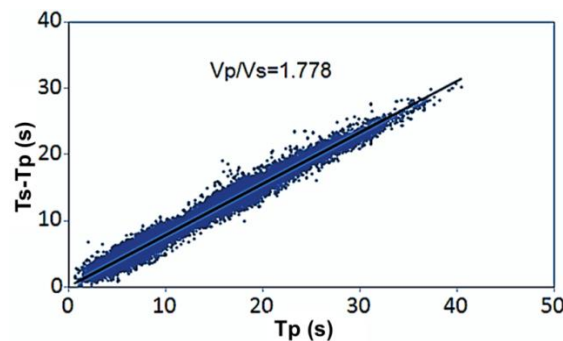
The Lake Van region is a mantle-supported, N-S shortened domal morphological structure (Şengör et al., 2003; 2008) (Fig. 1) and presently rises above a doming, hot asthenosphere due to slab detachment and break off events in E-Anatolia (Zor et al., 2003; Zor, 2008; Şengör et al., 2003; 2008). A thin and warm crust underlies this shortened region, covered by various kinds of fluids (Turkoğlu et al., 2008; 2015), volcanic dome-cone complexes and active magmatic intrusions, typical of an extensional regime as observed in the Lake Van basin (Çukur et al., 2016; Toker et al., 2017).

The Lake Van basin is characterized by oblique-slip boundary faults; extension-transtension in E-margin, transpression in N-margin and extension-transtension in S-margin, through which magma propagation and related intrusive-extrusive occurrences are observable (Toker et al., 2017; Toker and Şahin, 2019). The oblique-slip deformation in the lake basin actively controls differential subsidence in deep basin (e.g., relaxation barrier) and differential uplift toward ENE (e.g., fragmentation barrier), where the 2011 Van earthquake occurred (Toker, 2017). Extensional-transtensional deformation observed in the lake is characterized by thick lacustrine sediments overlying a faulted layer (e.g., detachment), beneath which ductile extension may have occurred (Toker et al., 2017; Toker and Şahin, 2019). The present day deformation style of the Lake Van basin is derived from incompatibility junctions of active tectonic structures (Toker and Şahin, 2019) driven by accretionary wedges and controlled by upper crustal flake tectonics and sequential events of volcano-tectonic/magmatic processes (Toker et al., 2017; Toker and Şahin, 2019). The active deformation is within a form of fault-bounding oblique wedge, escaping toward ENE, tends to localize in, and along the weakness zones of the lake margins, where strain accumulation, condensation and partitioning, for example caused by transpression in the N-margin, are the most prominent features, as proposed by Toker et al., (2017). Tectonic mobility of this lake probably began around the Late Miocene-Early Pliocene and has intensified during the Plio-Quaternary periods (Toker et al., 2017).

#### 4. Material and Method

The earthquake data set processed by Toker and Şahin, (2019) (catalogue published by KOERI (Boğaziçi University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute) (<http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/Sondepremler.asp/2020>) were used in the present study to relocate and to plot the distribution of selected aftershocks (Figure 1). The KOERI network consists of 21 broadband and one short-period seismic stations with a sampling frequency of 50 Hz. The dynamic range is 140 and 164–184 dB for the broadband and short-period seismic stations, respectively. This network has the scheme for automatically detecting events available for processing and working with the continuous waveform data.

Toker and Şahin, (2019) performed the catalogue of KOERI to improve the data quality and to refine the depth resolution of the events given in the catalogue. This made arrival times of P- and S-waves and corresponding hypocenter locations quite reliable for seismic tomographic research reported by Toker and Şahin, (2019) and aftershock relocation analysis in this study. Hence, the current study used the routine procedures of the hypocenter location method with the Hypo71 source code and 1-D crustal velocity model derived by Toker and Şahin, (2019) for the determination of the hypocentral parameters of relocated events. (Lee and Lahr 1972), as it gives the minimum RMS travel-time residuals. Toker and Şahin, (2019) checked initial velocity models to find the best  $V_p/V_s$  ratio by using a number of slightly different initial P-wave velocity models with different  $V_p/V_s$  ratios and applied them to different sub-data sets and found a constant  $V_p/V_s$  value of about 1.778. The related cumulative wadati diagram used for initial model is constructed for this study (Figure 2), indicating that the overall seismic structure has no substantial variations, but some slight changes in the edges, suggesting the reliability of the  $V_p/V_s$  ratio in most cases ( $\sim 1.77$ ). Further details for data processing, inverted 3D model and inversion procedures are given through the extensive study of Toker and Şahin, (2019).

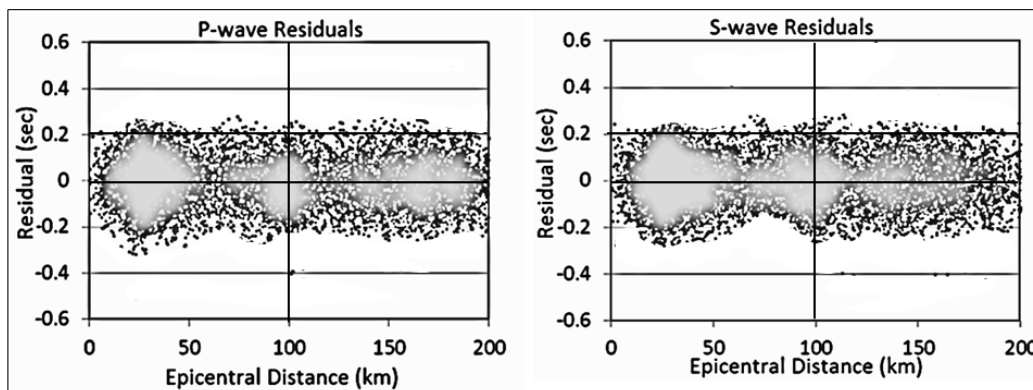


**Figure 2** The cumulative wadati diagram constructed from arrival time data of our selected events provides an estimate of  $V_p/V_s$  ratio used to derive the S-wave velocity model from a known P-wave velocity model. The time difference  $DT = T_s - T_p$  between the arrival time of P-waves ( $T_p$ ) and S-waves ( $T_s$ ) was plotted against ( $T_p$ ) for all available pairs of observations. The mean slope equaled the velocity ratio, found to be best  $V_p/V_s$ , constrained for the purpose of the optimum 1-D velocity model, based on the quality of their preliminary locations and the recording stations represented, indicating that the quality of event locations was sufficient for the purposes of the analysis in our study (derived from Toker and Şahin, 2019).

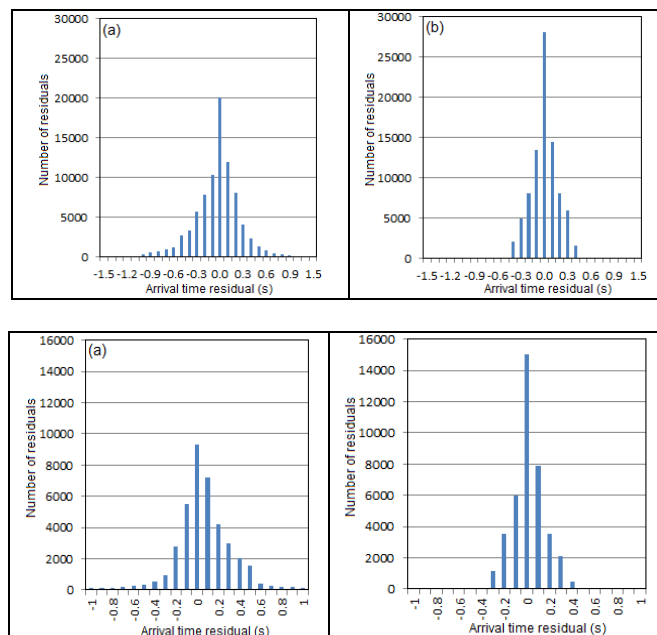
In the current study, one of sub-data sets ( $\sim 5,000$  aftershocks recorded at 22 seismic stations from KOERI in Figure 1) used in the previous study was selected from the events which occurred in Lake Van region ( $37 - 40^\circ\text{N}$  and  $41 - 45^\circ\text{E}$ ), implying similar ray coverage patterns of both P- and S-wave data sets from Toker and Şahin, (2019). The azimuthal gaps of the selected aftershocks for each station were carefully identified; the smallest gap is less than  $\sim 5^\circ$  ( $356^\circ < \text{gap} < 360^\circ$ ), the largest gap is  $\sim 180^\circ$ . An important task here is to check the quality of the selected aftershocks to find the best relocation results by using available seismic velocity data. The  $V_p$  and  $V_s$  data sets from Toker and Şahin, (2019) have been analyzed for quality check of the selected aftershocks. Selected data in the study area are good at work enough to locate their own events accurately. Hence, sub-data set (e.g., phase picks, phase readings, azimuths and residuals) from nearby stations of KOERI network has been edited to increase the resolution, to improve the location quality and also to compare the residuals. The event locations and focal depths are well constrained due to both near and far stations (Figure 1) using careful selections of available P- and S-phase reads at the nearest stations to get a reliable solution and to select high-quality events and the focal depths. All residuals are stepwise examined and residuals more than the limit  $\pm 1$  s are excluded from the inversion. The travel time reading errors are averaged  $\pm 0.03$  s for P-wave,  $\pm 0.04$  s for S-wave. P- and S-wave residuals are evaluated as a function of epicentral distance shown in Figure 3. Also, the initial and final RMS travel time residuals for the P- and S-wave data sets are computed as shown in Figure 4. The sum of squared travel-time residuals is reduced by more than 35% of its initial value after the inversion process. The final RMS travel time residuals were 0.33 s and 0.34 s for the P- and S-wave data sets, respectively (Figure 4).

In this study, the use of a 1-D initial velocity model of Toker and Şahin, (2019) to relocate the focal depths of selected events minimizes the relative location uncertainties by controlling the accuracy of the relative arrival-time readings with available phases and/or selecting the high-quality events and the focal depths and improves the location accuracy of data (e.g., systematic biases introduced by 3-D velocity variations). In addition to reduced residuals, epicenter locations are also evaluated according to the faults observed from seismic reflection profiles (Toker and Şengör, 2011; Çukur et al., 2013; Çukur et al., 2016; Toker et al., 2017; Toker, 2017) that can ensure reasonable depths.

In the present study, focal depth locations reveal a focused geometric picture of distributed aftershock seismicity (Toker, 2013; 2014; 2015; Toker and Şahin, 2019). Most of the aftershocks align in upper crustal depths along curve-linear, linear, horizontal streaks. Most of the aftershock activity consists of clustered similar and/or same-sized events, suggesting strong self-similarity of coupled events at depths with focal depth location errors typically about 1-2 km. Some selected events of the aftershock activity constrained by relocated catalog picks are also compared with the data set performed by previous studies (Gülen et al. 2002; Irmak et al., 2012; Bayrak et al. 2013; Fielding et al. 2013; Kalafat et al., 2013; Toker 2013; Toker 2014). The comparison indicates that overall geometric pattern of the individual events reveal the same relocated seismicity structure of Irmak et al., (2012) based on the same KOERI data set with focal depth uncertainties of 1-2 km (Irmak et al., 2012) and 2-3 km (Bayrak et al., 2013; Kalafat et al., 2013). Considering that the structure is highly complex, and based on the relocations given in this study and also the data set performed by previous studies, this study proposes a focal depth location uncertainty of ~1-2 km.



**Figure 3.** P- and S-wave travel-time residuals as a function of epicentral distance (offset) for the initial 1D model used in this study.

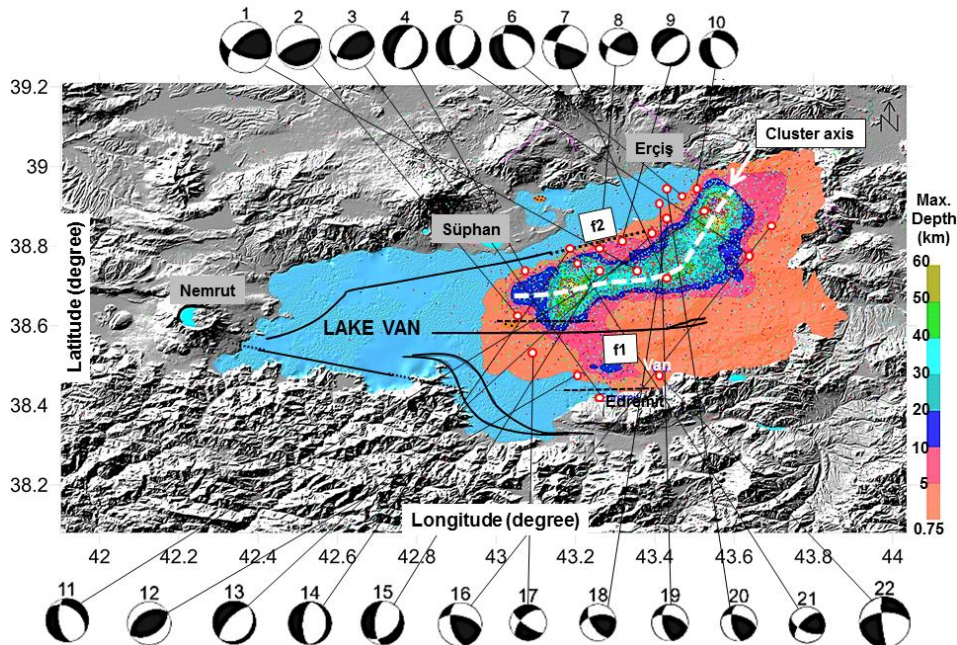


**Figure 4.** P- and S-wave travel-time residual histograms for both the initial 1D and the final 3D model, showing distribution of relative arrival time residuals associated with the initial model (before inversion at left column) and solution model (after inversion at right column) for P- (at upper line) and S-(at lower line) waves. After the inversion process RMS values are determined as 0.33 s and 0.34 s for the P-wave and S-wave data sets, respectively.

## 5. Results

### 5.1. Relocations associated with velocity structure

The map view of the seismic density of the relocated aftershock hypocenters includes 5,088 events shown in Figure 5. The relocation results of the selected high-quality events show that the seismicity has a maximum depth of ~30 km with peak activities at 8 and 10 km (Toker and Şahin, 2019). In Figure 5, the relocated aftershocks more than about 65 % occur below ~10 km and indicate a focused view of the cluster seismicity at ~8-10 km, compared to the more scattered locations in Figure 1.



**Figure 5.** Shaded relief map of the focal depth distribution of the relocated aftershock hypocenters (5088 events) shown in Figure 1 in the ruptured area (map modified from Toker and Şahin, 2019). The Lake Van boundary faults (black lines) used to constrain the focal depth data are also shown (data compiled from Toker 2011; Toker and Şengör 2011; Çukur et al. 2013; Çukur et al. 2016; Toker et al., 2017; Toker, 2017). The map shows aftershock relocations, the fault plane solutions of the Van and Edremit mainshocks (numbers 1 and 3) and 20 aftershocks (white dots) of the Van earthquake with the hypocenter depths occurring during the earthquake (see Table 1 for source parameters of focal solutions updated and compiled from Irmak et al. 2012 and various institutions) (Bayrak et al. 2013; Toker 2013; Toker 2014). The numbers on the focal mechanisms indicate these aftershocks listed in Table 1. Local faults (f1, f2) are the landward continuations of basin-bounding faults in Lake Van (see tectonic and seismic b-value models by Toker et al., 2017 and Toker, 2017, respectively). The map indicates the relation of the faulting styles of the lake to the distributional density of the hypocenters (contours are depths in km, the dots denote the aftershock epicenters and dashed white line is common cluster axis). The map also indicates that seismic density of the located hypocenters is concentrated along a landward extending sigmoidal pattern corresponding to the ruptured area and the faulting style in the lake. The normal and thrust focal solutions seen are related to the rupturing of the secondary faults as a result of the rupturing of a main thrust fault plane in the NE direction and with a 58°NW dip (Irmak et al. 2012). The rupturing caused secondary intra-plate deformations obtained from the fault plane solutions of the aftershocks numbered 22 on map and fits with the direction of the aftershock pattern (see focal data shown in Table 1).

Here, we conduct a spatial pattern analysis to address the distribution of the aftershock seismicity with respect to the basin-bounding faults (Figure 5). The relocated aftershocks collapse into fault-bounding discrete zone within the Lake Van area (Figure 5), and roughly follow the local zones of increased strains associated with the faults, while other located events became more spread out. Also, more aftershocks are densely positioned along the E-part of the lake, compared to the W-part. Seismic activity is increased to the E and S of the basin, while other areas remain seismically quite. When moving W in the basin along the boundary faults, the activity decreases and fades out, showing quite areas within the basin. However, the aftershock seismicity is densely distributed and clustered between the basin-bounding faults, when moving E in the basin. These observations indicate a clear “aftershock-clustered seismicity behavior” along the basin (Figure 5). This is the basic pattern of our further analyses. However, the diffuse and asymmetric distributional pattern of aftershock events associated with the low number of stations may impose a few limitations on the resolution of the observed velocity amplitudes (Toker and Şahin, 2019); the numbers of aftershock events are very sparse and the seismicity level is low in the W and central parts of the lake, while aftershocks are densely clustered in the E and NE parts of the lake.

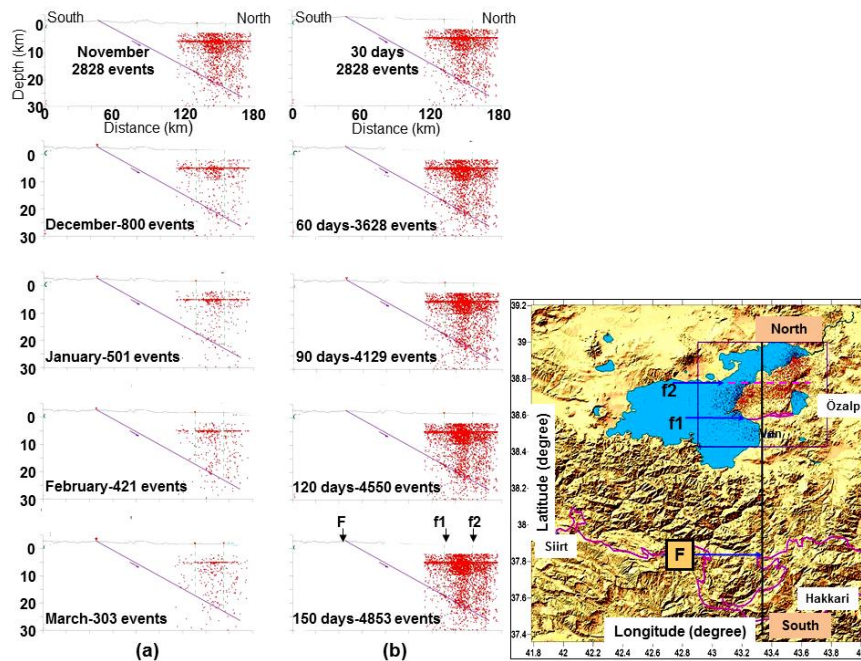
These observations are also correlated with the multi-channel seismic reflection studies in Lake Van Basin (Çukur et al., 2013; Çukur et al., 2016; Toker et al., 2017; Toker, 2017) that indicate a tectonic mobility of cold, brittle and fragmentary crustal block (see tectonic model proposed by Toker et al., 2017 for details of upper crustal deformation). This shows the clustered behavior of relocated aftershock seismic activity that almost reaches the upper elastic crust at about 10 km (Şengör et al., 1985; Dewey et al., 1986; Şengör et al., 2008; Toker et al., 2017; Toker, 2017; Toker and Şahin, 2019) and the lower crust at about 30 km (Şengör et al., 2003; Şengör et al., 2008; Toker and Şahin, 2019). The clustered behavior of seismic activity well corresponds to the depth-dependent distributional patterns of P- and S-wave velocity anomalies given in a study of Toker and Şahin, (2019) (see Toker and Şahin, 2019 for the  $V_p$ ,  $V_s$  structures and their cross-sectional profiles for depths ranging from 10 km to 30 km). The large number of data and the good ray crisscrossing in the clustered area of the lake support the reliability of the obtained velocity anomalies (Gorbatov and Kennett 2003) and their relation to the cluster.

The relocated catalog of the Lake Van study area, spanning the period November 2011–March 2014 and contains 10,000 events over three years. The depth and magnitude of the earthquakes ranged from 5 to 30 km and  $M_w$  1.5–7.1, respectively. The relocated seismicity map of the Van mainshock-aftershock sequence for magnitudes ( $M_w \geq 3.5$ ) is well constrained by the previously mapped faults in Lake Van Basin (Çukur et al., 2013; Çukur et al., 2016; Toker et al., 2017; Toker, 2017), showing a sigmoidal pattern of aftershock distribution and the rupture zone parallel to the Lake Van tectonic trend and approximately 60-65 km in length (Figure 5). During the period 23 October, 2011 through November 2011 to December 2, 2011, the Van aftershock sequence consists of about 3100 events of ( $3.5 \leq M_w \leq 6.0$ ) and the recorded events of magnitude  $M_w \geq 4.0$  were more than 100 occurred towards the north-east and south-west parts of the rupture area (Bayrak et al., 2013). These short-term records suggest that the seismic energy is mostly released in the form of moderate size aftershocks in the rupture area where large size asperities were found (Irmak et al. 2012; Bayrak et al. 2013).

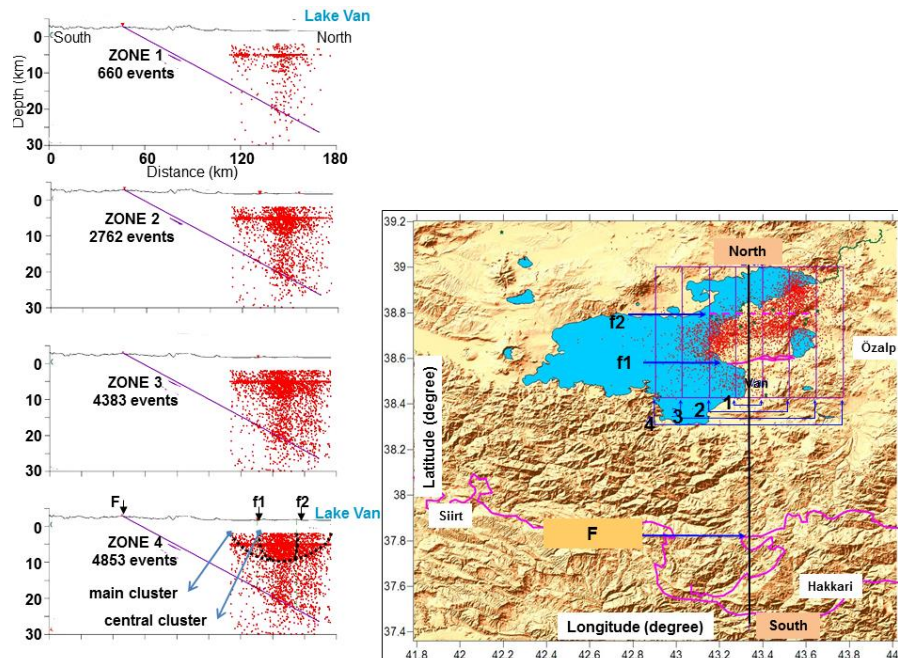
In this study, ~150 days of aftershock data (from November 2011 to March 2012) were processed and projected from the catalogue. As a result, 4,853 aftershock hypocenters, of which 2,476 had a local magnitude greater than 3.5, were retrieved (Figures 6 and 7). In Figure 8, the cross-sections show the migrational patterns of the relocated hypocenter activity over the four periods including 4853 events of March 2012 as shown in Figure 6b. In Figure 9, the cross-section is correlated to the local faults to show a complete clusteral picture of the relocated hypocenter activity including 4853 events of March 2012 as shown in Figure 6b. Then, to establish azimuth-dependent cross-sectional images of the aftershock distribution, the epicentral distribution of 10,000 events were selected for a time period from November 2011 to March 2014 (Figure 10). Finally, to plot the temporal distribution of the aftershocks and detect the temporal and spatial clustering of microseismicity, 6,135 events were selected from 282 days covering the period from October 23, 2011 to August 1, 2012 (Figures 11 and 12). Considering  $V_p$ ,  $V_s$  anomalies and their relation to the structural pattern of the cluster revealed by Toker and Şahin, (2019), generally, low  $V_p$  and  $V_s$  anomalies slightly changed to high  $V_p$  and  $V_s$  at cluster depths and were densely concentrated within the cluster at which the seismic activity was very intense with low  $V$  or low to high  $V$ .

## 5.2. Pattern recognition

The spatial and temporal patterns of the aftershock distribution associated with the observed clusters show no distinct difference between the periods of November 2011-March 2012 (Figures 6-9) and November 2011-March 2014 (Figure 10). The main difference is only related to the growing, tightening and deepening patterns of the observed clusters, showing a concentrated pattern of distribution and tightness of the relocated hypocenters. The hypocenter locations were compared to investigate the spatial and temporal variation of the seismicity in the clusters. The plotted hypocenter locations are closely and tightly spaced and clustered with the located clusters being densely concentrated. Also, the distributions of  $V_p$  and  $V_s$  were recovered down to crustal depths at which the cluster was observed. Tomographic imaging of the P-wave velocity structure beneath the cluster at depths of 4, 7, 14, and 23 km and the S-wave velocity structure at a depth of 14 km performed by Toker and Şahin, (2019) indicates velocity-dependent structural pattern of the cluster. This suggests that the velocity anomalies from the inverted P- and S-waves can be considered to be reliable within and nearby the cluster at depths of ~10 km up to ~30 km (the lower depth limit of seismicity in the main cluster at ~10 km in Figures 7-9 and at ~30 km in Figure 10). In the cross sections, the observed clusters concentrated within highly distinct spatial activity are also well constrained by the mapped basin-bounding faults (Fig. 5) (Toker and Şahin, 2019) and caused by subsurface stress perturbations closely occurred at similar and smaller spatial scales (Toker 2014; 2015). As a result, the pattern recognition of the clusters observed from aftershock relocation analyses is mainly based on the events concentration within highly distinct spatial activity and  $V_p$ ,  $V_s$  anomalies (Toker and Şahin, 2019).

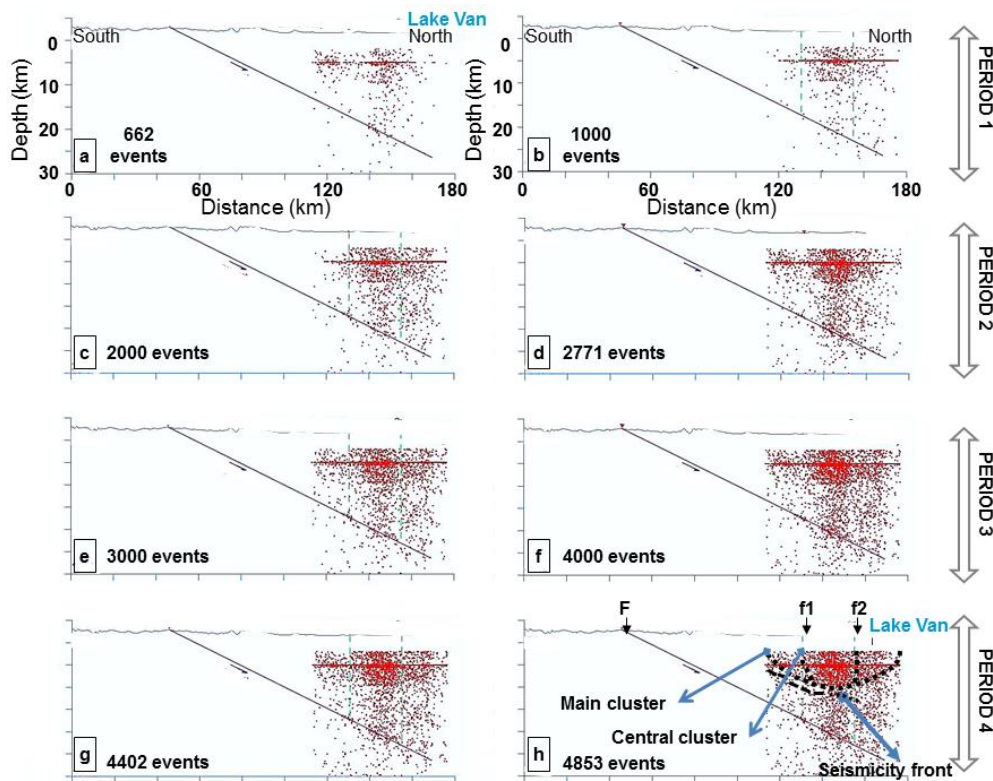


**Figure 6.** Distance versus depth plots of relocated distribution of all 4,853 aftershocks of the Van mainshock, for one month intervals from November 2011 to March 2012. The solid line labeled N-S in the map indicates the central line of the given cross-sections, and the solid square marks the 70-km-wide zone projected onto the cross-sections. Aftershocks within the squared area from the central line of the cross-section are projected onto the plane of the cross-section with the projected distance of 180 km. The red horizontal lineament of hypocenters refers to fixed hypocentral artefact. **a** Omori's law of decay of aftershocks identified as changing the aftershock events for each month over a five-month period are represented in their corresponding time windows. **b** Distance versus depth plots of distribution of the aftershocks within the time period from November 2011 to March 2012, with the cumulative numbers of the events for each month and the same representation criteria as in Figure 6a. F: the major regional thrust fault, f1: local thrust fault (Emre et al. 2011), f2: inferred local fault, local faults (f1, f2) are the landward continuations of basin-bounding faults in Lake Van (see tectonic model by Toker et al., 2017).

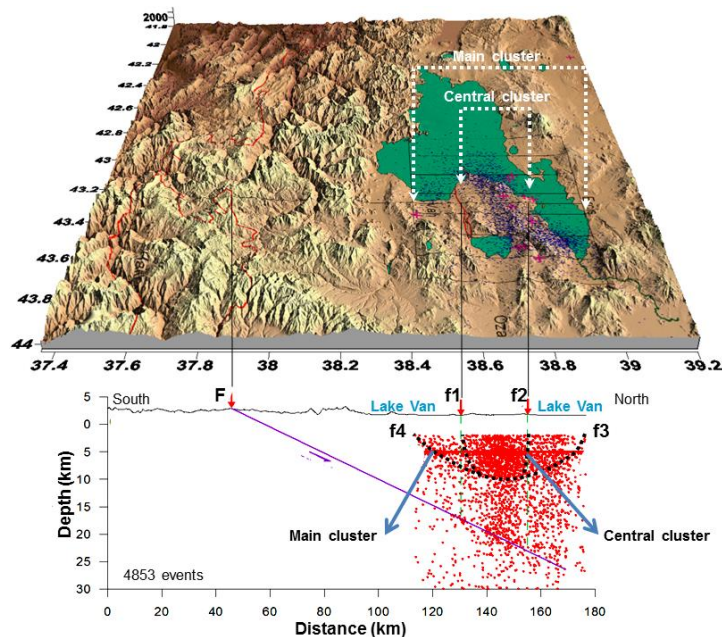


**Figure 7.** Relocated distribution of all the 4,853 aftershocks along four vertical cross-sections, with a projected distance of 180 km. The aftershocks are presented as the areal distributions from narrow to wide zones as shown in the map. The solid rectangles labeled 1, 2, 3, and 4 indicate the W-E extending zones from the central line of the cross-sections, and the solid square marks the 70-km-wide zone projected onto the cross-sections. Aftershocks within the different zones from the central line of the cross-section are projected onto the plane of the cross-section. The locations of the cross-sections and the areas within the projected distances are also shown. The red horizontal lineament of hypocenters refers to fixed hypocentral artefact. Zones 1, 2, 3, and 4 contain 660 events, 2,762, 4,383, and 4,853, respectively. The distributional pattern of aftershocks in zone 4 is the same as for March 2012 in Figure 6b. F: the major regional thrust fault, f1: local thrust fault (Emre et al. 2011), f2: inferred local fault, local faults (f1, f2) are the landward continuations of basin-bounding faults in Lake Van (see tectonic model by Toker et al., 2017).

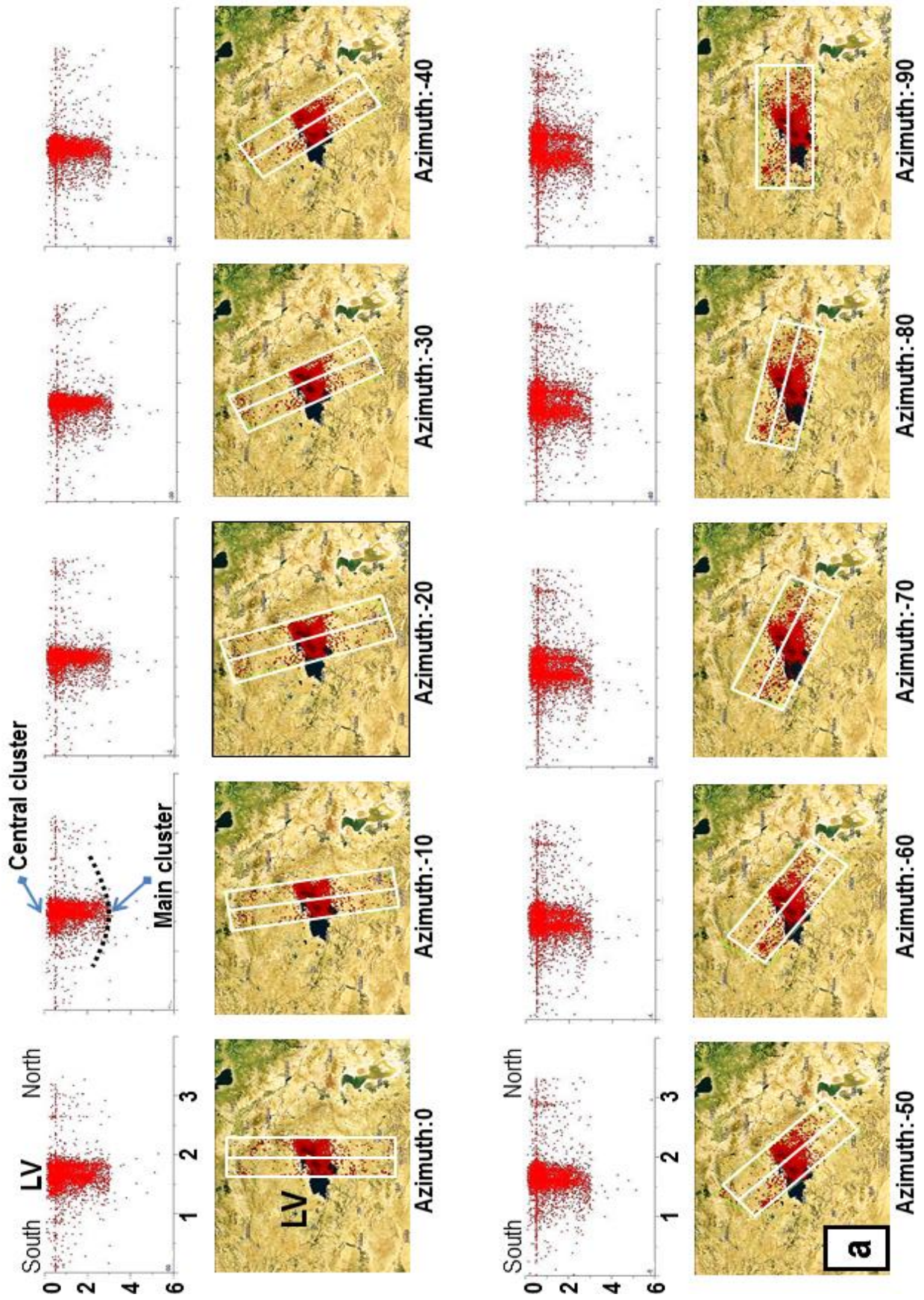


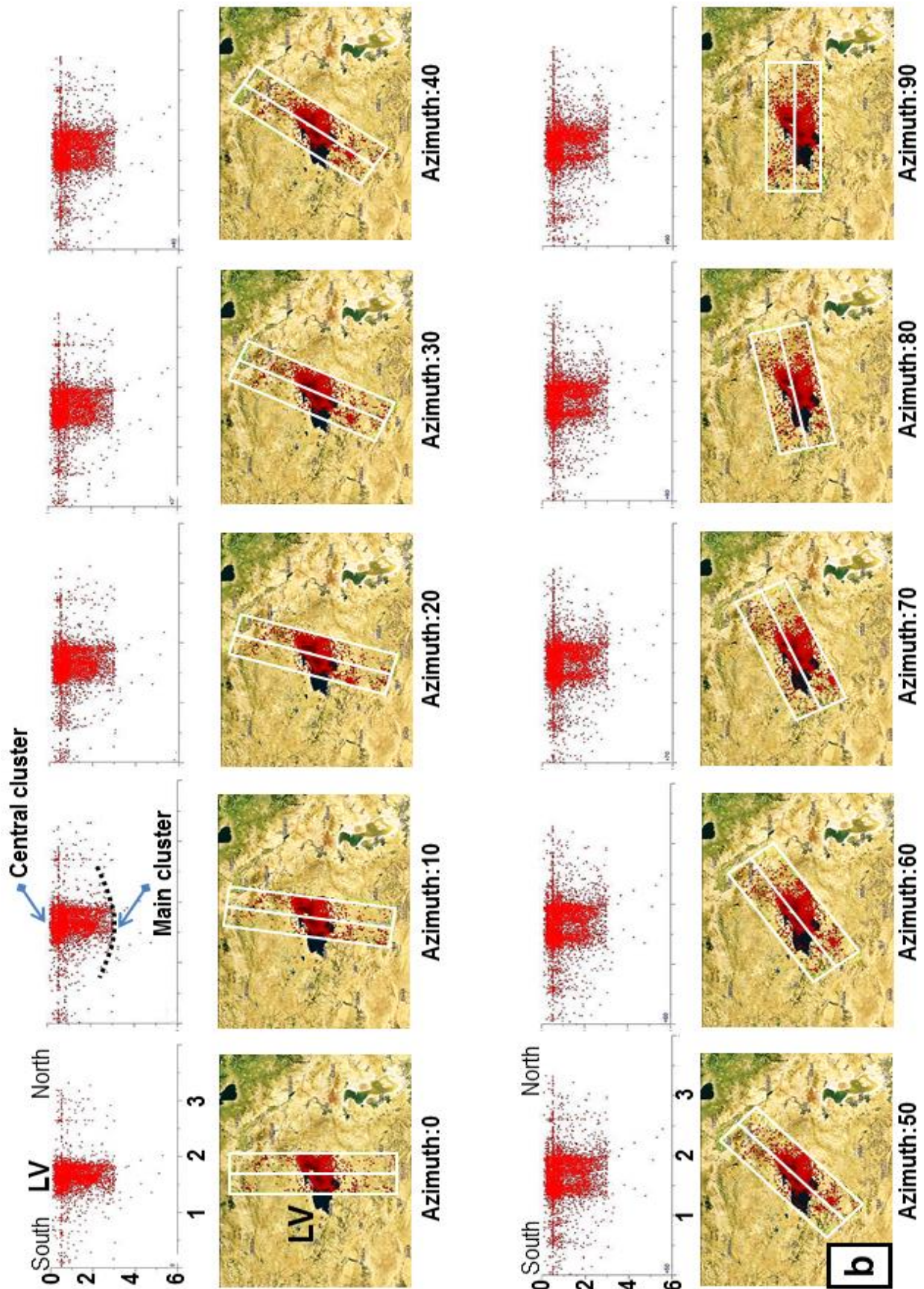


**Figure 8.** Relocated distribution of all the 4,853 aftershocks along eight vertical cross-sections, with a projected distance of 180 km. The red horizontal lineament of hypocenters refers to fixed hypocentral artefact. The hypocenter distribution of the aftershocks is subdivided into the four periods. Aftershocks within the area from the central line of the cross-section shown in Figure 6b are projected onto the plane of the cross-section, for each of the four periodic distributions. Each period shows the evolutionary distribution of the central and main clusters from periods 1 to 4 (see text for details). The distributional pattern of aftershocks in the fourth period is the same as in March 2012 in Figure 6b and zone 4 in Figure 7. F: the major regional thrust fault, f1: local thrust fault (Emre et al. 2011), f2: inferred local fault, local faults (f1, f2) are the landward continuations of basin-bounding faults in Lake Van (see tectonic model by Toker et al., 2017).

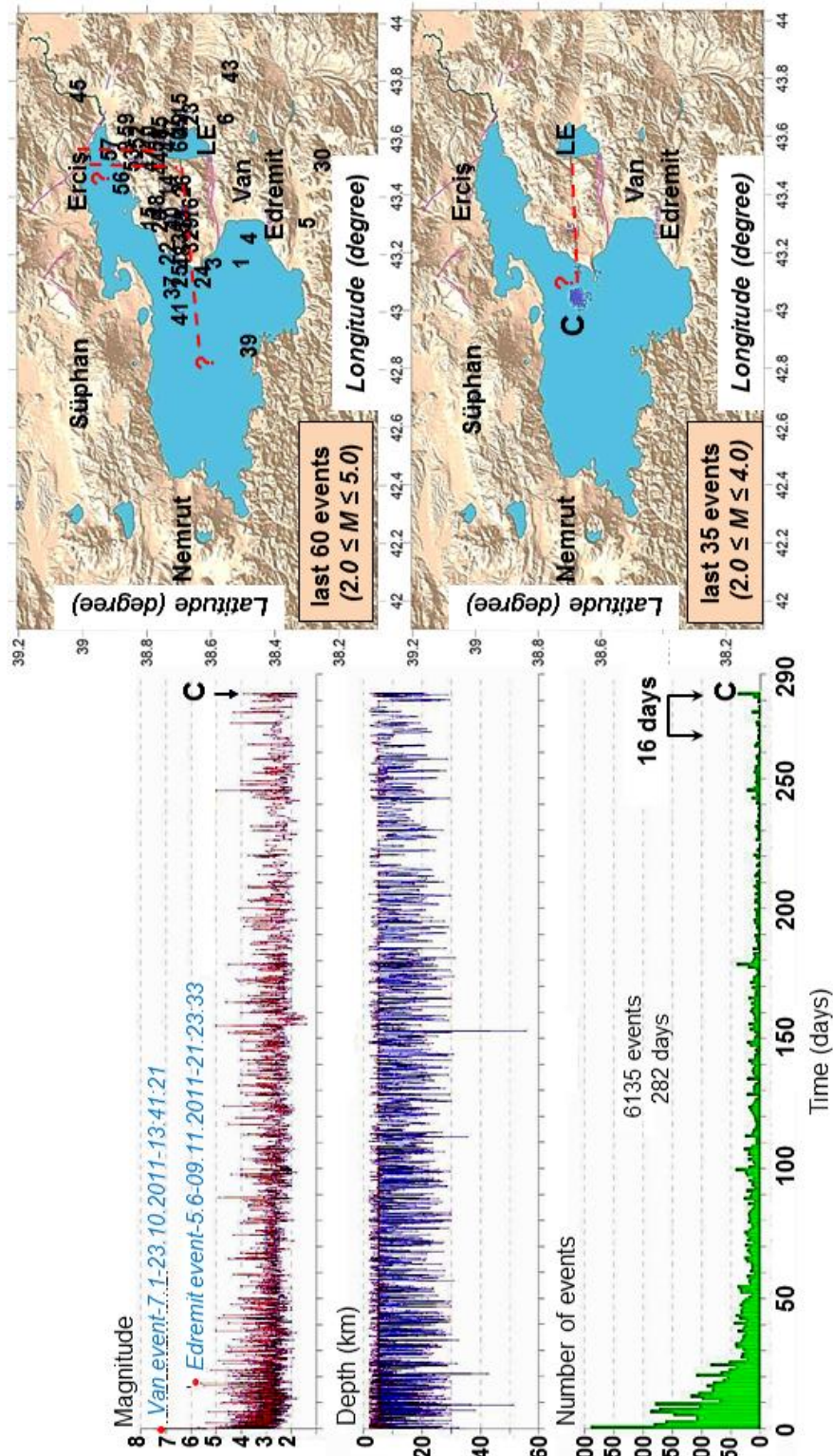


**Figure 9.** Relocated distribution of 4,853 events from all 5,088 epicenters in the shaded relief map along the vertical cross-section, with projected distance of 180 km. Aftershocks within the area from the central line of the cross-section are projected onto the plane of the cross-section. The red horizontal lineament of hypocenters refers to fixed hypocentral artefact. The distributional patterns of aftershocks and the clusters are the same as in the fourth period in Figure 8. F: the major regional thrust fault, f1: local thrust fault (Emre et al. 2011), f2: inferred local fault, f3 and f4: inferred local thrust faults, local faults (f1, f2) are the landward continuations of basin-bounding faults in Lake Van (see tectonic model by Toker et al., 2017).

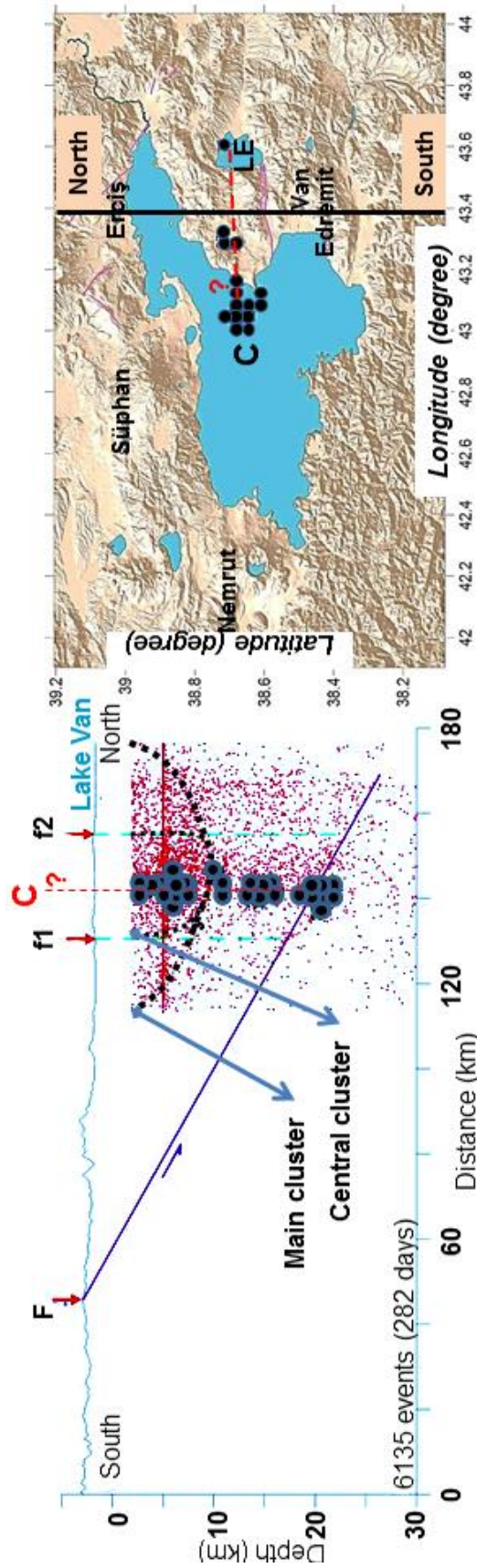




**Figure 10.** a. Azimuth-dependent, counterclockwise ( $-0^{\circ}$  to  $-90^{\circ}$ ), and b. clockwise ( $+0^{\circ}$  to  $+90^{\circ}$ ) distribution of all 10,000 aftershocks (November 2011-March 2014) along ten vertical cross-sections, with projected distances of 300 km (vertical axis is depth,  $\times 10$  km and horizontal axis is distance,  $\times 100$  km). Aftershocks (red dots) within the rectangle analysis window (white color) ( $1.0^{\circ} \times 3.0^{\circ}$ -wide zone) from the central line of the cross-section are projected onto the plane of the cross-section and presented as a function of azimuths for each cross-sectional profile. The locations of the cross-sections and the area within the projected distance of 70 km are also shown. LV: Lake Van.



**Figure 11.** Temporal distributional pattern of 6,135 aftershocks from 23 October 2011 to 1 August 2012 over 282 days with the daily seismicity rate (number of events/day), focal depths (km) and magnitudes along the rupture area. A high number of events compared to the background seismicity can be seen for particular time periods indicating the temporal clustering of earthquakes along the rupture area (see Toker 2013; 2014; 2015 for temporal clusters over the whole data). Cumulative magnitudes of aftershock distribution do not exceed the commonly observed maximum magnitudes despite the very high number of events for 282 days. The last 60 events ( $2.0 \leq M_w \leq 5.0$ ) during the last 16 days mark the most prominent sequence detected, while this sequence indicates west-east and north-south trending inferred faults and related morphologies along the rupture area (dashed red lines with question marks). On the map (top), these 60 events are relocated in numerical order according to the time of occurrence. The second microseismicity cluster (C) also detected, containing the largest number (35 events) of the last events ( $2.0 \leq M_w \leq 4.0$ ) indicating the spatial pattern of events cluster in the map. On the map (bottom), these 35 events are relocated in numerical order according to the time of occurrence. The map confirms the close spatial proximity of the microseismic events within the temporal cluster. LE: Lake Erçek.



**Figure 12.** S-N trending, depth cross-section of the microseismicity cluster (C) shown in Figure 11 indicates the vertical hypocentral distribution (black dots) with a dip angle of  $\sim 90^\circ$ . The red horizontal lineament of hypocenters refers to fixed hypocentral artefact. The map shows the spatial distribution of C consisting of 35 relocated events (black dots) (also see C in Figure 11 for location). Most events of the cluster occurred on a possible secondary fault (splay fault) close to the inferred fault (dashed red line) between f1 and f2 (central cluster). F: the major regional thrust fault, f1: local thrust fault (Emre et al., 2011), f2: inferred local fault, local faults (f1, f2) are the landward continuations of basin-bounding faults in Lake Van (see tectonic model by Toker et al., 2017), LE: Lake Erçek.

## 6. Interpretation

### 6.1. Spatial and temporal character of the 23 October 2011 aftershock sequence

This section focuses on the spatial and temporal pattern of hypocenter distribution of the October 23, 2011 Van mainshock-aftershock events, being the largest shocks of that year in the region, and on the spatial and temporal characteristics of its aftershock sequence. This section aims to shed light on the focal depth nature of aftershock seismicity and the rupture complexity of the Van event.

#### 6.1.1 Spatial and temporal distribution of aftershock hypocenters

The map depicted in Figure 5 shows the total distribution of 5088 aftershock events used in the first step of this study. Figure 5 is also the map view of seismic density of hypocenter distribution of the Van and Edremit aftershock sequences. That figure shows the sigmoid-like propagation of the rupture area corresponding to the aftershock sequences of the Van and Edremit mainshocks, with the boundary faults located around the epicenters of Van and Edremit events. The purpose of this sub-section is simply to identify the cross-sections of the aftershock hypocenters associated with the map view given in Figure 5. To obtain a spatial and temporal overview of the seismicity pattern, the focal depth distribution of the aftershock hypocenters was examined month by month within the time period of November 2011 to March 2012. The results are presented in Figures 6a and 6b.

During the first month following the October 23 Van earthquake, different and various-sized clusters of local events occurred in the focal area (Figure 6). These aftershocks can be seen to have been gradually decaying over the subsequent months in the period up to March 2012 according to Omori's law (Omori 1884), and were dying out when the second Edremit event occurred (Figure 6a). In December 2011, the second month, the overall activity decreased continuing to decrease in the third and fourth months, and virtually ceased in the fifth month reaching 303 events (Figure 6a). In the same time period, November 2011 to March 2012, the total cumulative numbers of the aftershock activity increased (Figure 6b). Figure 6a shows that activity began to subside in March 2012, even though until the end of the July, 2012 there were several more events of  $M \geq 4.0$  (Toker, 2014). The hypocentral superposition of aftershock events produced unusual seismic activity during the two last months of 2011 (Figure 6b). It appears that the Van earthquake repeatedly triggered one or more local faults in the area, and these faults in turn affected the seismicity.

In order to obtain more information from the distribution of hypocenters shown in Figure 6b to see and clarify the spatial patterns of the events distribution in detail different orientations of the focal area were tested, centering on the aftershock cloud, according to the focal mechanism given in Figure 5. The north-south trending zonal projections on the distribution of hypocenters associated with the Van event, starting with the west-east trending zonal distribution of the aftershocks for the four zones are shown in Figure 7. In this figure, the hypocenter distribution for each zone from narrow (zone 1) to wide (zone 4) indicates the first appearance of the small-sized linear clusters (zone 1) and uneven rapid concentration and densification of the event clusters (zone 2). Then, the hypocenter distribution defines a tightly consolidated and spherical (or semi-spherical) and/or parabolic pattern of the distribution (zones 3 and 4), which agrees with the distributional pattern given in Figure 6b.

#### 6.2. The focal depth distribution of aftershock clusters

In Figure 7, the hypocenters of the aftershocks form a wide 'U' letter shaped cluster (hereafter referred to as the "main cluster"). This main cluster is a half cylinder-like channel-shaped cluster located at a broadly widening (about 60 km wide) area. The main cluster has a central (and/or core) cluster that is more tightly densified. The central cluster is narrow (about 25-30 km wide) bounded by faults f1 and f2 (Figure 5) at south and north, respectively (Figure 7). The two arms of the 'U' are symmetrically dip towards each other and are of almost the same length, about 20-30 km. The mainshock is included in the central part of the main and central cluster. The hypocenters belonging to the main cluster and its surrounding area have spans of about 25 and 30 km in the strike and dip direction, concentrated well into a depth of 8-10 km. Also, the hypocenters in the southern and northern part of the main cluster seem to be located along the extension of the plane of the central cluster aftershocks down to a depth of about 8-10 km.

The distributional pattern of hypocenters at the central cluster is fault-bounded (f1 and f2) (Fig. 5) and shows strong concentration in and around the focal area (Figure 7). However, the hypocenter activity outside the main cluster area deep down is more diffuse and few evident clusters can be seen. It is difficult to image the overall shape of the hypocenter distribution at a depth of more than 10 km due to the diffused and scattered focal depth distribution and do not seem to form a systematic pattern of the hypocenter geometry (Figure 7). The aftershocks on the periphery of the rupture area (zones 3 and 4 in Figure 7) show a more diffused distribution partly due to

the off plane aftershock activity. The location of the plane of the aftershock distribution corresponds to the upper crustal seismicity. This location seems to be a good fit with the eastward and westward limit of the in-plane aftershock activity. The zonal correlation of the events distribution from narrow (zone 1) to wide (zone 4) given in Figure 7 suggests that the shape of the upper crustal block controls the spatial extent of the asperity complex of the Van earthquake.

### 6.3. Migration of hypocenter activity

As shown in Figures 6 and 7, the spatial and temporal distribution of the aftershock seismicity can be explained through distinct cluster formations. The spatial and temporal variation of seismic activity is densely complex and highly clustered, comprising a repeated formation of small and large-sized clusters over brief time periods.

To further investigate the spatial and temporal variation of hypocenter activity in the main and central clusters shown in Figure 7 the hypocentral data was divided into four periods and different numbers of events for each period were used to reveal the migration and propagation of the hypocenter activity. Figure 8 displays the hypocenter activity of the March 2012 shown in Figure 6b and the distance versus depth plots for the four time periods are shown in each figure. The four periods shown in Figure 8 indicate the positions of the hypocenter activity including 662, 1,000, 2,000, 2,771, 3,000, 4,000, 4,402, and 4,853 events, respectively. Figure 8 reveals that the seismic activity began near the peripheral parts of the main cluster with small-sized linear clusters (a) and then migrated to the center and the north and formed the first traces of the central and main clusters (b) during the first period. The activity in the northern part started to accumulate in the center (c) and then, the activity jumped to the south during the second period. In the south, many aftershock events occurred, particularly larger events with magnitudes greater than 3.5 and the central and main clusters were apparently formed (d). During the third (f and e) and fourth periods (g and h), the hypocenters were distributed across entire clusters. Thus, the central and main clusters were tightly consolidated. In Figure 8, the lower bound (seismicity front) of the main cluster increases over time, rapidly in the second period and this change in depth reaches 10-13 km. This parabolic-like envelope of the main cluster characterizes the diffusion-like front migration (g and h).

In the cross sections, the shallow and deep migration of hypocenter activity in the main and central clusters is shown in Figure 8. The hypocenters of more than 10 km seem to penetrate the deeper levels and those shallower than 10 km are located in the main and central clusters. The diffusivity is smaller inside the clusters and larger outside and towards the deeper levels. It can be inferred from the distance versus depth plots in Figure 8 that the migration and diffusivity of the hypocenter activity seems to increase over time from November 2011 to March 2012, with the maximum diffusivity recorded in November 2011, when the seismic activity had increased drastically (2,828 events shown in Figure 6b). The general periodic trend of the migration of hypocenters and diffusivity implies that the aftershock activity accelerated during the second period of seismic activity for event numbers 2,000-2,771 (Figure 8). In Figure 8, the migrational pattern of hypocenter activity indicates spatially predominantly linear to planar hypocenter distributions in the first period, but quickly changes to parabolic and then to spherical (periods 2 and 3), and a more spherical spatial pattern in the last period. This suggests that the hypocentral variation of seismicity is not unidirectional but very complex.

To interpret the main and central clusters, the hypocenters of the 4,853 events are projected on the epicenters of the 5,088 events shown in Figure 9. The aftershock hypocenters are mainly distributed in the central section of the focal area. The main cluster is interpreted to be limited by the possible reverse faults f4 and f3 in south and north, respectively, while the central cluster is bounded by faults f1 and f2 (Fig. 5). This suggests that the distributional pattern of the main and central clusters in the rupture area appears to be separated by fault-bounded crustal blocks (Fig. 5), which are initially proposed by Toker et al., (2017) and well constrained by Toker, (2017) based on the Gutenberg-Richter seismic b-values (Gutenberg and Richter, 1944).

### 6.4. The Azimuth-dependent distribution of seismic activity

The spatial and temporal distributional patterns of the aftershock hypocenters were noted in the previous sections. To investigate their seismic activity in greater detail, approximately 10,000 events were recorded in the time period from November 2011 to March 2014 (Figure 10). The epicenters and hypocenters were replotted using a rectangular-shaped analyse window ( $1.0^\circ \times 3.0^\circ$ ) to observe the azimuth-dependent changes of the aftershock seismicity projected on the distance versus depth plots. This is a very useful tool for investigating the hypocenters of events in the main and central clusters and their focal depth changes. Since the distribution of the seismic activity strongly depends on the azimuth and azimuthal rotation, and the aftershock events located within the mainshock area are considered to be representative. For comparison, the aftershocks are shown using the azimuth-dependent projections.

Counterclockwise (-) and clockwise (+) rotational projections were applied to the events with rectangular-shaped analysis window of  $1.0^\circ \times 3.0^\circ$ . Hence, the azimuth-dependent rotation of the depth versus distance plots were used with varying rotation angles. The azimuth is  $0^\circ$  for the projections trending north-south, and ranges from  $-10^\circ$  to  $-90^\circ$ , for the counterclockwise rotation shown in Figure 10a and from  $+10^\circ$  to  $+90^\circ$  for the clockwise rotation given in Figure 10b, respectively. Then, the azimuth-dependent changes of the events are projected on the depth versus distance plots and shown along the lines of ten cross-sections (Figure 10).

The overall aftershock distribution on the cross-sections shown in Figure 10 roughly corresponds to the aftershock activity on those cross-sections (Figures 6-9). Along the azimuth-dependent projections, it can be seen that most of the hypocenter activity densely occurs just beneath the mainshock area and the central and main clusters are combined into the one unique and larger cluster at a depth of 30 km (Toker and Şahin, 2019). The cluster on the projections with an azimuth of  $0^\circ$ - $40^\circ$  and  $-50^\circ$ - $90^\circ$  seems to have conical-shaped narrow and wide volumetric patterns, respectively (Figure 10a). These conical-shaped volumetric patterns of cluster seem to have the square-like widening patterns (Figure 10b). This suggests that the hypocenter activity migrates, extends down to  $\sim 25$  km, with the maximum depth being 30 km and covers the whole crustal seismicity (Toker and Şahin, 2019). Given that the average cutoff depth of  $\sim 30$  km represents the seismic base of the crust along the rupture fault system, the seismicity distribution indicates that the upper crust in the study area is brittle and seismogenic, and that the brittle-ductile transition may occur at the transition between the middle and upper crust. Since most of the aftershocks were found beneath the surface outcrops of the focal area and the basinal area of Lake Van with sparse aftershocks may represent the base of the thick sediment body.

The cross-section shown in Figure 9 is oriented south to north with  $0^\circ$  azimuth (see Figure 10). The hypocenters depicted on this cross-section show a possible convergence at depths of  $\sim 8$ - $10$  km. The projection of the central cluster onto the plane of the cross-section is located around the mainshock surface rupture in the narrow area between Lake Van and Lake Erçek (faults f1 and f2 in Figure 9). Therefore, currently the central cluster is highly active and considered to represent the deep rupture associated with the mainshock and the main cluster appears to have been activated by the pre-existing low-angle reverse faults (f3 and f4). The cluster distribution suggests that the upper crust is so inhomogeneous and complex that an earthquake rupture would be an insufficient description based solely on the distributional pattern of the hypocenter.

### 6.5. Microseismicity clusters

This sub-section further analyzes the spatial and temporal aftershock sequences occurring along secondary and/or splay faults at or along the fault-bounded (f1 and f2) central cluster shown in Figure 9. If the central cluster is currently highly active and considered to represent the deep rupture complexity, the close spatial and temporal proximity of microseismic events need to be used to improve the visual resolution of hypocenters in the central cluster. Hence, similar events were searched for using the temporal clustering procedure (Toker 2013; 2014) to locate the clustered microseismicity occurring within small volumes. Figure 11 shows the temporal distribution of aftershocks and temporal relation of the clustered events comparable to the magnitude and the focal depth versus time plots.

The temporal distribution of the aftershocks analyzed in this study consists of a total of 6135 events over 282 days (October 23, 2011-August 1, 2012) in three different plots with  $M_w > 2.0$  earthquakes occurring sequentially one after another with the duration of each day being less than 24 hrs (Figure 11). In Figure 11, the prominent temporal activity sequence contains 60 events ( $2.0 \leq M_w \leq 5.0$ ) occurring within the previous 16 days, with the strongest of the temporal activity clusters including 35 events ( $2.0 \leq M_w \leq 4.0$ ) occurring within less than 12 hrs. The last individual temporal cluster was identified and analyzed, including the last 35 events. This cluster indicates that the temporal activity of the cluster is spatially concentrated within distinct activity events (Figure 11).

As shown in Figure 11, the most prominent sequence observed along the inferred fault consists of 60 located microearthquakes all occurring within 16 days preceding 31 July 2012 and within the ruptured area between Lake Van and Lake Erçek. This sequence indicates a west-east trending morphology of the inferred fault. The observed prominent temporal cluster consisted of 35 located microearthquakes that all occurred within a time period of less than 12 hrs on 1 August 2012 and within an area of about  $2.5$ - $3.0$  km<sup>2</sup>. The epicentral alignment of the events suggests an east-west striking orientation in the map view. The strike of the aligned events with the cluster and the local trend of the ruptured area suggest a junction between the main fault branch and a splay fault at the cluster (Figure 11). For a further analysis, the hypocenters of temporal cluster were plotted on a depth section trending north-south to observe the general trend of the events as identified in Figure 11. The 35 microearthquakes are observed that all occurred at the central cluster with varying depths (Figure 12). These events are linearly aligned in the section with the activity expanding to shallower depths, the hypocentral depths of the events range from 3 to 20 km, but remain limited to a depth of 20 km, and suggest a steep dip ( $\approx 90^\circ$ ) (Figure 12). The events were



systematically spread along the plane of the section with a gradual increase of number of events during the most active part of the cluster. The largest event occurs with Mw 4.0 and the centroid of the activity then migrates to the central cluster bounded by faults f1 and f2 (Figure 12). The hypocenters define the starting point of the cluster followed by a systematic migration throughout the central and main clusters shown in Figure 9.

The linear distributional pattern of the events cluster suggests vertical migration of the aftershock activity and most probably indicates the nucleation point of the failure between f1 and f2 and the progressive failure of adjacent patches of the possible fault (Figure 12). This was initiated on the central cluster and propagates vertically into the possible fault. The temporal distribution of the aftershock magnitudes, focal depths and the number of events observed within the cluster increased and then gradually decreased. The events cluster observed in Figure 12 represent the complex behavior of the rupture process within the central cluster.

## 7. Discussion

This paper reports on a study of the structural coupling to the Van earthquake aftershock sequence with the following five aims:

**(i)** to identify the aftershock hypocenters and their spatial and temporal distributions linked to the mainshock and basin-bounding faults (f1 and f2) mapped from seismic reflection data in Lake Van Basin (Fig. 5) (Toker, 2011; Toker and Şengör, 2011; Çukur et al., 2013; Çukur et al., 2016; Toker et al., 2017; Toker, 2017);

**(ii)** to observe the aftershock clusters, their focal depth distributional patterns;

**(iii)** to understand the migration of the hypocenter activity associated with each observed cluster;

**(iv)** to determine the azimuth-dependent distribution of seismic activity; and

**(v)** to detect an individual temporal cluster of microseismicity along the ruptured area in the Lake Van region.

Our analysis of the aftershock sequence leads to the result that the observed hypocentral activity, the main and central clusters and their surrounding events show prominent patterns of the distribution. The seismic velocity structure of the main/central cluster as a function of depth was also imaged by tomographic inversion of the P and S waves (Toker and Şahin, 2019). In our study, the cross-sections showed a very distinct cluster pattern of the relocated events and the velocity-dependent structure of the main/central cluster at depths smaller than 30 km. The cluster activity was very intense along highly heterogeneous focal zone characterized by low to high P-wave and low S-wave velocity anomalies. The spatial extent of the rupture area was fault-controlled extending from Lake Van Basin (Fig. 5) and found to be almost the same as the size of the aftershock distribution (Figures 6-9). These correspondences suggest that the aftershock distribution obtained by this study reflects an exact hypocentral picture of the crustal profile of the 2011 Van event (Figure 9) and a strong coupling to basin-bounding faults of Lake Van.

### 7.1. Spatial and Temporal Character of the Aftershock Sequence

The overall pattern of the hypocenter distribution is seen to be terminated by the north- and south-trending arms of the U-shaped main cluster (Figures 7-9). This suggests that the north and south arms mark the up-dip limit of the rupture area of the mainshock. In Figure 10, the distributional pattern of the hypocenters extends more, to the deeper levels than the location of the main cluster as shown in Figures 8 and 9. This suggests that the coseismic slip distribution may be shifted compared to the previously determined hypocenter distribution. The aftershock activity may be inactive in the asperity region (e.g., the central cluster), where there is a large amount of coseismic slip (e.g., Hino et al. 2000; Scholz 2002). In the Van earthquake case, the aftershocks around the mainshock epicenter concentrated into large clusters and several areas of low seismicity may be the locations of the asperities ruptured by the mainshock (Yaginuma et al. 2005).

The northern and southern limits of the hypocenter distribution of the main cluster (Figures 7-9), which are interpreted as the northern and southern limits of the rupture area of the Van earthquake, correspond to the upper crustal-block seismicity in eastern Anatolia (see Şengör et al. 1985; Dewey et al. 1986; Şengör et al. 2008; Toker et al., 2017 for crustal flake tectonics). The rupture propagation of the Van earthquake may be terminated by possible crustal fault planes (f3 and f4) located about 8-10 km up-dip of the hypocenter (Figure 9). This termination of the rupture propagation may have been caused by the reduction of the stress at the tips of growing faults by the seismic deformation spread over a broad zone, as shown in Figure 10 (King and Nablek 1985). It can be suggested that the intraplate crustal seismicity (Toker, 2013) is activated along the west-east trending southern and

northern arms of the main and central clusters (compare Figure 9 with Figure 10) as the result of the rupture termination process.

Toker (2015) reanalyzed seismic network data to compare the distributional pattern of the 4853 aftershocks (see Figures 6-9) with the 10,000 aftershocks (Figure 10) and the background seismicity pattern (Toker 2014). This comparison indicates that the positions of the active aftershock seismicity show spatial and temporal variations. That is, the positions of hypocenters and the overall geometric patterns of the clusters show the azimuth-dependent spatial variations along the distance versus depth plots (Figure 10). This may suggest seismic coupling and its spatial variations thus, implying that this seismic coupling is strongly controlled by the persistent temporal and spatial clusteral nature of the Van event, such as structural heterogeneities, irregular strain accumulations, slip defects along or in the intraplate setting (Toker 2014; 2015). This reveals that the hypocenter distribution of the aftershock activity strongly reflects the spatial and temporal variation of the intraplate seismic coupling (Toker 2014).

The spatial and temporal clustering of microseismicity is also detected along the ruptured area in the Lake Van area (Figures 11 and 12). The hypocenter distribution of a single individual cluster represents an upward migration of microseismicity on an evolving subsidiary fault (Figure 12). The west-east trending fault morphology hosting cluster shown in Figure 11 forms part of the evolving fault network in the rupture area where the spatial and temporal distribution of the events are densely concentrated (Toker, 2017). The temporal clusters are associated with the earthquake sequences and frequently represent progressive failure of adjacent fault patches along planes of activity (Toker 2013; 2014). These clusters are interpreted to represent repeated failure on the same source patch and considered to be hosted within the complex fault structures under non-uniform stress fields (Ben-Zion 2008; Toker 2013; 2014). This indicates that the spatial and temporal pattern of the events is associated with the currently active faults that display similar kinematics throughout the ruptured area (Çukur et al., 2016; Toker et al., 2017; Toker, 2017). This consists of a complex network of fault instabilities and/or patches connecting fluid-filled extensional cracks and/or fractures (Hill 1977), assuming that the nature of seismic deformation energy released was in a discrete form of spatial and temporal distribution of the aftershocks in and around the ruptured area (Toker 2014). This offers evidence of the temporal and spatial density of microseismicity clusters under the ruptured area, associated with discrete form of events due to the presence of disordered fault zones and high fracture density in the seismogenic crust (Bayrak et al., 2013; Toker 2013; 2015; 2017).

## 7.2. Structural coupling to the rupture complexity of the Van earthquake

The analyses, in this paper, of the structural coupling to the Van aftershock sequence are often associated with mapped faults in the Lake Van Basin (Fig. 5) (Toker, 2011; Toker and Şengör, 2011; Çukur et al., 2013; Çukur et al., 2016; Görür et al., 2015; Özalp et al., 2016; Toker et al., 2017; Toker, 2017). The joint interpretation of aftershock sequence and seismic reflection profiles reveals the lateral and vertical heterogeneity of the fault-controlled aftershock distribution and along-strike seismic activity in crust within the rupture area. This suggests that the Van earthquake rupture process at crustal depths was not a simple frictional slip failure on the pre-existing, weak fault systems, but a more complex process that involved the fracturing of strong rock blocks (Bayrak et al., 2013; Toker, 2017). This means that the rupture area of the Van event is a fault-bounded fragmentation barrier (see Toker, 2017 for details). Such a local strong area (e.g., large asperity and/or barrier) is highly resistant to rupture growth on a fault and this area plays a more important role in determining the size of an earthquake than the remainder (e.g., aseismic slip and/or relaxation barrier as proposed by Toker, 2017) of the fault plane, which has little resistance to rupture growth (Ohnaka and Kato 2007; An et al. 2010). Moreover, hypocenters and their distributional patterns (e.g., the migration, diffusion, scattering and clusters) are also the consequence of stress redistribution related to the mainshock, occurring as failure along smaller fault asperities (Toker, 2017). Aftershocks involve lower stress values than the mainshock and thus, may occur at greater depths and over wider areas than the mainshock (Strehlau, 1986). In the present case, most of the aftershock hypocenters rapidly occurred and formed the clusters beneath the mainshock area, where the portion of the upper crust consists of the thrust slices with volcanic materials (Şengör et al. 2003; 2008; Toker et al., 2017; Toker, 2017) and may contain asperities and barriers (Toker 2014). This may explain the spatial and temporal heterogeneity of the aftershock seismicity.

The anomalous distribution of larger aftershock activity after the Van mainshock also showed a triggered pattern of multi-clusteral events ( $M_w \geq 4.0$ ) and extreme heterogeneity of the faulting in the rupture area (Toker 2013; 2014; 2015), supported by the large size asperities in the rupture zone of the mainshock (Irmak et al. 2012; Koçyiğit 2012). The short and long-term temporal activity of distinct clusters defined by Toker (2013; 2014) permits a better understanding of the rupture process in the local-scale seismicity along the ruptured area. Thus, the epicentral pattern of sequential events and hypocenters of microseismicity clusters supply important

information by providing clues to the ruptured area (e.g., fracture, crack and permeability identification). The spatial and temporal distribution of microearthquakes and their systematic migration within individual clusters during the progressive failure of neighboring fault patches may define the simple picture of individual fault patches. Hence, the temporal pattern of seismic sequences observed in the ruptured area may suggest a progressive failure process on adjacent fault patches.

Considering the above results, the structural coupling of the Van aftershock sequence is that the 2011 Van mainshock strongly triggered later events associated with a system of crustal faults along the accretionary wedge complex of Eastern Anatolia, and at the same time some crustal faults were activated reciprocally and new events were induced in the focal area. For example, the second destructive earthquake of Mw 5.6 (Edremit event) on November 9 was located on one of these faults, which probably had sufficient accumulated energy, and the stress storage derived from the adjustment of the tractions after October 23 acted as a trigger. The Van mainshock-aftershock sequence indicates the conditions under which aftershock events may interact with the other events (e.g., Edremit aftershock sequence) to repeat or renew the interactions of events (Toker 2013, 2014). The superposition of both the mainshocks within such a short interval of time with the respective aftershock sequences produced an intense spatial and temporal period of seismic activity that did not decay according to known simple laws.

### 7.3. Implications for the damaged area in and around Lake Van

The structural coupling of the Van aftershock sequence associated with the mapped faults in Lake Van Basin reveals an increasing damage pattern with internal damage zones in the Lake Van area. The highly damaged rheology caused by the Van earthquake in multiple zones with a variable density of cracks/fractures/secondary smaller faults manifested as activated fields of intraplate stress heterogeneity (Toker 2013), reduced elastic moduli and increased dilatancy and anisotropy. These zones produced locally varying focal mechanisms and a high variance of the stress fields (Bayrak et al. 2013; Acarel et al., 2014; Gori et al., 2014; Toker 2014).

The post-seismic hypocentral behavior of the Van aftershock sequence also exhibits distinct patterns of clusters and anisotropy in the distribution and redistribution of stresses over space and time (Altiner et al. 2013; Toker 2013; Mackenzie et al., 2016). The damaged area from the Van event had a distinct asymmetric aftershock response to loading under heterogeneous stress conditions and clusters (also with decluster, quiescence and power-law truncation of events) during the loading-unloading intervals (Toker 2013). This was mainly due to a higher energy dissipation associated with the creation and activation of new small faults, microcracks and fractures (increasing damage) and the inelastic deformation of the internal damage zones (Ben-Zion 2008). These results imply that the asymmetry of the aftershock response to seismic deformation (damaged area) became extreme and strongly anisotropic across a wide range of size scales of the damage in the Lake Van area (Ben-Zion 2008; Toker 2013; 2014). This requires a view of the discrete framework commonly used in a statistical mechanics approach (Ben-Zion, 2008). The post-seismic hypocentral behavior of the Van aftershock sequence is, in fact, similar to the readjustment of crustal stresses (Khilyuk et al. 2000) in intraplate accretionary orogens (Şengör et al. 2003; 2008). This supports the argument that the real cause of the anomalous occurrence and distribution of aftershocks and their hypocenters may be anisotropic stress transfer and the rapid dynamic redistribution of stresses rather than the gradual static increase (Khilyuk et al. 2000; Ben-Zion 2008). This assumes a discrete structural model of the seismogenetic crust and suggests a dynamic origin of the 2011 Van mainshock-aftershock generation rather than the static concept of accumulated stresses (Toker 2014).

Previous studies of the 2011 Van event reported the heterogeneous stress and strain regimes in and around the focal area, however, they did not reveal how the seismic activity and related stress regime changed spatially and temporally. Several shallow faults observed in the field slipped for days and weeks after the mainshock. These shallower faults in the crust now have increased stress and were reported to have been triggered from the dynamic and static stress changes of the mainshock (Fielding et al. 2013). It can be postulated that spatial and temporal variations of the Van aftershock sequence, representing dynamical characteristics in the distribution of the spatial hypocenter locations of events, are related to changes in the high stress regimes. Our results show that the observed spatial and temporal variations in the seismicity are most likely due to significant changes in the local stress regime over an 3-year period, ranging from reverse-thrust faulting (fractures closing) via a strike-slip regime and finally to extensional faulting (fractures opening) (Irmak et al., 2012; Çukur et al., 2016; Toker et al., 2017; Toker, 2017). Although large scale geophysical studies surrounding the study area document seismic velocity variations in heterogeneous crust (Çinar and Alkan, 2017; Alkan et al., 2020), anomalous low resistivity through upper crustal complexity (Turkoğlu et al., 2008; 2015) and slab detachment and break off activity beneath the Lake Van area (Zor et al., 2003; Zor, 2008), the detailed origins of these changes are not clear yet however, these results are critical for forthcoming large earthquakes and seismotectonics of E-Anatolia.

## 8. Conclusions

This analysis of the structural coupling to the 2011 Van earthquake aftershock sequence leads to the main conclusion that the observed hypocentral activity, the main and central clusters and their surrounding events show distinct distributional patterns of the rupture complexity of aftershock sequence. The aftershock distribution and its size reflect the spatial extent of the rupture area and offer an exact hypocentral picture of the crustal profile of the 2011 Van event.

The overall distribution of hypocenters is concentrated around the mainshock hypocenter and forms two prominent clusters consisting of the central and main clusters. The main cluster bounded by possible reverse faults f4 and f3 seems to have been activated by the pre-existing low-angle reverse faults, while the central cluster bounded by faults f1 and f2 is currently highly active. The distributional pattern of both clusters in the rupture area appears to be separated by fault-bounded crustal blocks, representing the deep rupture. The migrational patterns of the hypocenter distribution indicate predominantly spatially linear to planar hypocenter distributions in the first period, but quickly change to parabolic and then to spherical, acquiring a more spherical spatial pattern in the last period. The location of the plane of aftershock distribution corresponds to the upper crustal seismicity and the zonal correlation of hypocenter distribution from narrow to wide suggests that the shape of the upper crustal block controls the spatial extent of the asperity complex of the Van earthquake. The spatial and temporal distribution of aftershock sequence with the observed clusters suggests that the hypocentral variation of seismic activity is not unidirectional but very complex and highly clustered, consisting of the repeated formation of small and large-sized clusters over brief time periods.

The most dense hypocenter activity occurs just beneath the mainshock area along the azimuth-dependent rotational projections. Only one, unique and larger cluster is observed in the projections at 30 km depth. Depending on the azimuthal rotations, the distributional pattern of this cluster ranges from the conical-shaped to the square-like narrow and widening volumetric patterns and covers the whole crustal seismicity. An individual temporal cluster of microseismicity and its spatial distribution can be observed in the rupture area. The spatial and temporal distributional pattern of each microseismicity cluster represents the vertical migration of the aftershock activity on an evolving subsidiary fault and indicates the nucleation point of the failure between faults (f1 and f2) and the progressive failure of adjacent patches of the possible fault. The west-east trending fault morphology hosting cluster forms part of the evolving fault network in the rupture area. This cluster suggests the complex faulting behavior of the rupture process both within and through the central cluster.

The results from the current study show that the observed spatial and temporal variations of the Van aftershock sequence represent dynamic characteristics in the distribution of the spatial hypocenter locations of events and related to significant changes in the local stress regime over an 3-year period. This indicates a rapid dynamic redistribution of stresses rather than their gradual static increase, suggesting the azimuth-dependent spatial variations of the intraplate seismic coupling along the distance versus the depth plots and anisotropic stress transfer through the occurring events. This study provides valuable insight into the structural interaction of the Van aftershock events at various scales comparable to, or better than the earthquake source dimensions. Hence, this analysis of the structural characteristics of the 2011 Van mainshock might give a clue to understanding the seismogenesis in the area; however, this approach to the Van rupture complexity is still lacking in terms of various stress and strain sources. To improve our study, a promising approach is to undertake a high-resolution spatial analysis of a much larger number of different events and clusters including strike-slip aftershocks and volcano-magmatic (e.g., swarm) activities.

## Acknowledgement

The author thanks all the members of the Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI, Turkey) for providing the continuous seismological data (DDA catalogue and Sfile documents) used in this study. The author is also grateful to; Prof. Dr. Ali Pınar (Boğaziçi University, KOERI, Turkey), Prof. Dr. Şakir Şahin (Suleyman Demirel University, Turkey), Prof. Dr. Esa Turunen, Prof. Dr. Elena Kozlovskaya (University of Oulu, Sodankylä Geophysical Observatory, Finland) for help in providing the opportunity to use the earthquake data, the depth-dependent  $V_p$ ,  $V_s$  anomalies and the seismological laboratory, Prof. Dr. G. Berkan Ecevitoglu for providing the aftershock data monitoring FORTRAN code and commenting on concluding remarks of this study. The author offers sincere thanks to Prof. Dr. Sebastian Krastel (Kiel, Germany), the leader of the Lake Van Project seismic survey, for providing the multi-channel seismic reflection profiles (International Continental Drilling Program, ICDP-PaleoVan Project-2004 funded by Deutsche Forschungsgemeinschaft collected from Lake Van basin. Also, the author offers his greatest thanks to the editors and the two anonymous reviewers for their constructive comments and suggestions which helped improve the manuscript. Some of the figures were generated by the

Generic Mapping Tools (GMT) code developed by Wessel and Smith (1998). Basemap images for the Figure 1 were produced by Landsat/Copernicus © 2016 Google, © 2016 Basarsoft, and © 2018 GeoBasis-DE/BKG (© 2009), Google Maps API and © 2018 Google Earth, Mapa GISrael, ORION-ME.

## Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

## References

- Acarel, D., Bulut, F., Bohnhoff, M., Kartal, R., (2014) Coseismic velocity change associated with the 2011 Van earthquake (Mw 7.1): crustal response to a major event. *Geophys. Res. Lett.* 41.
- Alkan, H., Çınar, H., Oreshin, S., (2020) Lake Van (Southeastern Turkey) Experiment: Receiver Function Analyses of Lithospheric Structure from Teleseismic Observations, *Pure and Applied Geophysics*, doi:10.1007/s00024-020-02447-7.
- Altiner Y, Söhne W, Güney C, Perlt J, Wang R, Muzli M (2013) A geodetic study of the 23 October 2011 Van, Turkey earthquake. *Tectonophysics* 588:118-134. doi.org/10.1016/j.tecto.2012.12.005.
- An M, Feng M, Long C (2010) Deep ruptures around the hypocenter of the 12 May 2008 Wenchuan earthquake deduced from aftershock observations. *Tectonophysics* 491:96-104. doi:10.1016/j.tecto.2009.12.024
- Baisch S, Ceranna L, Harjes H-P (2008) Earthquake cluster: what can we learn from waveform similarity? *Bull. Seismol. Soc. Am.* 98(6):2806-2814
- Bayrak Y, Yadav RBS, Kalafat D, Tsapanos TM, Çınar H, Singh AP, Bayrak E, Yılmaz Ş, Öcal F, Koravos G (2013) Seismogenesis and earthquake triggering during the Van (Turkey) 2011 seismic sequence. *Tectonophysics* 601:163-176. doi:10.1016/j.tecto.2013.05.008
- Benito B, Cepeda JM, Martinez Diaz JJ (2004) Analysis of the spatial and temporal distribution of the 2001 earthquakes in El Salvador. In: Rose WI, Bommer JJ, López DL, Carr MJ, Major JJ (eds) *Natural hazards in El Salvador*. The Geological Society of America Special Paper 375. Boulder, Colorado
- Ben-Zion Y (2008) Collective behavior of earthquakes and faults: Continuum-discrete transitions, progressive evolutionary changes, and different dynamic regimes. *Reviews of Geophysics*. doi:10.1029/2008RG000260
- Çınar, H. and Alkan, H., (2017) Crustal S-wave structure around the Lake Van region (eastern Turkey) from interstation Rayleigh wave phase velocity analyses, *Turkish J. Earth Sci.*, 26: 73-90. doi:10.3906/yer-1605-13.
- Çukur D, Krastel S, Demirel-Schluter F, Demirbağ E, Imren C, Nissen F, Toker M, PaleoVan-Working Group (2013) Sedimentary evolution of Lake Van (Eastern Turkey) reconstructed from high-resolution seismic investigations. *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch)* 102:571-585. doi:10.1007/s00531-012-0816-x
- Çukur, D., Krastel, S., Tomonaga, Y., Schmincke, H.-U., Sumita, M., Meydan, A.F., Çağatay, M.N., Toker, M., Kim, S.-P., Kong, G.-S. & Horozal, S., (2016) Structural characteristics of the Lake Van Basin, Eastern Turkey, from high-resolution seismic reflection profiles and multibeam echosounder data: Geologic and tectonic implications, *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch)*, 106, 239-253.
- Dewey JF, Hempton MR, Kidd WSF, Şaroğlu F, Şengör AMC (1986) Shortening of continental lithosphere: The neotectonics of Eastern Anatolia-a young collision. In: Coward MP, Ries AC (eds) *Collision tectonics*. Geological Society Special Publications, vol. 19. London, pp. 3-36
- Doğan B, Karakaş A (2013), Geometry of co-seismic surface ruptures and tectonic meaning of the 23 October 2011 Mw 7.1 Van earthquake (East Anatolian Region, Turkey). *J. Struct. Geol.* 46:99-114
- Doğan U, Demir DÖ, Çakır Z, Ergintav S, Ozener H, Akoğlu AM, Nalbant SS, Reilinger R (2014) Postseismic deformation following the Mw 7.2, 23 October 2011 Van earthquake (Turkey): Evidence for aseismic fault reactivation. *Geophys. Res. Lett.* 41:2334-2341. doi:10.1002/2014GL059291
- Elliott JR, Copley AC, Holley R, Scharer K, Parsons B (2013) The 2011 Mw 7.1 Van (eastern Turkey) earthquake. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 118:1-19. doi:10.1002/jgrb.50117
- Emre O, Duman TY, Ozalp S, Elmacı H (2011) 23 Ekim 2011 Van depremi saha gözlemleri ve kaynak faya ilişkin on değerlendirmeler. MTA Jeoloji Etütler Dairesi. Ankara
- Fielding EJ, Lundgren PR, Taymaz T, Yolsal-Çevikbilen S, Owen SE (2013) Fault-Slip source models for the 2011 M 7.1 Van Earthquake in Turkey from SAR Interferometry, Pixel Offset Tracking, GPS, and Seismic Waveform Analysis. *Seismological Research Letters* 84(4):579-593. doi: 10.1785/0220120164
- Gorbatov A, Kennett BLN (2003) Joint bulk-sound and shear tomography for western Pacific subduction zones. *Earth Planet Sci Lett* 210:527-543
- Gori, P.D., Akinci, A., Lucente, F.P., Kılıç, T., (2014), Spatial and Temporal Variations of Aftershock Activity of the 23 October 2011  $M_w$  7.1 Van, Turkey, Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*; 104 (2): 913-930. doi: https://doi.org/10.1785/0120130118
- Görür N, Çağatay MN, Zabcı C, Sakıncı M, Akkök R, Hande Ş, Örcen S (2015) The Late Quaternary Tectono-stratigraphic Evolution of the Lake Van, Turkey. *Bull. Min. Res. Exp.* 151:1-46
- Gutenberg B, Richter CF (1944) Frequency of earthquakes in California. *Frequency of earthquakes in California*. Bulletin Seismological Society of America; 34 : 185-188.
- Gülen L, Pınar A, Kalafat D, Özel N, Horasan G, Yılmaz M, Işıkkara AM (2002) Surface fault breaks, aftershocks distribution, and rupture process of the 17 August-1999 Izmit, Turkey, earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America* 92:230-244.
- Harris RA, Simpson RW, Reasenber PA (1995) Influence of static stress changes on earthquake locations in southern California. *Nature* 375:221-224
- Hill DP (1977) A model for earthquake swarms. *J. Geophys. Res.* 82:347-352

- Hino R, Ito S, Shiobara H, Shimamura H, Sato T, Kanazawa T, Kasahara J, Hasegawa A (2000) Aftershock distribution of the 1994 Sanriku-oki earthquake (Mw 7.7) revealed by ocean bottom seismographic observation. *J. Geophys. Res.* 105:21697-21710
- Irmak TS, Doğan B, Karakaş A (2012) Source mechanism of the 23 October 603 2011 Van (Turkey) earthquake (Mw = 7.1) and aftershocks with its tectonic implications. *Earth Planets Space* doi:10.5047/eps.2012.05.002
- Kalafat D, Kekovalı K, Akkovalı F, Ögütçü Z (2013) Source mechanism and stress analysis of 23 October 2011 Van Earthquake (Mw=7.1) and aftershocks. *J Seismol.* 18:371-384. doi:10.1007/s10950-013-9413-0
- Kalafat D, Gürbüz C, Üçer SB (1987) Batı Türkiye’de Kabuk ve Üst Manto Yapısının Araştırılması. *Deprem Araştırma Bülteni Sayı 59: 43-64* (in Turkish)
- Karakaş A, Coruk Ö, Doğan B (2013) Engineering geologic assessment of the slope movements and liquefaction failures of the 23 October 2011 Van earthquake (Mw = 7.2). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13:1113-1126. doi:10.5194/nhess-13-1113-2013
- Ketin I (1977) A short explanation about the results of observations made in the region between Lake Van and Iranian border. *Bulletin of Geological Society of Turkey* 20:79-85
- Khilyuk LF, Chilinger GV, Robertson JO, Endres B (2000) Gas migration: Events preceding earthquakes. Gulf Publishing Company Press, USA
- King G, Nablek J (1985) Role of fault bends in the initiation and termination of earthquake rupture. *Science* 228:984-987
- King GCP, Stein RS, Lin J (1994) Static stress changes and the triggering of earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America* 84:935-953
- Koçyiğit A (2012) New field and seismic data about the intraplate strike-slip deformation in Van region, East Anatolian plateau, E. Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* 62:586-605. doi:10.1016/j.jseaes.2012.11.008
- KOERI (2011-2014) Boğaziçi University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute. <http://www.koeri.boun.edu.tr/>
- Kutoğlu HS, Toker M, Mekik C (2016) The 3-D Strain patterns in Turkey using Geodetic velocity fields from the RTK-CORS (TR) Network. *Journal of African Earth Sciences* 115:246-270. doi:10.1016/j.jafrearsci.2015.12.002
- Lee WHK, Lahr JC (1972) HYP071: a computer program for determining hypocenter, magnitude and first-motion pattern of local earthquakes, U.S. Geological survey open-file report, pp. 100
- Lee WHK, Valdes CM (1985) HYP071PC: A Personal Computer Version of the HYP071 Earthquake Location Program, USGS, Open File Report, pp. 1-28
- Mackenzie, D., Elliott, J.R., Altunel, E., Walker, R.T., Kurban, Y.C., Schwenninger, J.-L., and Parsons, B., (2016), Seismotectonics and rupture process of the Mw 7.1, 2011 Van reverse-faulting earthquake, eastern Turkey, and implications for hazard in regions of distributed shortening, *Geophysical Journal International*, 10.1093/gji/ggw158, **206**, 1, 501-524.
- Moro M, Cannelli V, Chini M, Bignami C, Melini D, Stramondo S, Saroli M, Picchiani M, Kyriakopoulos C, Brunori CA (2014) The October 23, 2011, Van (Turkey) earthquake and its relationship with neighbouring structures. *Sci. Rep.* doi:10.1038/srep03959
- Ohnaka M, Kato A (2007) Depth dependence of constitutive law parameters for shear failure of rock at local strong areas on faults in the seismogenic crust. *J. Geophys. Res.* doi: 10.1029/2006JB004260
- Omori F (1884) On the aftershocks of earthquakes. *Journal College of Sciences, Imperial University* 7:111-200
- Özalp, S., Aydemir, B.S., Olgun, Ş., Şimşek, B., Elmacı, H., Evren, M., Emre, Ö., Aydın, M.B., Kurtuluş, O., Öcal, F., Can, A.Z., Yanmaz, M.N., Apa, R. & Duman, T.Y., (2016) Tectonic deformations in the quaternary deposits of the Lake Van (Edremit Bay), Eastern Anatolia, Turkey, *Bull. Min. Res. Exp.*, 153.
- Reasenber P, Simpson R (1992) Response of regional seismicity to the static stress change produced by Loma Prieta Earthquake. *Science* 255:1687-1690
- Salah, M.K., Şahin, Ş., Aydın, U., 2011. Seismic velocity and Poisson’s ratio tomography of the crust beneath East Anatolia. *Journal of Asian Earth Sciences* 40 (2011) 746-761. doi:10.1016/j.jseaes.2010.10.021.
- Salah, M.K., Şahin, Ş., Destici, C., 2007. Seismic velocity and Poisson’s ratio tomography of the crust beneath southwest Anatolia: an insight into the occurrence of large earthquakes. *Journal of Seismology* 11, 415-432. doi:10.1007/s10950-007-9062-2.
- Scholz CH (2002) *The mechanics of earthquakes and faulting*, 2nd edn. Cambridge University Press, Cambridge
- Şengör AMC, Görür N, Şaroğlu F (1985) Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape. Turkey as a case study in Strike-slip faulting and basin formation. In: Biddle KT, Christie-Blick N (eds) *Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation*. Special Publication of Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, vol. 37. Tulsa, Oklahoma, pp 227-264
- Şengör AMC, Özeren MS, Genç C, Zor E (2003) East Anatolian high plateau as a mantle-supported, north-south shortened domal structure. *Geophysical Research Letters* 30(24):8045. doi:10.1029/2003GL017858
- Şengör AMC, Özeren MS, Keskin M, Sakıncı M, Özbakır AD, Kayan İ (2008) Eastern Turkish high plateau as a small Turkic-type orogen: Implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic-type orogens. *Earth-Science Reviews* 90(1-2):1-48
- Stein RS (1999) The role of stress transfer in earthquake recurrence. *Nature* 402:605-609
- Stein RS, Lisowski M (1983) The Homestead Valley earthquake sequence, California: Control of aftershocks and postseismic deformations. *Journal Geophysical Research* 88: 6477-6490
- Strehlau J (1986) A discussion of the depth extent of rupture in large continental earthquakes. In: Das S, Boatwright J, Scholz CH (eds) *Earthquake source mechanics*. American Geophysical Union, Washington, pp 131-145
- Toker M (2011) *Tectonic and magmatic structure of Lake Van basin and its structural evolution, Eastern Anatolia Accretionary Complex (EAAC), E-Turkey*. PhD thesis, Istanbul Technical University
- Toker, M., Şahin, Ş. (2019). Crustal Poisson’s ratio tomography and velocity modeling across tectono-magmatic lake regions of Eastern Anatolia (Turkey): New geophysical constraints for crustal tectonics, *Journal of Geodynamics*, 131, 101651, 1-28.
- Toker M, Şengör AMC (2011) Van Gölü havzasının temel yapısal unsurları, tektonik ve sedimanter evrimi. *Doğu Türkiye İTÜ Dergisi/D, Mühendislik* 10(4):119-130.

- Toker M, Ecevitoglu GB (2012a) Van Gölü havzasının tektonik ve sismolojik özellikleri (6000 artçı deprem ve 180 günlük sismolojik ve sismotektonik modellenmesi), 1st edn. Anadolu University Publications, ISBN 978-975-06-1109-4, Eskişehir, Turkey (in Turkish).
- Toker M, Ecevitoglu GB (2012b) Shallow seismicity of the Van earthquake ( $M_L$ , 7.2, 23 October 2011, Eastern Anatolia): monitoring and analysis of the seismic data. In: Proceedings of the national conference with international participation "Geosciences 2012", Bulgarian Geological Society (BGS), Sofia, 13-14 December 2012
- Toker M (2013) Time-dependent Analysis of aftershock events and structural impacts on intraplate crustal seismicity of the Van earthquake ( $M_w$  7.1, 23 October 2011), E-Anatolia. Central European Journal of Geosciences. 5:423-434. doi: 10.2478/s13533-012-0141-8
- Toker M (2014) Discrete characteristics of the aftershock sequence of the 2011 Van earthquake. Journal of Asian Earth Sciences 92:168-186. doi:10.1016/j.jseaes.2014.06.015.
- Toker M (2015) Multi-clusteral nature of the 2011 Van earthquake aftershock sequence in the accretionary region of Eastern Anatolia. In: Efe R, Bizzarri C, Cürebali İ, Nyusupova GN (eds) Environment and ecology at the beginning of 21st century. St. Kliment Ohridski University Press, Sofia
- Toker, M., (2017) The b-value analysis of aftershocks 170 days after the 23 October 2011 Van earthquake ( $M_w$ , 7.1) of the Lake Van basin, Eastern Anatolia: A new perspective on the seismic radiation and deformation characteristics. in *Earthquakes - Tectonics, Hazard and Risk Mitigation*, ed. Zouaghi, T.
- Toker, M., Sengör, A.M.C., Demirel-Schluter, F., Demirbağ, E., Çukur, D., Imren, C., Niessen, F. & Group, P.-W., (2017) The structural elements and tectonics of the Lake Van basin (Eastern Anatolia) from multi-channel seismic reflection profiles, *J. Afr. Earth Sci.*, 129, 165-178.
- Turkoglu, E., Unsworth, M. J., Caglar, I., Tuncer, V. and Avsar, U. (2008) Lithospheric structure of the Arabia-Eurasia collision zone in eastern Anatolia: Magnetotelluric evidence for widespread weakening by fluids? *Geology*, 36, 619–622.
- Turkoğlu, E., Unsworth, M., Bulut, F., Çağlar, İ. (2015) Crustal structure of the North Anatolian and East Anatolian Fault Systems from magnetotelluric data, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pepi.2015.01.003>.
- Utkucu M (2006) Implications for the water-level-change triggered moderate ( $M \geq 4.0$ ) earthquakes in Lake Van basin, Eastern Turkey. *Journal of Seismology* 10:105–117. doi: 10.1007/s10950-005-9002-y
- Utkucu M (2013) 23 October 2011 Van, Eastern Anatolia, earthquake ( $M_w$  7.1) and seismotectonics of Lake Van Area. *Journal of Seismology* 7(5):23-33
- Utkucu M, Durmuş H, Yalçın H, Budakoğlu E, Işık E (2013) Coulomb static stress changes before and after the 23 October 2011 Van, eastern Turkey, earthquake ( $M_w = 7.1$ ): Implications for the earthquake hazard mitigation. *Natural Hazards and Earth System Science* 13:1-14. doi: 10.5194/nhess-13-1-2013
- Wessel P, Smith WHF (1998) New, improved version of the Generic Mapping Tools released. *EOS* 79:579
- Yaginuma T, Okada T, Umino N, Hasegawa A (2005) Asperity of the 2005 off Miyagi earthquake ( $M7.2$ ) estimated by waveform inversion [in Japanese]. Program Abstr. Seism. Soc. Japan, PM16
- Yılmaz M (2003) Deprem kaynak parametrelerinin On-line Belirlenmesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 47 s, İstanbul (Turkish)
- Zor, E. (2008) Tomographic evidence of slab detachment beneath eastern Turkey and Caucasus. *Geophysical Journal International*, 175, 1273–1282.
- Zor, E., Sandvol, E., Gurbuz, C., Turkelli, N., Seber, D. and Barazangi, M. (2003) The crustal structure of the East Anatolian plateau (Turkey) from receiver functions. *Geophysical Research Letters*, 30, 8044, doi: 10.1029/2003GL018192.



## AIR QUALITY INDEX PREDICTION IN BESIKTAS DISTRICT BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND K NEAREST NEIGHBORS

Burhan BARAN\*

Directorate of Environment and Urbanization, Malatya, Turkey

### Keywords

*Air Quality Index,  
Artificial Neural Networks,  
K Nearest Neighbors,  
Classification.*

### Abstract

In this study, Air Quality Index (AQI) in Besiktas was intended to be predicted by Artificial Neural Networks (ANN) and k Nearest Neighbors (kNN) algorithms. For this purpose, eight parameters have been selected which may affect the AQI. These parameters are PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, temperature, humidity, pressure and wind speed, respectively. 124 data for 2015, 2016, 2017 and 2018 January, which includes eight parameters, were determined as training data. The first 14-day data of January 2019 were determined as test data. Similarly, the first 14-day data of January, March and December of 2018 were used as test data. In addition, The first 14-day data for January 2019 were normalized and set as test data. The success of ANN and kNN were measured by comparing. Performance rate of ANN with raw data for January 2018 was 85.71%, for March 2018 was 71.43%, for December 2018 was 78.57%. Both with raw and with normalized data for January 2019 was 85.71% performance rate. Performance rate of kNN with raw data for January 2019 was 92.86%, for March 2018 was 28.57%, for December 2018 was 71.43%. Performance rate of kNN with normalized data for January 2019 was 92,86%.

## BEŞİKTAŞ'TAKİ HAVA KALİTESİ İNDEKSİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI VE K EN YAKIN KOMŞULUK ALGORİTMALARI İLE TAHMİNİ

### Anahtar Kelimeler

*Hava Kalitesi İndeksi,  
Yapay Sinir Ağları,  
K En Yakın Komşuluk,  
Sınıflandırma.*

### Öz

Bu çalışmada, Beşiktaş'taki Hava Kalitesi İndeksinin (HKİ) Yapay Sinir Ağları (YSA) ve k En Yakın Komşuluk (kNN) algoritmaları ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla HKİ'yi etkileyebilecek 8 adet parametre seçilmiştir. Bu parametreler sırasıyla PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, sıcaklık, nem, basınç ve rüzgar hızı'dır. Bu parametreleri içeren 2015, 2016, 2017 ve 2018 yıllarının Ocak aylarına ait 124 adet veri eğitim verisi olarak belirlenmiştir. 2019 yılı Ocak ayına ait ilk 14 günlük veriler ile 2018 yılının Ocak, Mart ve Aralık aylarının ilk 14 günlük verileri ise test verisi olarak kullanılmıştır. 2019 yılı Ocak ayının ilk 14 günlük verisi normalize edilerek, ayrıca test verisi olarak ta kullanılmıştır. YSA ve kNN'nin sonuçları karşılaştırılarak başarıları ölçülmüştür. YSA'nın Ocak 2018 ham verileri ile başarı oranı % 85,71, Mart 2018 için % 71,43, Aralık 2018 için % 78,57 olmuştur. Hem hem hem de normalize edilmiş Ocak 2019 verileri için ise başarı oranı % 85,71 olmuştur. kNN nin Ocak 2019 ham verileri ile başarı oranı % 92,86, Mart 2018 için % 28,57, Aralık 2018 için % 71,43 olmuştur. kNN'nin normalize edilmiş Ocak 2019 verileri ile başarı oranı ise % 92,86 olmuştur.

### Alıntı / Cite

Baran, B., (2021). Air Quality Index Prediction In Besiktas District By Artificial Neural Networks And K Nearest Neighbors, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(1), 52-63.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Baran, 0000-0001-6394-412X

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	08.01.2020
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	28.12.2020
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	10.01.2021
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

\* İlgili yazar / Corresponding author: burhanbaran@gmail.com



## 1. Introduction

Everyone needs the environment to survive. In parallel with the rapid increase in the world population, irregular urbanization and industrialization have brought many environmental problems. Air pollution is defined as the chemical structure of the atmospheric layer is damaged by the mixing of various chemicals such as gas, dust and aerosol, causing damage to living things and even death. In other words, it is the presence of substances in the atmosphere that harm human and other living things. Air pollution can also be defined as a mixture of gases and solid particles in the air. Exhaust gas from vehicles, particles from solid fuels used in houses, chemicals from factories, dust and pollen are the main factors causing air pollution. In addition to investigating the causes of air pollution, it is also important to find solutions. Determining the sources and the levels of air pollutant has an important place in air quality control studies. Therefore, the prediction of pollution levels is an important issue in the regions where air pollution is present (Menteşe et al. 2012, Dursun et al. 2014, Kaplan et al. 2014, Kuntet al. 2018). Accordingly, many countries have established air quality management systems to monitor and control air pollution in cities (Alkasassbeh et al. 2013). Ambient air quality is primarily affected by particulate matter (PM), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>) and carbon monoxide (CO) concentrations in the atmosphere (Xi et al. 2015). PM<sub>10</sub> pollutant is the representation of particulate matter. The particulate material is a mixture of solid particles and liquid droplets suspended in the atmosphere. It consists of a wide range of sources, including dust, smoke and soot, as well as visible and invisible particles. Fossil fuels, pollens, dust from the ground, dust from construction and industry can be give in as examples. The "10" in PM<sub>10</sub> indicates particles with aerodynamic diameters less than 10 µm (Turgut et al. 2015). It can be found both outdoors and indoors. It can cause lung diseases, cardiovascular diseases, heart attack and rhythm disturbance (Karacı, 2018; Tepe et al. 2019). Sulfur dioxide is a gaseous pollutant. It is invisible and has a sharp smell. Facilities that burn fossil fuels are the main sources of sulfur dioxide. Sulfur dioxide is also present in motor vehicle emissions (Sulfur Dioxide, 2019). It is directly toxic to humans and affects respiratory functions. Carbon monoxide is a colorless, odorless gas that can be harmful when inhaled in large amounts. It can cause people to faint and die due to poisoning. The ozone molecule (O<sub>3</sub>) is harmful to air quality, outside of the ozone layer (CO, 2019). It is known that there is a close relationship between air pollution concentrations and meteorological factors. Some of them are temperature, humidity, pressure and wind speed. These parameters do not have any negative effect on human health in terms of air quality, but they cause the change of the AQI value with the meteorological effects on PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO and O<sub>3</sub>, which harm human health.

In this study, values of AQI were predicted by means of ANN and k Nearest Neighbors (kNN), considering parameters of PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, temperature, humidity, pressure and wind speed. PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO and O<sub>3</sub> values were obtained from Istanbul-Besiktas Air Quality Measuring Station of the Turkish Ministry of Environment and Urbanization. Temperature, humidity, wind speed and pressure data of the Besiktas district were taken from www.timeanddate.com First of all, the "AQI Calculator" (AQI Calculator, 2018) application was used to obtain the corresponding values of the AQI. The accuracy of the results obtained by the "AQI Calculator" application has been tested and verified with the current date parameters. The values obtained from this were confirmed by the available data on the National Air Quality Monitoring Network of the Ministry of Environment and Urbanization. AQI is unitless. Then, the AQI values obtained were classified as 1 to 5 mathematically. At the beginning 124 data for 2015, 2016, 2017 and 2018 January were used as data training data. The first 14 days of raw data for January 2019 were used as the test data. The training function and the number of neurons, which give the correct results at the highest rate and in the shortest time, have been applied to the data to be tested. The data to be tested were the first 14 days of January, March and December of 2018 and January of 2019. It was aimed by ANN and kNN to correctly predict the class of these three different 14 day data. Finally, the predicted and the mathematical classification results were compared.

## 2. Scientific Study Review

In a study conducted by Barrero et al. (2015) the PM<sub>10</sub> concentrations of 2005-2012 were classified in 43 stations in Basque Region Air Quality Monitoring Networks. In this classification study, there were 5 groups with different PM<sub>10</sub> levels. In warm and cold periods, the average daily PM<sub>10</sub> values were used on weekdays and weekends. The autocorrelation functions of the daily and hourly PM<sub>10</sub> time series were used to characterize changes. A methodology based on k-cluster was proposed. In the classification herein, it was found that, for PM<sub>10</sub> concentration levels, monitoring stations that distinguish only the rural ones provide a better separation compared to the conventional categorization. The Evol-Ps based classification was found to be the most effective in comparing PM<sub>10</sub> levels among groups. The results showed that the time series of pollutant concentrations contained sufficient information to provide an objective classification of the monitoring stations in an Air Quality Monitoring Network.

A mathematical framework was presented to formulate a Cumulative Index based on the individual concentration of the four major contaminants ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  and  $\text{PM}_{10}$ ) in a study by Saxena et al. (2017). Then, a classifier based on supervised learning algorithm was proposed. This classifier uses the Support Vector Machine to classify two types of air quality. The efficacy of the classifier was tested on the actual data in the Calcutta, Delhi and Bhopal regions. As a result, the classifier had been shown to perform well in determining air quality. Cumulative Index values and classification results obtained from the controlled learning model were found to be at the same level.

In a study by Karatzasetal. (2017) computational intelligence method was used to model the air pollution to the Gdansk Region in Poland. The prediction problem was analyzed by both classification and regression algorithms. Artificial NN based model that allows the use of the ensemble method was presented for the whole region. According to the results, the correlation coefficient between predicted and the hourly  $\text{PM}_{10}$  concentration measurements was 0.81 and the agreement index was 54%, indicating that the method used had a good performance. It was also concluded that this model could support the provision of air quality predicts on a company basis.

Alkasassbeh et al. (2013) developed a non-linear and Autoregressive ANN model (ANNARX) to predict both  $\text{PM}_{10}$  and Total Hanging Particles (TSP) in Jordan. The BP learning algorithm was used to train this model. The data set collected around a cement factory between 2006 and 2007 was used by 8 monitoring stations. In the proposed ANN model, temperature, relative humidity and wind speed data were used as input data. According to the experimental results, ANNARX can provide good modeling results using a limited number of measurement data. In a study conducted by Nejadkoorki et al. (2012) an ANN model was proposed in Tehran to predict the 24-hour  $\text{PM}_{10}$  concentrations. It was aimed to predict the next day by using data from previous days of  $\text{PM}_{10}$  concentrations. Data from different stations were used between 2001 and 2009. Data of meteorological and gas pollutants from different air quality monitoring stations and meteorological areas were used as input data. Feed-forwardback propagation neural network, hyperbolic tangent sigmoid activation function and the Levenberg-Marquardt optimization methods were applied together. They reported that the  $\text{PM}_{10}$  prediction was found to be successful at 0.83 percent in all regions. In addition, it was concluded that Neural Networks developed for each monitoring region in the air quality monitoring network could compensate some of the missing data in neighboring monitoring zones.

In their study, Rahman et al. (2015) presented a time series model using data from three different stations between 2000 and 2009 in order to predict the Air Pollution Index. The Box-Jenkins approach of seasonal auto regressive integrated moving average (ARIMA), ANN and three models of fuzzy time series (FTS) had been compared by using the mean absolute percentage error, mean absolute error, mean square error and root mean square error. As a result, it was reported that the ANN showed the best result in predicting air pollution.

In the past, the most important pollutant sources for Besiktas were vehicle traffic and fossil fuels.  $\text{SO}_2$  level was high due to fossil fuels. Nowadays,  $\text{SO}_2$  level has decreased with the use of natural gas in heating. However, the rapidly increasing number of vehicles continues to cause a high amount of PM.

In this study, mathematical and predicted AQI classifications compared. Temperature, humidity, pressure, wind speed,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$ , CO and  $\text{O}_3$  parameters were taken into account for prediction of AQI values. For comparison, 2 types of studies were conducted for 3 different periods. The study periods were January 2019, March 2018 and December 2018 and the first 14 days of these periods were recorded. The first 14 days of January 2019 was normalized and the study was performed to see if the raw data and the normalized data would affect the prediction result. Thus, the success of ANN was measured. It is thought that this study on AQI classification will contribute to the literature.  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$ , CO and  $\text{O}_3$  values were obtained from Istanbul-Besiktas Air Quality Measuring Station of the Turkish Ministry of Environment and Urbanization. Temperature, humidity, wind speed and pressure data of the Besiktas district were taken from [www.timeanddate.com](http://www.timeanddate.com).

### 3. Recommended Method

#### 3.1. Artificial Neural Networks and Algorithm

In this section, firstly ANN was introduced that was developed in 1943 by McCulloch and Pitts. Then, a study was conducted on how to obtain the predicted classification of the AQI value corresponding to the entered data corresponding to  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$ , CO,  $\text{O}_3$ , temperature, humidity, pressure and wind speed. The ANN is a logical software developed to perform the basic functions of the human brain, such as learning, remembering and generalizing of the brain by imitating the working mechanism of the brain. They are parallel operation systems that are connected to each other in a network and are called a neuron and are composed of a series of processing units. It is a calculation technique inspired by the nervous system of the human brain. It is a type of processing which can be

used in non-linear and wide application area. They are generally trained for classification purposes or using some learning algorithms to make appropriate decisions using measurement data collected in the application. Neural networks have two main features that make it a very useful tool for predicting and solving modeling problems. These are learning and generalization skills (Alkasassbeh et al. 2013, Artificial Neural Network, 2019).

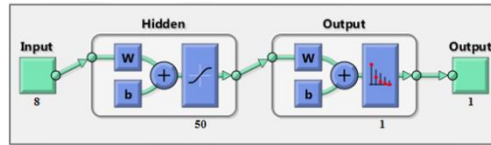


Figure 1. Neural Network (Neural Network Figure, 2019)

The neural network in Figure 1 contains 8 input data, 50 hidden neurons and 1 output data. The model needs to learn to produce the correct output. We do this by training weights. The “W” in the diagram is the abbreviation of the weights, and “b” is the abbreviation of the bias unit. The most common types of neural networks used in classification are feed-forward and feed-back networks. The feed-forward algorithm is an algorithm used to calculate the output vector from the input vector. Only a feed-forward algorithm is used when using a trained neural network (Feed-forward Back Propagation Neural Network, 2019). Feed-forward ANN have a one-way flow of information. In this network model, information from the input layer is transmitted to the hidden layer. Output value is determined by processing information from hidden and output layers.

In this study, computer simulations were carried out on MATLAB environment. In the study, feed-forward back-propagation neural network was used as ANN algorithm. The result values were obtained by 3-fold cross validation.

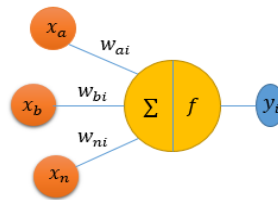


Figure 2. Feed-forward ANN (Feed-forward Artificial Neural Network Figure, 2019)

Summation function for feed-forward ANN as in equation 1.

$$I_i = \sum_b W_{bi} x_b \tag{1}$$

The transfer function is as in equation 2.

$$y_i = f(I_i) \tag{2}$$

Figure 2 shows a feed-forward ANN. Parameters such as thresholds and weights in conventional feed-forward neural networks must be updated through gradient-based learning algorithms (Baran, 2017). In order to obtain a special functional characteristic in response to an input set, the ANN algorithm based on the principle of adjusting the weights to generate outputs is called the back propagation algorithm (Back propagation Algorithm, 2018).

### 3.2. k Nearest Neighbors and Algorithm

k Nearest Neighbors (kNN) algorithm is one of the most used machine learning algorithm. It can uses for classification. Machine Learning makes inferences from ready data by using statistical and mathematical methods. kNN is a non-parametric learning algorithm. k nearest neighbors is an algorithm that stores all existing cases and classifies new cases by distance function criteria. Instead of learning the training data, it memorizes the data in training. A k value is determined in the operation of the algorithm. k is the number of elements to look at. When a value is reached, the nearest k element is taken and the distance between the value is calculated. If k is 1, then the case is simply assigned to its nearest neighbor. Historically, the optimal k values for most data sets were between 3-10. The Euclidean function is usually used for distance calculation. As an alternative to Euclidean function, Manhattan, Minkowski and Hamming functions can be used. Equations of these distance functions are shown in equations 3-6 (Baran, 2019; kNN1, 2019; kNN2, 2019).

$$\text{Euclidean} = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \tag{3}$$

$$\text{Manhattan} = \sum_{i=1}^k |x_i - y_i| \tag{4}$$

$$\text{Minkowski} = \left( \sum_{i=1}^k (|x_i - y_i|^q) \right)^{1/q} \tag{5}$$

$$\text{Hamming} = D_H = \sum_{i=1}^k |x_i - y_i| \tag{6}$$

If  $x = y$ ,  $D = 0$ , If  $x \neq y$ ,  $D = 1$ ,

### 3.3. Training Data Set for ANN and kNN

PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO and O<sub>3</sub> parameters were used to construct the training data set. These values were obtained from Istanbul-Besiktas Air Quality Measuring Station of the Turkish Ministry of Environment and Urbanization. The values of these parameters are daily average values. The AQI values were obtained by using the “AQI Calculator” application. The obtained AQI values were confirmed by using the current data obtained from the National Weather Monitoring Network website of the Turkish Ministry of Environment and Urbanization. The above mentioned parameters are monitored hourly (Directorate of Environment and Urbanization National Air Quality Monitoring Network, 2018; Koçak, 2018). Afterwards, temperature, humidity, wind speed and pressure data of the Besiktas district from January 2015, 2017, 2018 were taken from the site www.timeanddate.com (Besiktas, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 temperature, pressure, wind speed, humidity values, 2019). For these parameters data of 12:00 o'clock were used. Thus, 8-column training data consisting of PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, temperature, humidity, pressure and wind speed were obtained as input data. Similarly, AQI values consisting of 1 column were used as output data. The training data consisted of 124 lines and 124 of the AQI data were classified mathematically between 1 and 5. As a result of this process, 1st class consisted of 0, 2nd class consisted of 59, 3rd class consisted of 36, 4th class consisted of 22, 5th class consisted of 7 data.

Using the raw data, the test data of 14 lines (first 14 days) of 3 different periods were studied. Training data consist of data for 2015, 2016, 2017, 2018 years and January months. It consists of the total of 31-day data. The test data belong to the first 14 days of January, March and December of 2018 and January of 2019. PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO and O<sub>3</sub> values are taken from the National Weather Monitoring Network web site of the Ministry of Environment and Urbanization. Temperature, humidity, pressure and wind speed data are taken from the website www.timeanddate.com.

### 3.4. AQI Calculation and Limit Values

AQI is an index of daily air quality. Indicates how clean or dirty the air is. The purpose of measuring the AQI is to take precautions if the air quality value is at levels that threaten human health. Many countries have their own AQI standards and scales. In this study, “AQI Calculator” application was used to calculate the AQI value. The values of the parameters PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO and O<sub>3</sub> were entered into this application and AQI values were calculated. Calculated AQI values were compared with the current data obtained from the National Air Monitoring Network of the Ministry of Environment and Urbanization, and it was confirmed that “AQI Calculator” had the right calculation. In this study, the determined AQI limit values and the assigned class values were presented in Table 1.

**Table 1.** AQI limit values and assigned class

0-20	21-40	41-60	61-80	81-....
1	2	3	4	5

## 4. Case Study

### 4.1. ANN Study with Raw Data

Twelve different training functions were used for the classification with ANN. These were trainlm, trainbr, trainbfg, trainrp, trainscg, traincgb, traincgf, traincgp, trainoss, traingdx, traingdm and traingd functions. Test times and test

accuracy rates of these training functions were compared. These values are obtained as in Table 2. The number of hidden neurons used in this initial comparison step was chosen to be 50.

**Table 2.** Test Times and Test Accuracy values at different training functions (raw data-50 hidden neuron)

Training function	Test Time (s)	Test Accuracy (%)	Training function	Test Time (s)	Test Accuracy (%)
trainlm	0.5017	71.43	traincgf	0.4678	78.57
trainbr	20.642	78.57	traincgp	0.2577	64.29
trainbfg	1.7101	50.00	trainoss	0.3733	57.14
trainrp	0.2516	57.14	traingdx	0.4758	78.57
trainscg	0.2914	71.43	traingdm	0.1319	0.00
traincgb	0.4238	78.57	traingd	0.2835	57.14

According to these results, when the test accuracy ratios with respect to ANN training functions were examined, it was seen that the highest value was realized in trainbr, traincgb, traincgf and traingdx training functions with an accuracy rate of 78.57%. However, since the trainbr training function can reach this solution in a very long time period of 20.642 seconds, it had not be taken into consideration in the prediction studies with test data. Therefore, studies were carried out in different secret neuron numbers for traincgb, traincgf and traingdx training functions. As a result of the studies, the values presented in Table 3 were obtained.

As can be seen from Table 3, in the prediction study conducted for the first 14 days data of January 2019, the highest test accuracy rate was realized as 0.22008 second in 20 hidden neuron counts with traincgf training function.

**Table 3.** Test Times and Test Accuracy values at different training functions and different neuron numbers (raw data-January 2019)

Training functions/ hidden neurons	Test Time (s)	Average Test Accuracy (%)	Training functions/ hidden neurons	Test Time (s)	Average Test Accuracy (%)
traincgb -20	0.16925	66.67	traincgb -80	0.25113	59.52
traincgf -20	0.22008	80.95	traincgf -80	0.33528	54.76
traingdx -20	0.24645	59.52	traingdx -80	0.27833	38.10
traincgb -40	0.22223	66.67	traincgb -100	0.49128	59.52
traincgf -40	0.25198	73.81	traincgf -100	0.40425	52.38
traingdx -40	0.12865	45.24	traingdx -100	0.25785	40.47
traincgb -60	0.27855	76.19	traincgb -124	0.42030	50.00
traincgf -60	0.24698	64.29	traincgf -124	0.41088	42.86
traingdx -60	0.29123	40.48	traingdx -124	0.48800	38.29

Since this data is the data obtained by 3-fold cross validation. The prediction of 80.95 corresponds to a prediction of 11 to 12 data on average. For this reason, the program was run again. The result was 85.71% corresponding to 12 correct predictions. According to the results of traincgf-20 training function and neuron number, ANN classification was performed between January 14, 2019 and January 01, 2019. The predicted classification values by ANN, 8 input values, calculated AQI values, and the mathematical classification values corresponding to the value of this AQI were as in Table 4.

There were two dates that cannot be accurately predicted. The first one was calculated as 1st class mathematically on January 02, 2019, while it was predicted as 2nd class by ANN. The AQI value calculated on this date was 18. Since the value of 18 was very close to the limit value of 20, it was thought that ANN could not predict this correctly. The second false guess made by ANN was realized on January 06, 2019. Calculated AQI value was 2, while ANN was calculated as 3rd class. The value of the AQI calculated on this date was 34.

A similar study was conducted by ANN between March 14, 2018 and March 01, 2018 on the prediction of AQI classification by ANN. Studies of traincgb, traincgf and traingdx training functions (giving the highest test accuracy results for 50 neurons count) were performed in different numbers of secret neurons.

As a result of this study, "Test Times" and "Average Test Accuracy" values were as in Table 5. In the AQI classification prediction study conducted for the first 14 days of March 2018, the highest test accuracy rate was obtained with 71.43% and traingdx-40 with 0.6257 second test period. Accordingly, the results obtained with

traingdx-40 training function and number of hidden neurons in the ANN algorithm for the prediction of AQI values of the first 14 days of March 2018 were as in Table 6.

**Table 4.** Parameter values, calculated mathematical classification and ANN predicted classification values in the period of January 14, 2019- January 01, 2019

PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	CO (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Temperature (°C)	Humidity (%)	Pressure (mbar)	Wind Speed (km/h)	AQI values	M. AQI Class	ANN P. Class
31,2	8.7	596.5	3.5	9	74	1002	21	31	2	2
19,6	5.5	405.8	24.46	6	68	1010	15	24	2	2
17,0	3.2	490.7	23.93	6	86	1013	24	25	2	2
19,3	4.4	595.1	20.21	9	93	1015	22	30	2	2
26,4	10	727.3	19.53	12	67	1009	25	37	2	2
39,9	7.6	541.1	18.1	7	55	1014	34	40	2	2
25,0	3.1	605.7	15.38	3	60	1019	27	30	2	2
25,1	4.4	425.9	11.61	3	66	1019	26	25	2	2
34,1	5.3	469.6	15.5	4	70	1010	14	34	2	3
9,20	3.2	309.0	26.27	5	84	1013	20	26	2	2
14,6	3.9	370.7	20.94	4	72	1023	23	21	2	2
15,5	4.1	293.1	21.28	9	72	1011	18	21	2	2
18,0	3.9	361.2	16.13	8	79	1011	16	18	1	2
19,1	6.5	269.0	23.78	10	60	1020	25	24	2	2

AQI= AirQuality Index, W.S.=Windspeed, M.=Mathematically P.= Prediction

**Table 5.** Test Times and Test Accuracy values at different training functions and different neuron numbers (raw data-March 2018)

Training functions/ hidden neurons	Test Time (s)	Average Test Accuracy (%)	Training functions/ hidden neurons	Test Time (s)	Average Test Accuracy (%)
traingcb -20	0.1358	40.47	traingcb -80	0.4652	23.81
traingcf -20	0.2450	50.00	traingcf -80	0.6876	35.71
traingdx-20	0.2163	66.66	traingdx-80	0.2692	69.05
traingcb -40	0.2728	16.67	traingcb -100	0.2108	42.86
traingcf -40	0.2681	50.00	traingcf -100	0.2308	28.57
traingdx-40	0.6257	71.43	traingdx-100	0.5267	66.67
traingcb -60	0.2825	24.48	traingcb -124	0.2088	42.86
traingcf -60	0.3653	42.86	traingcf -124	0.5960	35.71
traingdx-60	0.3215	64.29	traingdx-124	0.5198	42.85

Table 6 shows the temperature, humidity, pressure, wind speed, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO and O<sub>3</sub> values measured between March 14, 2018 and March 01, 2018, the values of the AQI calculated according to these values, the mathematical classification values and the classification made by the ANN algorithm.

For the first 14 days of March 2018, 71.43% performance was achieved. This percentage means that only 10 of the 14 lines were predicted correctly. When Table 6 was examined, the calculated AQI value (51) on March 01, 2018 was placed mathematically in the third class and it was placed in the 1st class in the prediction made by ANN. Three incorrect predictions made by ANN were made on March 08, 2018, March 10, 2018 and March 12, 2018.

**Table 6.** Parameter values, calculated mathematical classification and ANN predicted classification values in the period of March 14, 2018- March 01, 2018

PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	CO (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Temperature (°C)	Humidity (%)	Pressure (mbar)	Wind Speed (km/h)	AQI values	M. AQI Class	ANN P. Class
58.3	4.3	528.3	89.6	18	39	1011	27	90	5	5
69.0	9.2	759.1	83.59	20	38	1013	17	84	5	5
63.5	21	1066	44.88	18	36	1015	9	63	4	5
46.6	8.5	769.0	50.08	17	34	1014	8	50	3	3
56.6	7.7	798.2	52.73	15	38	1015	14	57	3	5
38.4	4.0	539.9	65.53	14	51	1009	27	66	4	4
82.2	4.7	645.4	105.4	13	84	1007	11	10	5	2
80.6	5.1	558.9	59.5	12	74	1017	5	81	5	5
35.6	2.5	700.3	58.24	11	83	1013	9	58	3	3
25.2	0.8	455.7	57.22	17	41	1011	9	57	3	3
43.3	1.9	569.7	46.06	17	50	1008	27	46	3	3
49.1	2.8	677.6	43.02	16	55	1014	20	49	3	3
55.4	2.2	779.5	43.7	9	48	1019	7	55	3	3
32.6	2.7	472.1	50.56	7	79	1015	17	51	3	1

AQI= AirQuality Index, W.S.=Windspeed, M.=Mathematically P.= Prediction

The results of the study conducted with traincgb, traincgf and traingdx training functions between December 14, 2018- December 01, 2018 and in different secret neuron numbers are as in Table 7. "Test Times" and "Average Test Accuracy" values are shown in the table.

**Table 7.** Test Times and Test Accuracy values at different training functions and different neuron numbers (raw data-December 2018)

Training functions/ hidden neurons	Test Time (s)	Average Test Accuracy (%)	Training functions/ hidden neurons	Test Time (s)	Average Test Accuracy (%)
traincgb -20	0.1557	71.43	traincgb -80	0.2876	40.47
traincgf -20	0.1799	59.52	traincgf -80	0.2480	56.87
traingdx-20	0.2171	61.91	traingdx-80	0.2785	57.15
traincgb -40	0.17875	78.57	traincgb -100	0.2936	52.38
traincgf -40	0.2157	51.06	traincgf -100	0.3446	42.86
traingdx-40	0.1735	42.86	traingdx-100	0.4263	64.29
traincgb -60	0.2374	38.09	traincgb -124	0.3922	50.00
traincgf -60	0.2677	71.43	traincgf -124	0.4730	50.00
traingdx-60	0.1223	71.43	traingdx-124	0.1919	14.29

The highest test accuracy obtained by using the test data of these dates is in traincgb training function and in 40 hidden neuron count with 0.17875 second test times and 78.57% rate. The ratio of 78.57% means that 11 of the classification data of the test data are correct. Accordingly, the comparison of ANN classification values and mathematical classification values for traincgb-40 was as in Table 8.

**Table 8.** Parameter values, calculated mathematical classification and ANN predicted classification values in the period of December 14, 2018 - December 01, 2018

PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	CO (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Temperature (°C)	Humidity (%)	Pressure (mbar)	Wind Speed (km/h)	AQI values	M. AQI Class	ANN P. Class
40.5	9.7	452.1	4.35	4	82	1029	7	40	2	3
32.7	7.97	462.4	11.03	7	55	1023	16	33	2	2
29.9	3.97	563.6	10.5	10	75	1010	19	30	2	2
26.3	1.85	479.0	15.27	14	57	1013	22	26	2	2
29.2	4.72	492.8	9.43	10	79	1017	6	29	2	2
52.0	11.6	636.0	5.47	10	68	1020	6	52	3	3
38.1	9.04	519.2	7.44	8	74	1017	4	38	2	2
23.2	2.37	290.9	20.39	10	84	1012	6	23	2	2
19.9	2.01	373.8	16.16	11	79	1011	9	19	1	1
17.3	2.67	409.6	16.79	11	85	1015	5	17	1	2
25.2	2.72	338.1	19.2	8	92	1019	7	25	2	2
20.7	2.78	430.8	16.07	11	69	1022	6	21	2	2
18.6	3.17	350.9	16.0	11	77	1024	6	19	1	2
29.3	3.69	336.7	14.15	13	80	1018	11	30	2	2

AQI= AirQuality Index, W.S.=Windspeed, M.=Mathematically P.= Prediction

Table 8 shows the temperature, humidity, pressure, wind speed, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO and O<sub>3</sub> values measured for the first 14 days of December 2018, the values of the AQI calculated according to these values, the mathematical classification values and the classification made by the ANN algorithm. In the traincgb-40 training function and the number of neurons, 3 false predictions were made by ANN. These were on December 02, 2018, December 05, 2018 and December 14, 2018, and on these dates the AQI values are 19, 17 and 40, respectively. All three AQI values are close to the limit values. Because this proximity could not be predicted by ANN, the results were determined as a higher class.

#### 4.2. ANN Study with Normalized Data

Training of ANN can be very slow when applied to raw data. Therefore, working with normalized data allows for faster results. For this purpose, all values between the lower and upper limit values of the eight parameters used in the study were normalized between 0 and 1 value. "Min-Max Normalization" technique was used to normalize raw data. The Min-Max technique normalizes data linearly. Minimum refers to the lowest value a data can receive while, maximum refers to the highest value that data can receive. It reduces the data to a value between 0 and 1. In this method, the largest and smallest values within a group of data are considered. All other data is normalized according to these values. The aim here is to normalize the smallest value to 0 and the maximum value to 1 and to spread all other data to the range 0-1. This equation is as in equation 7 (Yavuz et al. 2012).

$$x' = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \tag{7}$$

x'= normalized data,

x<sub>i</sub>=input value

x<sub>max</sub>= the largest number in the input set,

x<sub>min</sub>= the smallest number in the input set,

Between the dates of January 14, 2019-January 01, 2019 traincgb, traincgf, traingdx training functions with different numbers of hidden neurons obtained as a result of the study, “Test Times” and “Average Test Accuracy” values as in Table 9. As can be seen from Table 9, in the prediction study for the normalized data of the first 14 days of January 2019 with ANN, the highest test accuracy rate was in traincgb-20, traincgb-40 and traincgf-60 training function and neuron counts. The test times for these functions were 0.2228, 0.2149 and 0.4227 second respectively. 85.71% performance was achieved. Table 10 was obtained by using the traincgb-40 function which predicts these times as soon as possible.

**Table 9.** Test Times and Test Accuracy values at different training functions and different neuron numbers (normalized data-January 2019)

Training functions/ hidden neurons	Test Time (s)	Average Test Accuracy (%)	Training functions/ hidden neurons	Test Time (s)	Average Test Accuracy (%)
traincgb -20	0.2228	85.71	traincgb -80	0.2061	50.00
traincgf -20	0.2009	64.29	traincgf -80	0.5704	71.43
traingdx-20	0.2146	78.57	traingdx-80	0.1307	7.14
traincgb -40	0.2149	85.71	traincgb -100	0.3794	64.29
traincgf -40	0.2114	35.71	traincgf -100	0.4474	42.86
traingdx-40	0.1630	35.71	traingdx-100	0.2904	50.00
traincgb -60	0.3894	78.57	traincgb -124	0.5455	35.71
traincgf -60	0.4227	85.71	traincgf -124	0.1926	21.43
traingdx-60	0.4299	50.00	traingdx-124	0.4734	35.71

When Table 10 is examined, it can be seen that there are two accurately unpredictable dates. The first one was calculated as 1st class on January 02, 2019, while it was predicted as 2nd class by ANN.

As in the study conducted with raw data, the calculated AQI value was 18 and it was thought to be due to the fact that ANN result cannot be predicted because it is close to the limit value of 20. The second false prediction made by ANN was realized on January 04, 2019. The calculated AQI value for this date was 21 and it was thought to be due to the fact that ANN cannot predict because it was close to the limit value of 20. In January 2019, 85.71% performance was achieved in the classification study conducted with both raw data and normalized data. This means that conducting the study with raw data will not adversely affect the outcome of ANN.

**Table 10.** Parameter values, calculated mathematical classification and ANN predicted classification values in the period of January 14, 2019- January 01, 2019 (normalized data)

PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	CO (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Temperature (°C)	Humidity (%)	Pressure (mbar)	Wind Speed (km/h)	AQI values	M. AQI Class	ANN P. Class
0.25	0.38	0.31	0.00	0.62	0.56	0.20	0.39	31	2	2
0.13	0.22	0.21	0.51	0.48	0.45	0.38	0.23	24	2	2
0.11	0.11	0.25	0.50	0.48	0.78	0.44	0.46	25	2	2
0.13	0.17	0.30	0.41	0.62	0.91	0.49	0.41	30	2	2
0.20	0.44	0.37	0.39	0.76	0.44	0.36	0.49	37	2	2
0.34	0.33	0.28	0.36	0.52	0.22	0.47	0.72	40	2	2
0.19	0.10	0.31	0.29	0.33	0.31	0.58	0.54	30	2	2
0.19	0.17	0.22	0.20	0.33	0.42	0.58	0.51	25	2	2
0.28	0.21	0.24	0.29	0.38	0.49	0.38	0.21	34	2	2
0.03	0.11	0.16	0.56	0.43	0.75	0.44	0.36	26	2	2
0.08	0.14	0.19	0.43	0.38	0.53	0.67	0.44	21	2	1
0.09	0.15	0.15	0.43	0.62	0.53	0.40	0.31	21	2	2
0.12	0.14	0.18	0.31	0.57	0.65	0.40	0.26	18	1	2
0.13	0.27	0.14	0.50	0.67	0.31	0.60	0.49	24	2	2

AQI= AirQuality Index, W.S.=Windspeed, M.=Mathematically P.= Prediction

### 4.3. kNN Study with Raw Data

Studies were carried out in different neighborliness number. As a result of the studies, the values presented in Table 11 were obtained. As can be seen from Table 11, in the prediction study conducted for the first 14 days data



of January 2019, the highest test accuracy rate was realized at 3, 5, 7 k values. The performance ratio in these k values was 92.86%. Of the fourteen days classification value, thirteen days were correctly estimated by the kNN algorithm.

**Table 11.** Accuracy Rate for different k Neighborliness Numbers (raw data-January 2019)

2019-January	Classification by Neighborliness Number			
M. AQI Class	3	5	7	9
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	3	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
1	2	2	2	2
2	2	2	2	2
Accuracy Rate (%)	85,71	92,86	92,86	92,86

A similar study was conducted by ANN between March 14, 2018 and March 01, 2018 on the prediction of AQI classification by kNN. For the first 14 days of March 2018, 28.57% performance was achieved. This percentage means that only 4 of the 14 days were predicted correctly. It can be seen Table 12.

**Table 12.** Accuracy Rate for different k Neighborliness Numbers (raw data-March 2018)

2018-March	Classification by Neighborliness Number			
M. AQI Class	3	5	7	9
5	4	3	3	3
5	4	4	4	4
4	4	4	3	3
3	2	2	2	2
3	2	2	4	4
4	2	2	2	2
5	4	4	4	4
5	4	4	4	3
3	2	2	2	2
3	3	3	2	2
3	3	3	3	3
3	2	2	2	2
3	2	2	4	4
3	3	2	2	2
Accuracy Rate (%)	28,57	21,43	7,14	7,14

Also, a study conducted for December 14, 2018- December 01, 2018 with different k values. The results of this study were as in Table 13. The highest accuracy rate was obtained at 3, 5, and 7 k values with 71,43%. The ratio of 71,43% means that 10 of the classification data of the test data are correct.

**Table 13.** Accuracy Rate for different k Neighborliness Numbers (raw data-December 2018)

2018-December	Classification by Neighborliness Number			
M. AQI Class	3	5	7	9
2	3	2	2	2
2	2	2	2	2
2	3	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
3	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
1	2	2	2	2
1	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
1	2	2	2	2
2	2	2	2	2
Accuracy Rate (%)	57,14	71,43	71,43	71,43

**4.4. kNN Study with Normalized Data**

As can be seen from Table 14, in the prediction study for the normalized data of the first 14 days of January 2019 with kNN, the highest test accuracy rate was 92,86%. There is only one accurately unpredictable dates.

**Table 14.** Accuracy Rate for different k Neighborliness Numbers (normalized data-January 2019)

2019-January	Classification by Neighborliness Number			
M. AQI Class	3	5	7	9
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
1	2	2	2	2
2	2	2	2	2
Accuracy Rate (%)	92,86	92,86	92,86	92,86

## 5. Results

In this study, it was aimed to predict the AQI values by ANN algorithm. For this purpose, eight parameters have been selected which may affect the AQI. These were PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, temperature, humidity, pressure and wind speed respectively. First of all, a data set was created for training purposes. Eight input data that consisting of 124 lines of PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, temperature, humidity, pressure and wind speed were created. On the other hand, training data consisting of AQI data were generated. The obtained 124 AQI data were classified mathematically between 1 and 5. The test data of 14 lines of the three different periods (the first 14 days of the test month) were studied with raw data. Training data was composed of 31-day data for 2015, 2016, 2017 and 2018 January. The data consisted of 124 lines. The test data were January, March and December 2018 and January 2019, respectively. The first 14-day data were used in the studies. The AQI values were obtained by "AQI Calculator" application. The results obtained were confirmed by using the current data obtained from the National Air Quality Monitoring Network website of the Ministry of Environment and Urbanization. The classification values obtained were classified mathematically between 1 and 5.

12 different training functions were used in the classification. In the first stage, 50 hidden neurons were studied to determine which training functions would find the most appropriate solution. As a result of the study, it was seen that the highest values were met by traincgb, traincgf and traingdx training functions with 78.77% test accuracy rate according to ANN training functions. However, in order to examine how these training functions would react in different numbers of neurons, the dependence of these 3 training functions on six different neurons was investigated. After the study, the predicted performance rate of ANN with raw data for January 2018 was 85.71%, for March 2018 was 71.43%, for December 2018 was 78.57% and with normalized data for January 2019 was 85.71%. The same performance rate was obtained for both the raw and normalized classification studies of the first 14 days of January 2019 data. This ratio was 85.71% performance which corresponds to 12 correct predictions.

The predicted performance rate of kNN with raw data for January 2019 was 92.86% with 5 k value, for March 2018 was 28.57% with 3 k value, for December 2018 was 71.43% with 5 k value. With normalized data for January 2019 was 92,86 % performance rate. When the accuracy rate obtained from ANN and kNN studies were compared, ANN with 92.86% in January 2018, kNN with 71.43% in March 2018 and kNN with 78.57% in December 2018 had higher accuracy rates. As a result of the studies carried out with both raw and normalized data for January 2019, ANN achieved 85.81% accuracy rate, whereas kNN yielded 92.86% performance with both raw data and normalized data.

## Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

## References

- Alkasassbeh, M., Sheta, A.F., Faris, H., Turabieh, H., 2013. Prediction of PM<sub>10</sub> and TSP Air Pollution Parameters Using Artificial Neural Network Autoregressive, External Input Models: A Case Study in Salt, Jordan. Middle-East Journal of Scientific Research. 14, 999-1009.
- Artificial Neural Network, <http://kod5.org/yapay-sinir-aglari-ysa-nedir/> [last access date: 02.02.2019].
- AQI Calculator: [Online]. Available: [https://app.cpcbcr.com/ccr\\_docs/AQI%20-Calculator.xls](https://app.cpcbcr.com/ccr_docs/AQI%20-Calculator.xls). [last access date: 01.12.2018].
- Back propagation Algorithm: [Online]. Available: <https://ab.org.tr/ab06/sunum/8.ppt>. [last access date: 03.12.2018].

- Baran, B., 2017. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını İçeren Mikro-şebeke Sistemlerin Akıllı Yönetimi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Malatya, Türkiye.
- Baran B., 2019. Prediction of Air Quality Index by Extreme Learning Machines. International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), Malatya, Turkey.
- Barrero, M.A., Orza, J.A.G., Cabello, M., Cantón, L., 2015. Categorisation of air quality monitoring stations by evaluation of PM<sub>10</sub> variability. *Science of The Total Environment*. 524–525: 225-236.
- Besiktas, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 temperature, pressure, wind speed, humidity values. <https://www.timeanddate.com/weather/turkey/besiktas/historic?month=1&year=2019>. [Accessed 23 January 2019].
- CO, O<sub>3</sub>. [Online]. Available: <https://www.epa.gov>. [last access date: 12.01.2019].
- Directorate of Environment and Urbanization National Air Quality Monitoring Network. [Online]. Available: [www.havaizleme.gov.tr](http://www.havaizleme.gov.tr). [last access date: 27.11.2019].
- Dursun, Ş., İbrahimova İ., 2014. Bakü Hava Kirlenmesinde SO<sub>2</sub>'nin Rolü ve Meteorolojik Olaylarla İlişkinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 1(3), 84-91.
- Feed-forward Artificial Neural Network Figure. [Online]. Available: [https://www.saedsayad.com/artificial\\_neural\\_network.htm](https://www.saedsayad.com/artificial_neural_network.htm). [last access date: 18.01.2019].
- Feed-forward Back Propagation Neural Network. [Online]. Available: <https://stackoverflow.com/questions/28403782/what-is-the-difference-between-back-propagation-and-feed-forward-neural-network>. [last access date: 01.02.2019].
- Kaplan, Y., Saray, U., Azkeskin, E., 2014. Hava Kirliliğine Neden olan PM10 ve SO<sub>2</sub> maddesinin Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Tahmininin Yapılması ve Hata Oranının Hesaplanması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 14(025201), 1-6.
- Karacı, A., 2018. Development of PM<sub>2.5</sub> Concentration Measurement Device for Intelligent City Air Tracking System And Asthma Diseases, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(3), 418 – 425.
- Karatzas, K., Katsifarakis, N., Orłowski, C., Sarzyński, A., 2017. Urban Air Quality Forecasting: A Regression and a Classification Approach. *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems (ACIIDS 2017)*. 539-548.
- kNN1 - k Nearest Neighbors Algorithm. [Online]. Available: <https://medium.com/@ekrem.hatipoglu/machine-learning-classification-k-nn-k-en-yak%C4%B1n-kom%C5%9Fu-part-9-6f18cd6185d>. [last access date: 15.11.2019].
- kNN2 - k Nearest Neighbors Algorithm. [Online]. Available: [https://www.saedsayad.com/k\\_nearest\\_neighbors.htm](https://www.saedsayad.com/k_nearest_neighbors.htm). [last access date: 15.11.2019].
- Koçak, E., 2018. Temporal Variation of PM<sub>10</sub> and SO<sub>2</sub> Concentrations of Aksaray Atmosphere: Conditional Bivariate Probability Function and Kmeans Clustering. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(3), 471 – 478.
- Kunt, F., Dursun, Ş., 2018. Konya Merkezinde Hava Kirliliğine Bazı Meteorolojik Faktörlerin Etkisi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*. 1(1), 54-61.
- Menteşe, S., Tağl, Ş., 2012. Bilecik'te İklim Elemanlarının Hava Kirliliği Üzerine Etkisi. *Balikesir University The Journal of Social Sciences Institute*. 15(28), 3-16.
- Nejadkoorki, F., Baroutian, S., 2012. Forecasting Extreme PM<sub>10</sub> Concentrations Using Artificial Neural Networks. *Int. J. Environ. Res*. 6(1), 277-284.
- Rahman, N.H.A., Lee, M.H., Suhartono, L.M.T., 2015. Artificial neural networks and fuzzy time series forecasting: an application to air quality. *Quality&Quantity International Journal of Methodology*. 49(6), 2633–2647.
- Neural Network Figure. [Online]. Available: <https://blogs.mathworks.com/loren/2015/08/04/artificial-neural-networks-for-beginners/>. [last access date: 23.01.2019].
- Saxena, A., Shekhawat, S., 2017. Ambient Air Quality Classification by Grey Wolf Optimizer Based Support Vector Machine. *Journal of Environmental and Public Health*. 12.
- Sulfur Dioxide. [Online]. Available: [www.environment.gov.au/protection/publications/factsheet-sulfur-dioxide-so2](http://www.environment.gov.au/protection/publications/factsheet-sulfur-dioxide-so2). [last access date: 12.01.2019].
- Tepe, A.M., Doğan, G., 2019. Investigation of Air Qualities of Four Cities Located on Southern Coast of Turkey. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 7(3), 585 – 595.
- Turgut, D., Temiz, İ., 2015. Time Series Analysis And Forecasting For Air Pollution in Ankara: A Box-Jenkins Approach. *alphanumericjournal*. 3(2), 131-138.
- XieY, Zhao B, Zhang L, Luo R., 2015. Spatiotemporal variations of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> concentrations between 31 Chinese cities and their relationships with SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO and O<sub>3</sub>. *Particuology*. 20, 141-149.
- Yavuz, S., Deveci, M., 2012. İstatiksel Normalizasyon Tekniklerinin Yapay Sinir Ağın Performansına Etkisi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 40(2), 167-187.



## KAHRAMANMARAŞ YEMENİ VE ÇARIKLARINDA KULLANILAN DERİ MALZEMESİNİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Hatice Kübra ARIKAN<sup>1</sup>, Mustafa Oğuz GÖK<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

<sup>2</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Kahramanmaraş Yemenisi, Sürdürülebilirlik, Endüstriyel Tekstil Tasarımı, Deri Tabaklama.*

### Öz

Ayak giyim sektörü olarak bilinen ayakkabı sektörü, teknolojik gelişmeler ve yeni malzemelerin keşfi ile birlikte her geçen gün yeni tasarımlar ile karşımıza çıkmaktadır. Doğal ve geleneksel ayakkabılara olan ilgi geçmişten günümüze devam etmektedir. Bu çalışmada Kahramanmaraş iline ait bir geleneksel giyim ürünü olan yemeniler araştırılmıştır ve bu zanaatı gerçekleştiren ustalar ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Kahramanmaraş yemenisi, kökleri geçmişe dayanan köşkerlik zanaatı ürünüdür. Yemeniyi geleneksel ayakkabılardan ayıran en önemli özelliği, üretiminde sadece deri malzemesinin kullanılmasıdır. Ürünün tamamıyla deri malzemeden oluşması sürdürülebilir ürün tasarımını destekler niteliktedir. Günümüzde yemeni üretiminde kullanılan deri, elde ve fabrikasyon olmak üzere iki şekilde tabaklanmaktadır. Bu çalışmada, zanaatkâr, endüstri ürünleri tasarımcısı ve tekstil ve moda tasarımcısının yer aldığı deneysel çalışmanın ilk kısmında deri ustası ile görüşmeler yapılmış ve yemeni üretimi ve yemeni üretiminde kullanılan deriler hakkında bilgi toplanmıştır. İkinci kısımda ise deri zanaatkârının verdiği bilgiler doğrultusunda, deri zanaatkârından temin edilen, doğal yöntemlerle tabaklanmış deri ile fabrikasyon tabaklanmış derilerin yaş ve kuru durumları üzerinden aşınma dayanımı ve sürtmeye bağlı renk haslığı testleri yapılmıştır. Araştırmanın yöntemleri; literatür taraması, yarı yapılandırılmış görüşme tekniği ve deneysel çalışmaları kapsamaktadır. Gerçekleştirilen görüşmeler sonucunda ustalar kendi çabalarıyla geleneğe sadık kalarak yemeni üretimini geçekleştirdiklerini ifade etmişlerdir. Test sonucunda her iki deride de ıslanma sonucunda aşınma dayanımında azalma meydana geldiği, doğal derinin fabrikasyon deriye göre kullanım şartlarına daha dayanıklı olduğu, doğal derinin ıslandığında sürtmeye karşı renk haslığının arttığı, fabrikasyon derinin ise ıslandığında sürtmeye karşı tam ters bir etki gösterdiği sonucuna varılmıştır.

## INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF LEATHER MATERIAL USED IN KAHRAMANMARAŞ YEMENİ AND ÇARIK

### Keywords

*Kahramanmaraş Yemeni, Sustainability, Industrial Textile Design, Co-design, Leather Tanning.*

### Abstract

In this study, Yemeni, a traditional clothing product of Kahramanmaraş province, was investigated. Meetings were held with the masters who made this craft. Kahramanmaraş yemeni is a product of articulation of art, which has its roots in the past. The most important feature that distinguishes yemeni from traditional shoes is that only leather material is used in its production. The fact that the product is made entirely of leather material supports the sustainable product design. Leather material is not used as it is when it is turned into a product. In this study, in the first part of the experimental study involving the artisan, industrial products designer, and textile and fashion designer, interviews were realized with the leather master and information about the leather used in the production of lemons and lemons was collected. In the second part, in accordance with the information provided by the leather craftsman, abrasion resistance and rubbing-related colour fastness tests were performed on the wet and dry conditions of the leather tanned leather with

\* İlgili yazar/ Corresponding author: mustafaoguz@ksu.edu.tr, +90-344-300-1521

natural methods, obtained from the leather craftsman. Research methods; It includes literature review, semi-structured interview technique and experimental studies. As a result of the interviews, the masters stated that they produced the yemeni with their own efforts, remaining loyal to the tradition. As a result of the test, it was concluded that the wear resistance of natural leather decreased due to wetting, natural leather was more resistant to usage conditions than fabricated leather, natural leather had increased colour fastness against rubbing when wetted, and fabricated leather had a completely opposite effect against rubbing when wet.

#### Alıntı / Cite

Arıkan, H.K., Gök, M.O., (2021). Kahramanmaraş Yemeni Ve Çarıklarında Kullanılan Deri Malzemesinin Özelliklerinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 64-76.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
M.O. Gök, 0000-0003-1269-5228	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	17.03.2020
H. K. Arıkan, 0000-0003-3721-9316	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	03.03.2021
	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	11.03.2021
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

## 1. Giriş (Introduction)

Deri ve deri mamulleri, geçmişten günümüze kadar ki süreç içerisinde Anadolu kültüründe el sanatlarının ana malzemelerinden biri olmuştur. Deri ve deri mamulleri endüstrisinin ham maddesi, hayvanlardan yüzülerek elde edilen hayvan postudur (Ertürk, 2018). Fiziksel ihtiyacı karşılayan ürünlerin yapımında kullanılmasının yanı sıra, deri işlemeciliğinin keşfedilmesi, deri sanatının gelişmesini sağlamıştır. Böylelikle, köklü geçmişe sahip deri ve deri mamulleri estetik unsurları barındıran birer kültürel ürün olmuştur (Özdemir, 2004). Doğal görünümü ile her zaman yenilikleri takip eden ve modanın önemli elemanlarından olma özelliğini sürdüren deri ve deri mamulleri, geleneksel anlamda da hala birçok üretimde kendini göstermektedir. Türkler, deriye fonksiyonellik kazandırmış ve çok çeşitli alanlarda kullanılan farklı ürünleri ortaya çıkarmışlardır. Bu ürünler deri ve deri mamulleri imalat endüstrisinin önemini artmasına yardımcı olmuştur. Deri ve deri mamulleri imalat endüstrisi; İnsanoğlunun evrimine paralel olarak tabaklama ve işlemeden başlayıp, ham deriden işlenmiş deriye kadar ürün çeşitliliği ile, deri kimyasallarının kullanımından deri konfeksiyon üretimine, ayakkabıdan ayakkabı yan sanayisine, saracıye ürünlerinden deri giyim ürünlerine, dekorasyon malzemelerinden mobilya ürünlerine kadar geniş bir üretim alanında faaliyet göstermektedir.

Deri ve deri işleme sanatı, Türk kültürünü ve geleneklerini yansıtan önemli bir zanaattır. Türkler deri teknolojisinin gelişmesinde önemli katkılarda bulunmuşlardır ve deri üzerinde farklı malzeme ve teknikler kullanarak, derinin işlevsel özelliği ile birlikte estetik değerleri barındıran zengin bir deri işleme bilgisine sahip yenilikçi ürünler ortaya koymuşlardır. Orta Asya'da Hun Pazırık kurganlarından çıkarılan yün malzemesinden yapılmış tekstil ürünlerinin yanında deri üzerine aplike edilmiş hayvan motifleri ile eğer örtüleri, yaygılar, kap kacak ve özellikle kırmızı tulumları, madeni aplike kemerler, deri elbiseler ile kenarları kürklü kaftan ve çizmeler, ayakkabılar, savaş araç-gereçleri, derinin kullanım alanları ve süslemeler bu örneklerden bazılarıdır (Özdemir, 2004). Deri malzemesinin ana kullanım alanlarından bir tanesi ayakkabı sektörüdür. Türk kültürünün bir parçası olan ayakkabı, bot, çizme, mest, sandalet, nalın, takunya, terlik, çedik, potin, yemeni, iskarpin vb. isimler ayakkabı sektörü sınıfına girmektedir (Kuru ve Paksoy, 2008).

Köşker, Türk dil kurumunun (TDK) tanımına göre ayakkabı tamiri yapan kişiye verilen isimdir (TDK, 2021). Köşkerlik ise bu mesleğin geleneğini tanımlayan genel bir ifadedir. Köşkerlik geleneğine bağlı olarak üretilen Kahramanmaraş yemenisinin (Kahramanmaraş Yemenisi, 6769 sayılı Sınai Mülkiyet Kanunu kapsamında Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi tarafından "Mahreç İşareti" başlığı adı altında Coğrafi İşareti Belgesi ile 10.04.2018 tarihinde tescillenmiştir), 1800'lü yıllardan itibaren (Dulkadiroğlu Beyliği zamanında) var olduğu bilinmektedir (Kuru ve Paksoy, 2014). Orta Asya'da Türklerin kullandığı çizme ve benzeri ürünlerin günümüzdeki çizme ve diğer ayak giyim ürünleri ile aynı formda olduğu belirtilmektedir (Çoruhlu, 2003). Ancak doğal deri başlangıçta ayakkabı yapımının tüm aşamalarında kullanılırken, zaman içinde birçok değişimden geçerek günümüz modasındaki şeklini ve yerini almıştır. Ayakkabı, tüketime dayalı ekonomik gelişmelerle ve şehir yaşamının gereklilikleri neticesinde, insanların kendilerini ifade etmede sosyal ve statü göstergesi saydıkları çok önemli bir araç olmuştur (Kuru ve Paksoy, 2008). Dericilik zanaatı ile gelişen ayak giyim ürünleri Türklerin batıya göçüyle, Anadolu'ya taşınarak gelişimine devam etmiştir. Bu uzun süreç içinde sosyokültürel yapıya bağlı olarak, ayakkabıda derinin kullanım alanları genişlemiş ve tasarımları da çoğalmıştır (Özdemir, 2004).

Gelişen üretim ve malzeme teknolojisi ile birlikte deri ayakkabı ürünlerinde çeşitlilik artmış ve bu ürünler moda yön veren tüketim elemanı olmaya başlamıştır. Deri ayakkabılarda artan ihtiyaca karşılık verebilmek için deri sanayisinde derinin tabaklama sürecinde endüstriyel yöntemlere yönelinmiştir. Ayakkabı sektörünün ham

maddesi olan derinin tabaklama işlemini doğal yöntemlerle yapan işletmeler az sayıda olsa da, bu sektörün büyük kısmı fabrikasyon tabaklama yöntemini tercih etmektedir. Yapılan alan araştırmalarında, Kahramanmaraş'ta var olan ustaların yemeni yapımında doğal tabaklanmış deri malzemesinin yanı sıra fabrikasyon tabaklama deri malzemesi kullanarak da yemeni üretimini yaptığı gözlemlenmiştir (Kopar, 2019). Deri, doğal yöntemlerle tabaklama işleminden geçtiğinde hem tabakhanede çalışan işçinin sağlığını hem de çevreyi olumsuz etkilemezken, fabrikasyon tabaklama sürecinden geçen ve deri sanayisinde çalışan işçilerin özellikle tabaklama aşamasında kullanılan krom tuzları ve formaldehit nedeniyle üst solunum yolu hastalıklarına ve böbrek rahatsızlıklarına maruz kaldıkları belirtilmiştir. Derinin tabaklanmasında kullanılan kimyasal maddeler, fabrika çalışanları için meslek hastalıklarına sebep olmaktadır. Endüstriden kaynaklanan katı, sıvı ve gaz formundaki atıklar, bu atıkların karıştığı suların kirlenmesi, ağır metallerin kullanılması sonucunda toprağın kirlenmesi ve hava kirliliği çevresel kirliliğin oluştuğuna işaret etmektedir (Cengiz, 2002).

Araştırmanın problemi; geleneğe sadık kalınmasını sağlayacak özelliklerin ortaya çıkarılması ya da önemli farklılıklar varsa doğal tabaklama aşamasını geliştirecek çalışmaların ortaya koyulmasıdır. Araştırma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Araştırmada tarama ve deney yöntemi kullanılmıştır. Tarama yöntemi ile ilk olarak, konu ile ilgili daha önce yapılan araştırma ve kaynaklar taranmış ve günümüzde bu zanaatı hâlâ devam ettiren ustalar ile görüşülmüştür. Araştırmanın deney bölümünde Kahramanmaraş yemenisi yapımında kullanılan doğal deri ile fabrikasyon üretim deri arasındaki farkları tespit edebilmek amacıyla derinin aşınma dayanım ve sürtmeye karşı renk haslığı testleri yapılmıştır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Yapılan bu çalışmada Kahramanmaraş Yemenisi ve köşkerlik zanaatı üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bölgede var olan zanaatkarlar ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ışığında deneysel çalışmalar yapılmıştır.

### 2.1. Köşkerlik Zanaatı ve Kahramanmaraş Yemenisi (Köşkerlik Craft and Kahramanmaraş Yemenisi)

Yemeni kelimesi, bir tür hafif ve kaba ayakkabı anlamına gelmektedir (TDK, 2020). Osmanlı Devleti döneminde Maraş'ta üretilen yemeniler çeşitli isimlerle nitelendirilmiş ve kişinin sosyal statüsüne, medeni durumuna ve mensup olduğu ırkına bağlı olarak verilmiştir. Sarayda görevli kişi farklı bir yemeni stili giyerken saray dışında çalışan kişinin farklı bir yemeni stili (Şekil 1) giymiştir (Özkarıcı, 2012). Yeni yetişen gençler (kız-erkek) portakal ya da narçiçeği kırmızısı renklerinde, daha olgun gençler kırmızı pabuçları, evli olanlar sarı, hardal rengi pabuçları, gelin çocuk sahibi olduktan sonra artık siyah pabucu, dul kadınlar ise yeşil pabucu giymişlerdir (Kuru ve Paksoy, 2014).



**Şekil 1.** Yemeni görselleri a) Sade yemeni, b) Tokalı Osmanlı yemenisi, c) Saray yemenisi, d) Kelik, e) Nakışlı postal, f) Edik (Özkarıcı, 2012).  
(Yemeni images a) Plain yemen, b) Tokalı Ottoman yemen, c) Saray yemen, d) Kelik, e) Embroidered postal, f) Edik)

Kahramanmaraş'ta hayvancılığa bağlı olarak gelişim göstermiş köşkerlik zanaatı ve yemeni ürünü, Orta Asya'dan başlayarak Anadolu Selçukluları döneminde gelişmiş, Dulkadiroğulları ve Osmanlı İmparatorluğu döneminde ise işlenmiş deri ve deri ürünlerinin kalitesiyle zirveye ulaşmıştır. Osmanlı Devleti zamanında Maraş'ta en gelişmiş sanat kolunun dericilik olduğu, şehirde 170 debbağ hane ve 305 pabuççunun (ayakkabıcının) var olduğu bilinmektedir. Cumhuriyet dönemi sonrası Kahramanmaraş'ta köşkerlik zanaatı 1940'lı yıllarda en parlak dönemini yaşayarak üretilen ürünlerin büyük bir kısmının ihraç edildiği ifade edilmektedir (Atalay, 1973).

İnsan ihtiyaçlarının farklılaşması, malzemede ve üretim teknolojisindeki gelişmeler ve ayakkabının fabrikasyon üretiminin başlaması köşkerlik geleneğinin kaybolmaya yüz tutan meslekler arasında yer almasına sebep olmuştur. Kahramanmaraş'ta bu zanaat, günümüzde sayısı giderek azalan yemeni zanaatkârları tarafından icra edilmeye devam etmektedir. Yemeni zanaatkârı, yemeninin güncel ayakkabılara göre ayak sağlığına ve ayak anatomisine uygun olduğuna, diyabet ve cilt rahatsızlığı gibi bazı hastalıkların tedavisinde kullanıldığına dikkat çekmiştir (Kopar, 2019). Günümüze uyarlanan ve modernize edilen yemeni modellerinin turizme ve Kahramanmaraş ekonomisine de katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## 2.2 Köşkerlik Geleneği Ve Güncel Durum

Endüstriyel tasarım, yarattığı katma değer ile hem firmaların rekabet gücünü hem de firmalar üzerinden ülkelerin gelir refahını artırarak olumlu etkide bulunmaktadır. Tasarlanmış ürünler, çevreye ve ekonomiye olan etkileri kapsamında araştırılrsa da son yıllarda sürdürülebilirlik ve tasarımın ara kesitinde sosyal odaklı konular üzerinde çalışılması tasarımın sosyal etkisini de popüler bir araştırma ve uygulama alanı haline getirmiştir. Victor Papanek ile başlayan daha sonraları Nigel Whiteley ve Victor Margolin'in araştırmalarının katılmasıyla "tasarım araştırmalarında sosyal tasarım" kavramı son zamanlarda gündemde hız kazanmıştır (Papanek, 1972; Chen ve ark., 2015). Endüstri devrimi sonrası ortaya çıkan baskın üretim anlayışı yerini, sosyal tasarım kavramı ile topluma değer katmak ve yaşam biçimini iyileştirmek için sıra dışı ve yaratıcı şeyler yapma sürecine doğru evrilmiştir (Fassi ve ark., 2013).

Papanek 1972'de sosyal tasarım kavramını 'Design For Real World' adlı kitabında anlatırken yaşlılar, düşük gelirli, dezavantajlı insanların ihtiyaçlarının karşılanmasını sağlayacak tasarım süreçlerinin gerçekleştirilmesi için çağrıda bulunur. Papanek'in bu çağrısında, pazar için satış sağlayacak ürün tasarımından ziyade, ürün tasarımı disiplini için alternatif bir alan olarak, gelişmekte olan ülkelerde belirlediği insan gruplarına yönelik eylem planlarını anlatır. Ayrıca bu çağrı yeniden ihtiyaç grupları için düşünülmüş ürünler olarak değil aynı zamanda sosyal tasarım adı altında sistem veya organizasyon inovasyonu olarak da düşünülebilir. Bu çağrı sonrasında artan üretim ve tüketim hızına karşılık dünyanın ekolojik ve ekonomik dengesinin değişmesi, araştırmacıların ilgisini gelecek kaygısına çevirmiştir. Ulusların mevcudiyetini koruma kapsamında ekonomisine sahip çıkmasının yanı sıra daha yaşanabilir dünya algısı ile sürdürülebilirlik kavramının çevresel boyutunu da gündeme getirilmiştir (Brundtland, 1987). Hatta küreselleşen üretim anlayışının yanında farklılaşma stratejisi olarak, uluslar kültürlerini yaşatma ve sürdürme çabası içerisindedirler.

Ulusları var eden ve kültürel kimliklerinin önemli somut varlıkları zanaat ve ürünleridir. Geçmişte geniş istihdam sağlayarak önemli üretim sektörü olan zanaat, kültürel ürün, üretim ve sistem bilgisi taşımasıyla önemli milli değerlerdir. Ancak, zanaat, günümüzde gelişen teknoloji, malzeme çeşitliliğinin artması ve üretim için kullanılan ekipmanların mekanizasyonu sebebiyle, geçim kaynağı olmaktan uzaklaşmış, zanaat ürünlerine olan ilgi de azalmıştır (Archer, 1981). Ayrıca, zanaat ve ürünlerine ilginin azalmasının yanı sıra derinleşen ekolojik sıkıntılar ve küresel mali kriz, alternatif kalkınma modellerinin ortaya konulmasını gerektirmektedir. Bu gereklilik dâhilinde yeni bir ürün, sistem ya da üretim teknolojisi geliştirmek, zorluklar içermektedir.

Öte yandan, geçmişte var olup günümüzde kullanımı unutulmuş ürün ya da sistemlerin yeniden gözden geçirilerek kullanıma dâhil edilmesi, başka bir ifade ile eskinin geleneksel yaşantısındaki ürünler ya da sistemlerin günümüzde tasarım nosyonu ile sürdürülebilir hale getirilmesi, önemli bir çözüm olarak belirlemektedir. Ortaya çıkan faaliyetlerin önemli çıktıları, yaratıcılık, ürünün yayılması ve küreselleşen kültür varlıkları olmasıdır. Endüstriyel tasarımı da bu süreçte kültürü somutlaştıran zanaat ile sosyal inovasyon arasındaki köprü işlevi görerek, sürdürülebilir üretkenliğin güçlü bir destekçisi olmuştur (Manzini, 2010). Bu bağlamda, bugün büyük oranda turistik yerel ürün halini alan köşkerlik geleneği ve ürünleri, tasarım desteği ile günümüz hayat şartları, üretim ve malzeme olanakları ve pazarına uygun hale getirilmesi, hem geleneksel işkolunun hem de kültürel bir biçimin sürdürülebilirliği açısından önem kazanmaktadır.

Köşkerlik geleneğinin sürdürülmesi kapsamında fikir geliştirilmesi ve bu geleneğin icracılarının mevcut durumlarını anlayabilmek için Kahramanmaraş'ta üretim yapan ve Tarihi Kahramanmaraş Bakırcılar Çarşısı'nda dükkân sahibi olan 8 yemeni zanaatkârı ile yarı yapılandırılmış görüşme yapılmıştır. Ayrıca köşkerlik zanaatının mevcut durumunu daha iyi anlayabilmek için komşu il Gaziantep'te bu zanaatı icra eden 2 yemeni zanaatkârı ile de görüşme gerçekleştirilmiştir.

Görüşme kapsamında; bu meslekte ne kadar yıl çalıştıkları, yemeni üretiminin hangi aşamasında yer aldıkları, yemeniyi satın alan kitlenin kimler olduğu (yerli veya turist), kimlere pazarladıkları (ulusal ya da uluslararası pazar), yemeni çeşitlendirmesinde ne gibi yöntemler kullandıkları, yemeni zanaatının sürdürülebilirliğine ilişkin ne gibi çalışmalar yaptıkları veya projede yer alıp almadıkları sorulmuştur. Yöneltilen bu sorular karşısında alınan cevaplara aşağıda yer verilmiştir. Hatta yemeni üretiminde kullandıkları derileri nerelerden temin ettikleri bilgileri yarı yapılandırılmış görüşme kapsamı içerisinde yer verilmiştir.

Yarı yapılandırılmış görüşme kapsamında hazırlanan sorular için alınan cevapların genel değerlendirmesi şu şekilde olmuştur. Kahramanmaraş'ta köşkerlik geleneği üzerine yemeni üretimi yapan zanaatkarların tamamına yakını baba mesleğini devam ettirmektedir ve en az 25 yıldır bu işi yapmaktadır. Bu mesleği kendilerinden sonra devredecekleri bir nesil olmadığını belirtmektedirler. Zanaatkarların çoğunluğu ilköğretim seviyesinde mezuniyete sahiptirler. Çıracılık derecesinde bu mesleğe başlayıp ustalık unvanı ile devam etmektedirler. Zanaatkarlar, yemeni üretiminin her aşamasına vakıflar ve modelleme işini de kendileri yapmaktadır. Zanaatkarların çoğunluğu özgün üretim yöntemini kullanmakta fakat birkaçı dikim aşamasında makine de kullandığını ifade etmiştir. Farklı yemeni modeli olarak Osmanlı Devleti arşivinden modellerin üretimini de yapan sadece 3 zanaatkar vardır ve diğer zanaatkarlar piyasaya çıkan modelleri görüp kendileri de ürettiğini belirtmişlerdir. Herhangi bir esinlenme kaynakları da olmayıp var olan ürünlerden farklı bir üretme çabasında da olmadıkları gözlemlenmiştir. Üretilen yemenileri 2 zanaatkarın yurt dışına da satış yaptığı bilgisi dışında diğerleri yerli kullanıcılara sattığını ve çevre illere pazarladıklarını belirtmişlerdir (Şekil 2). Üretimde her yaş kesimi için yemeni dikildiği, özel kitle olarak otomobil lastiği yemeni tabanı olarak kullanarak dağlık alanlarda yaşayan ve çalışan kimseler için yapıldığı belirtilmiştir. Kullanıcısından geri bilgi olarak yenileme yaptıkları ürün olmamış ve gelen müşteri var olan ürün üzerinden alım yaptığı belirtilmiştir. Yemeni üretiminde kullanacakları derilerin cüzi bir kısmını ilde yer alan tabakhanelerden diğer kısmını ise İstanbul ve Isparta'daki fabrikasyon üretim tesislerinden temin edildiği belirtilmiştir (Zanaatkarlarla görüşmeler, 2020).

Görüşme kapsamında yer alan zanaatkarlar, üretimlerini destekleyecek herhangi bir proje veya kurumdan finansal destek almamışlardır ve kendi sermayeleri üzerinden devam ettirmişlerdir. Herhangi bir proje de destek aldınız mı sorusuna cevaben sadece 2 zanaatkar ulusal platformda düzenlenen projede yer aldığını belirtmiştir. Ayrıca bir zanaatkar uluslararası festival ve tanıtım organizasyonlarına katıldığını ifade etmiştir (Zanaatkarlarla görüşmeler, 2020).



**Şekil 2.** Kahramanmaraş'ta köşkerlerin özgün yemeni üretiminde kullandıkları el aletleri ve ürettikleri yemeniler (Zanaatkarlarla görüşmeler, 2020) (The hand tools and produced yemeni used by the traditional shoes producer in the production of original yemeni in Kahramanmaraş)

Saraciye geleneğine yön veren hayvancılık bilgisi üzerine gelişim göstermiş olan ayakkabı sektörü için köşkerlik, ciddi bir kültürel ve iş gücü kaynağıdır. Kahramanmaraş'ta köşkerlik zanaatına bağlı olarak gelişim gösteren ayakkabı sektörü bu zanaattan bağımsız hareket ettiği gözlemlenmiştir. Gaziantep gibi endüstrisi ve turizm açısından hareketli bir ile komşu olan Kahramanmaraş, nispeten kendi içine kapanık bir yapı göstermektedir. Ancak yörede tek kalmış zanaat ustası değişen şartlara direnmekte ve tümüyle geleneksel üretime devam etmektedir (Arıkan ve Akbulut, 2016).

Köşkerlik geleneği, üretim ve tüketim potansiyeli dâhilinde ürünlerinin estetik değer üzerinden ve fonksiyonel değer üzerinden farklı malzemeler ile yeniden yorum katılarak, modellenmesine farklılık katacak yeni teknikler eklenerek veya pazarlamada yeni stratejiler uygulanarak devam ettirilmesi, bu zanaatı sürdürülebilmeyi sağlayacak güncel metotlar içerisinde yeniden ele alınması için önemli olacaktır. Ayrıca köşkerlik ürünü yemeninin üretimde kullanıcıya ulaşmaya kadar olan süreçte tasarım odaklı bir yaklaşım içinde hedef kullanıcı düşünülerek yeniden yapılandırılması bu geleneğin sürdürülmesi ve küreselleşmesi için değer atfedecektir.

### 2.3. Kahramanmaraş Yemenisi Üretim Süreci (Kahramanmaraş Yemenisi Production Process)

Kahramanmaraş yemenisinin, saya kısmı siyah dana derisinden, tabanı daha kalın olan sığır ve manda derisinden (gön) dikilen topuksuz (ökçesiz) ayakkabıdır (Arıkan ve Akbulut, 2016). Üretim süreci farklı aşamalardan oluşmaktadır.

Tabaklamış deri, kesime hazırlanması için muşta olarak isimlendirilen el aleti ile dövülmekte ve derinin açma işlemi gerçekleştirilmektedir. En-boy sabitlemesi yapılan deri üzerine kesim işlemi gerçekleştirilecek olan yemeni kalıpları yerleştirilmekte ve uygun yerleşim sonrası kalıpların kesimi yapılmaktadır. Taban ve saya istampa adı verilen kalıba uygun şablon ile kesilmektedir. Derinin her bir bölgesi farklı özelliğe sahip olmasından dolayı her bir bölgeden yemeni ürünün farkı kısımlarının kesimi yapılmaktadır. Örneğin, yemeni tabanlığında dayanıklı ve



sert deri kullanılırken saya kısmında ise işleme ve bezemeye imkân veren ayağı sarabilen daha yumuşak deri kullanılmaktadır. Böylelikle, bir yemeni üretiminde 5 farklı deri çeşidi kullanılmış olur (Kopar, 2016).

Yemeni, tümüyle deri malzemedendir yapılmaktadır. Hayvanın sırt, boyun, kuyruk üstünden alınan deriler yemeninin tabanlığında kullanılırken; karın bölgesinden alınan deriler saya bölgesinde yani yemeninin üst kısmında kullanılmaktadır. Tabaklanmış derilerden yapılan yemeninin tabanında camız ve manda köselesi, astarda koyun derisi kullanılmaktadır. Sayanın dikiminde, deri kenar kıyı ve biyeleri kıyılık dönme dikişi ile yapılmaktadır. Üründe temiz bir görüntü verilmesi sağlanmaktadır. Taban ile yüzün birleştirilmesi ise bizle açılan deliklerden ters dikiş ile yapılmaktadır. Bu işlemler sırasında yapıştırıcı kullanılmaz ya da çiriş adı verilen doğal yapıştırıcı kullanılır ve dikimde kullanılan pamuklu ipliğin sağlamlaştırılması balmumu ile yapılmaktadır (Kuru ve Paksoy, 2008). Sayada yapılan model değişiklikleri yemeninin farklı isimler almasını sağlamaktadır. Kalıplanan parçalar dikim yapılarak yemeni formuna dönüştürülür. Ayrıca dikim işlemi sırasında kösele ile tabanlıklar arasına kil tabakası çiriş ile karıştırılarak yerleştirilir. Kullanımda kil malzemesi, ayağın ergonomik formunu alması sağlar. Kil kullanımı, giyim sürecinde oluşan nem, bakteri ve mantar oluşumuna karşı koruma sağladığı için yemeniyi günümüz ayakkabılarına karşı önemli tercih sebeplerinden biri haline getirmektedir. Taban ile yüzün tersten birleştirilmesinden sonra, yemeninin ıslatma işlemi ile derinin yumuşatılması sağlanır. Elde dikilerek çevrilen yemeni, su içerisinde bekletilerek yumuşatıldıktan sonra, ayağın şeklini alabilmesi için kalıba giydirilerek kurumaya bırakılır. Kalıpta son şeklini alan yemeni, derinin doğal rengi ya da toprak ve ağaç köklerinden elde edilen boya ile istenilen renkte boyanır. En çok kullanılan renkler siyah, kırmızı, yeşil, portakal ve sarıdır. İsteğe göre mor, pembe, mavi ve benzeri renkler de kullanılmaktadır. Boyanan üst yüzey kısmı son olarak badem yağı ve süt karışımı ile kaplanır. Bu işleme cilalama denir. Cilalama işlemi ile boyanın derinin iç kısmına emdirilmesi sağlanarak, kullanım esnasında ayağa geçmesi önlenmiş olur (Kopar, 2016).

#### **2.4. Derinin Tabaklanması (Tanning of the Skin)**

Derinin hayvanlardan yüzüldükten sonra kullanıma hazır hale getirme işlemine tabaklama denir. Tabaklama işleminin geçmişi Sümerliler dönemine kadar dayanmaktadır ve Sümer kil tabletlerinde yazılı olduğu belirtilmektedir. Bu tabletlerde tabaklama işleminin nasıl yapıldığı ve hemen hemen her hayvanın tabaklama işlemine dair bilgilerin bulunduğu ifade edilmektedir (Akbulut, 2009).

Hayvanlardan elde edilen deri, canlıyken esnek ve yumuşak yapıya sahiptir. Ancak hayvan üzerinden yüzülmüş deri, sert ve kırılabilir yapıya dönüşür ve kokmaya başlar. Bu sebeple, tabaklama işlemi deriyi canlıyken sahip olduğu yumuşak ve dayanıklılık özelliğini korumasını sağlarken ileriki zamanlarda deriden ürün yapımına imkân verir. Geçmiş zamanlarda derinin tabaklanmasında kullanılan doğal işlemler günümüzde de devam ettirilmektedir. Ancak endüstriyel üretime uyarlanabilmesi ve derinin sahip olduğu doğal tabaklamadan oluşan kötü kokuları azaltmak için kimyasal ürünler de kullanılmaktadır. Tabaklama iki şekilde yapılmaktadır.

##### **2.4.1. Doğal Tabaklama (Natural Tanning)**

Deri, üretilecek mamul türünün kullanım yeri ve amacına göre farklı tabaklama yöntemlerine sahiptir. Derinin tabaklama işlemi iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım tabaklamaya hazırlık, ikinci kısım ise tabaklama kısmıdır. İlk aşama olarak, hayvandan yüzülmüş derinin bozunmasını ve kokmasını önlemek amacıyla tuzlu su ile muamele edilmesidir. Tuzlanmış deri kolaylıkla saklanabilir ve istenen zamanda işleme koyulabilir. Sıradaki diğer işlem ise postta bulunan kılları gidermektir. Hayvan idrarının bulunduğu teknelerde deri postu bekletilir. Böylelikle kıl ve tüyler kolaylıkla deri yüzeyinden uzaklaştırılır. Bu işlemin ardından hayvan gübresi, deri yüzeyine sürülür ve gübrede bulunan enzimlerin deri yüzeyinde bulunan proteinleri parçalayıp uzaklaştırmasını sağlayarak derinin terbiye işlemine hazır hale gelmesine yardımcı olur. Deri yüzeyine sürülen hayvan gübresi çeşidi olarak köpek ve kuş gübresi tercih edilir. Tabaklama işleminde hazırlık aşamasından sonra deriyi oluşturan lifler arasında kimyasal bağlar oluşturup derinin dayanımını artırmak, esneklik kazandırmak ve uzun ömürlü olmasını sağlamak amacıyla nar kabuğu, somak bitkisi çekirdekleri ve dallarından veya meşe palamudundan oluşan karışım içerisinde deri yüzeyi bekletilir ve terbiye edilir. En son işlem, derinin yağlanmasıdır. Yağlama yapılmasının nedeni, yağlama ile derinin tokluk değerini artırmaktır (Akbulut, 2009; Kopar, 2019). Yağlama işleminden sonra yapılacak işlemler son terbiye işlemlerine girmektedir. Derinin kullanım yerine ve amacına göre son terbiye işlemleri değişmektedir. Deri, doğal kökboya ile boyanarak boyama işlemi yapıldıktan sonra kurumaya bırakılmaktadır.

##### **2.4.2. Kimyasal Tabaklama (Chemical Tanning)**

Deri, endüstriyel tabaklama sürecinde kimyasal terbiye işleminden geçmektedir. Derinin kimyasal maddeler kullanılarak tabaklanmasındaki temel amaç tabaklama aşamalarını standardizasyonun sağlanması ve endüstriyel üretime uyarlayabilmektir. Deri işletmelerinde üretim maliyetini azaltmak için kimyasalların giderildiği aşama ya kısa tutulmakta ya da yapılmamaktadır. Kimyasal tabaklama işleminden geçen bütün derilerin %85'inin krom

esaslı üretim teknolojisi ile üretildiği belirtilmektedir. Krom tabaklamasının, deri teknolojisinin endüstri ölçeğinde gelişimini sağladığı ifade edilmektedir (Tegtmeier ve Klebon, 2013).

Kimyasal tabaklamasının adı, tabaklama aşamasında kullanılan kimyasal maddenin adına göre isimlendirilir. Bu aşamada en çok kullanılan kimyasal madde krom ve türevleri olduğu için krom tabaklama üzerinden anlatılmıştır. Doğal tabaklama yöntemlerinde olduğu gibi kimyasal tabaklama yöntemlerinde de deri hayvan üzerinden alındıktan sonra saklanabilmesi ve derinin kokmaması için tuzlanır. Genellikle tuzlama maddesi olarak, tuzlar, sodyum bisülfid, formik asit, keratin, sodyum sülfür ve zırnık kullanılır (Çavdar, 2014). Daha sonra şu işlemlerden geçirilir;

**Islatma:** Tuzlanıp kurutulmuş derinin eski hacmini ve kaybettiği suyu geri kazandırmak amacıyla yapılır. Deri ıslatma işlemi ile yumuşarken suda ve tuzda çözünen proteinler böylelikle uzaklaştırılır. Atılan tuz ile birlikte deride buluna mikroorganizmalar ve pislikler de uzaklaştırılır (Çavdar, 2014). Tuzlama işlemi ile 6 aya kadar deriler bozulmadan saklanabilmektedir.

**Kıl giderme ve kireçlilik:** Ham deride bulunan keratin, protein ve kıl ve tüyü uzaklaştırmak için yapılır. Alkali tekniklerinde deride şişme yaparak gözeneklerin açılması ve kıl ve tüylerin dökülmesi sağlanır. Kıl giderme kireçlilik işlemine kaveta da denir. Bu işlem esnasında kullanılan kimyasal maddeler; sodyum sülfür, amonyum tuzları, kalsiyum oksit sönmüş kireç, zayıf asitler: borik asit, sodyum bisülfid ve laktik asittir (Çavdar, 2014).

**Kireç giderme ve sama:** Kireçlilik aşamasında kimyasal bağ ile bağlanan kirecin uzaklaştırılması ve deriye esneklik ve yumuşaklık kazandırmak için uygulanır. Sama işlemi ile deri yapısındaki kıl kökleri ayırma yapılır. Sama işleminde deriye esneklik kazandırılır. Kireç giderme işleminde hidroklorik asit, sülfirik asit, formik asit, laktik asit, asetik asit, amonyum klorür ve amonyum sülfat gibi kimyasal maddeler kullanılır. Sama işleminde ise, sama enzimi (proteas), ağ ve şeker parçalayan enzim: lipas ve glikosyas kullanılır. Bu enzimlerle yağ giderme işlemi de yapılmış olur (Cengiz, 2002; Çavdar, 2014).

**Piklaj:** Bir diğer ismi salamura olan piklaj aşaması, deriyi konserve ederek kromla tabaklamaya hazırlama aşamasıdır. Bu aşamada piklaj tuzu, formik asit, sülfirik asit, piklaj katkı maddeleri: formaldehit, glutardialdehit ve alüminyum tuzlarıdır (Çavdar, 2014).

**Krom tabaklama:** Sepileme olarak da ifade edilen krom debogat, bozunur haldeki ham deriyi bozunmaz hale getirilme işlemine denir. Tabaklamaya ismini veren krom maddesi, krom oksit, krom sinterler olarak kullanılırken ayrıca sodyum bikarbonat, sodyum formiat kimyasal maddeleri de kullanılır (Çavdar, 2014).

**Sıkma-yıkama ve traş:** Sıkma işlemi ile mekanik olarak kalınlık ayarının ön aşaması yapılırken traşlama ile de kalınlık ayarının diğer aşaması tamamlanır. Yıkama işlemi ile de deriye yapışmış atık maddeler ve bağlanmamış krom tuzlarının atılması sağlanır. Yıkama işlemi esnasında kimyasallar kullanılır ve bu maddeler genellikle non iyonik sülfektanlar ve asetik asittir (Çavdar, 2014).

**Nötralizasyon:** Derinin asidik-bazik dengesi olan pH yapısını ve daha sonraki işlemlerde kullanılacak olan pH yapısına yaklaştırmaktır. Bu aşamada sodyum formiat, sodyum karbonat ve nötralsinterler kullanılır.

**Boyama:** Boya maddeler ve müşteri ya da kullanıcı için ticari ölçümler içerisinde istenilen rengi elde etmektir. Genellikle azo boya maddeler kullanılmaktadır. Bu boya grubu dışında ise direk boyalar, metal kompleks boya maddeleri asit boya maddeleri, sıvı boya maddeleri ve katyonik boya maddeleri kullanılmaktadır.

**Retenaj:** Derinin tabaklama işlemi sırasında oluşan gözenekleri retenaj malzemeleri ile doldurma işlemidir. Bu işlem ile deri sağlamlaştırılarak elastik bir yapı kazandırılmakta ve yırtılma direncini artırılmaktadır. Bu işlem esnasında kullanılan kimyasallar; krom oksit, alüminyum oksit, aldehit çözeltileri, formaldehit ve akrilik retenajmoddur (Çavdar, 2014).

**Yağlama:** Yağlama işlemi ile deriye yağlama maddeleri bağlanarak esneklik kazandırılır. Ayrıca yağlama ile su geçirmezlik etkisi de verilir. Yağlama esnasında kullanılan kimyasal maddeler; alifatik hidrokarbonlar, aromatik hidrokarbonlar, halojenli hidrokarbonlar, emülgatör ile sülfire edilmiş yağlar, sentetik yağlama maddeleri ve kombine yağlardır.

**Fiksasyon:** Belirli amaç için kullanılan kimyasal maddeleri deri ile bağlanmasını sağlamaktır. Bu aşamada formik asit ve asetik asit kullanılmaktadır.

Fiksasyon işlemi sonrası deri fiziksel olarak bazı mekanik özellikleri kazanması için tavlama, gergi ve finisaj işlemlerine de tabi tutulur. Tavlama ile derinin nem doygunluğu ayarlanırken, gergi işlemi ile de deri gerilerek

alan genişlemesi sağlanır. Finisaj işlemi ile de kimyasal ve mekaniksel işlemlerden geçmiş derinin kullanım özelliklerini iyileştirmek adına tüm işleme denir. Finisaj aşamasında kullanılan kimyasallar; kazein, formaldehit, formaldehit krom tuzu, binderler ve selüloznitrat organik çözücülerde çözünerek kullanılırlar. Titandioksit, çikobeyazi, kurşun kromat, demir oksit, organik pigmentler (pigmentler), aseton esterler eter alkoller (çözücüler) ve aromatik hidrokarbonlardır.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada doğal ve fabrikasyon deri örneklerinin, yemeni ve çarıklarda kullanım şartlarında kuru ve yaş haldeki aşınma dayanımları ve sürtünmeye karşı renk haslıkları analiz edilmiştir. Analiz sonuçları incelenmiş ve bu analizler arasındaki bağlantılar yorumlanmıştır. Doğal ve fabrikasyon deriler herhangi bir boyama işleminden geçmemiş olup doğal deri Kahramanmaraş tabakhanesinden fabrikasyon deri ise Isparta/Yalvaç'tan temin edilmiştir.

#### 3.1. Deri Kumaşlarda Aşınma Dayanımı Testi ve Kullanılan Malzemeler (Abrasion Resistance Test and Materials Used in Leather Fabrics)

Boncuklanma; Yüzeyde bulunan liflerin bir yerlere takılması sonucunda ayrılması ve kullanımı esnasında istenmeyen kumaş topları görüntüsünün meydana gelmesi işlemidir. Liflerin dolaşması sonucu oluşan bir bozukluktur. Lif, iplik ve kumaş yüzeyine göre boncuklanmanın boyutları ve sıklıkları değişebilmektedir. Bu aşamada deri yüzeyin direncini tespit etmek amacıyla martindale cihazı kullanılmıştır. Boncuklanma ve yüzey değişimine karşı gösterdiği dirençler analiz edilmiştir.

Martindale cihazı, aşınma dayanımı ve boncuklanma direncinin ölçülmesinde kullanılan bir cihazdır (Şekil 3). Bu işlemin temel prensibi kumaşın kendisine sürtmesidir. Bu cihazın kullanımında; numunenin kondisyonlanması, analize hazırlanması ve analizin yapılması aşamaları büyük önem taşımaktadır. Analizin yapılmasında TS EN ISO 12945-2 standardı esas alınmıştır.



Şekil 3. Martindale Cihazı (Martindale Device)

#### 3.1.1. Deri Kumaşlarda Aşınma Dayanımı Testi Kullanılan Malzemeler (Materials Used in Abrasion Resistance Test in Leather Fabrics)

Analiz için gerçek ve fabrikasyon deri numuneleri tedarik edilmiştir. Derilerin analize hazırlanmasında su ve sünger malzemeleri kullanılmıştır. Test için SDL Atlas M 235 Martindale Aşındırma cihazı kullanılmıştır. Cihaz üzerinde tahrik mekanizması, taban kaide parçaları, boncuklanma masası, numune tutucu kılavuz, keçe, köpük, numune kumaşı aşındırıcı, standart deney numune kumaşı, vb. yardımcı malzemeler bulunmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Numune kesme cihazı ve yardımcı malzemeler (Sample cutting device and auxiliary materials)

Bu cihazda uygun test metodu standardı program olarak yer almaktadır. Test sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla ışıklı muayene kabini kullanılmıştır. Bunlarla birlikte kesici alet, makas, cetvel ve test numuneleri kullanılan diğer analiz malzemeleridir.

### 3.1.2. Deri Kumaşlarda Aşınma Dayanımı Testi Numune Hazırlama (Abrasion Resistance Test Sample Preparation in Leather Fabrics)

Fabrikasyon derinin analize hazırlanmasında kullanım için uygun standart atmosfer şartları sağlanmıştır. Süngerli bir malzeme ile ıslatılmıştır. 5-10 dk bekletilmiştir ve daha sonra analize uygun hale getirilmiştir. Doğal deri analize hazırlanırken ilk olarak su dolu bir kova içerisine yerleştirilmiş ve 5-10 dk arasında burada bekletilmiştir. Bekledikten sonra kova içerisinden çıkartılarak düz zemin üzerine serilmiş ve ovalama yapılarak suyun fazlası uzaklaştırılmıştır. 5-10 dk arasında bekleme yapılarak analize hazır hale getirilmiştir.

Numune seçiminde benzer yüzey alanının olmamasına dikkat edilmiştir ve kumaşın farklı bölgelerinden rastgele numune alınmıştır. Her bir deneme için 3 çift örnek alınmıştır. Testin yapıldığı ortamın ortalama sıcaklık  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  ve bağıl nem  $\%65 \pm 2$  dir.

### 3.1.3. Deri Kumaşlarda Aşınma Dayanımı Testi Deneyin Yapılışı (Abrasion Resistance Test Experiment on Leather Fabrics)

Standartlara uygun olarak hazırlanan numuneler kodüsyonlanarak test cihazına yerleştirilmektedir. Sürtme hareket sayıları ve periyotları belirlenmektedir. Belirli periyotlar halinde boncuklanma seviyesi değerlendirilmektedir. Test sonunda numunelerin ışıklı kabinde değerlendirilmesi Tablo 1'e göre göz ile yapılarak derecelendirme yapılmaktadır. Bu işlem belirli sayıda tekrarlanarak devam etmektedir.

**Tablo 1.** Aşınma dayanımı testi göz ile değerlendirme dereceleri (TSE EN ISO 12945-2) (Abrasion resistance test visual evaluation degrees)

Derece	Tanım
5	Değişme yok
4	Hafif bir tüylenme
3	Orta düzeyde tüylenme ve/veya belirgin bir boncuklanma.
2	Belirgin bir tüylenme ve/veya belirgin bir boncuklanma.
1	Yoğun yüzey tüylenmesi ve/veya boncuklanma

### 3.2. Deri Kumaşlarda Sürtmeye Karşı Renk Haslığı (Color Fastness Against Rubbing in Leather Fabrics)

Sürtmeye karşı renk haslığı, bir kumaşın bir diğer kumaşa temas etmesi halinde sürtünme ile renginin karşı tarafa aktarılmasına karşı direncini ifade eder. Yaş ve kuru sürtme olarak iki şekilde olmaktadır. Bu çalışmada TS EN ISO 105-X12'ye atıf yapılmıştır.

#### 3.2.1. Deri Kumaşlarda Sürtmeye Karşı Renk Haslığı Testinde Kullanılan Malzemeler (Materials Used in Color Fastness Test Against Rubbing in Leather Fabrics)

Çalışmada; pamuklu sürtme bezi, gri skala, su geçirmez zımpara kağıdı (deney numunelerinin yerinden oynamasını önlemek için), SDL Atlas sürtme deney cihazı (Crockmeter ) kullanılmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Sürtme deney cihazı (Friction tester)

#### 3.2.2. Deri Kumaşlarda Sürtmeye Karşı Renk Haslığı Testi Numune Hazırlama (Color Preparation Test Sample Preparation Against Rubbing in Leather Fabrics)

Deri kumaşlarda aşınma dayanımı testi numune hazırlama ile aynı yöntemler kullanılmıştır.

### 3.2.3. Deri Kumaşlarda Sürtmeye Karşı Renk Haslığı Testinin Yapılışı (Performing Color Fastness Test Against Rubbing in Leather Fabrics)

Standartlara uygun olarak hazırlanan deriler kondüsyonlama sonrasında cihaza yerleştirilmektedir. Sürtme cihazı ile sürtme işlemi gerçekleştirilmektedir (10 ileri ve 10 geri hareket). Numuneler cihazdan alınır ve standart atmosfer koşullarında en az 4 saat kondüsyonlanır (Şekil 6).



Şekil 6. Sürtme işlemi gerçekleşmiş numuneler (Samples with rubbing process)

Cihazdan alınan numuneler lekelenme derecelerine göre göz ile Tablo 2'de yer alan gri skalaya göre değerlendirilmektedir.

**Tablo 2.** Haslık testi göz ile değerlendirme dereceleri (TSE EN ISO 12945-2) (Degree of fastness test visual evaluation)

1	En Düşük Haslık Değerı
1/2	
2	
2/3	
3	
3/4	
4	
4/5	
5	En Yüksek Haslık Değerı

## 4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Bu analizler Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Üniversite-Sanayi-Kamu İşbirliği geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (ÜSKİM) Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir. Burada kullanılan tüm cihazların akreditasyonu yapılmıştır.

### 4.1. Doğal Derinin Kuru ve Yaş Haldeki Kumaşlardaki Aşınma Dayanımı Sonuçları (The Abrasion Resistance Results of Natural Leather in Dry and Wet Fabrics)

Doğal derinin kuru ve yaş haldeki kumaşlardaki aşınma dayanımı sonuçları Tablo 3 ve Tablo 4'te yer almaktadır.

**Tablo 3.** Doğal Derinin Kumaşlarda Aşınma Dayanımı Tayini-Kuru Test (Determination of Abrasion Strength in Fabrics-Dry Test)

Test Adı	Test Sonuçları		Test Metodu
	Devir	Derecelendirme	
Kumaşlarda Aşınma Dayanımı Tayini Kuru Test	250	5	TS EN ISO 12945-2
	500	5	
	1000	5	
	1500	5	
	2000	4/5	
	2500	4/5	
	3000	4/5	
	3500	3	
	4000	2/3	

**Tablo 4.** Doğal Derinin Kumaşlarda Aşınma Dayanımı Tayini-Yaş Test (Determination of Abrasion Resistance in Fabrics-Wet Test)

Test Adı	Test Sonuçları		Test Metodu
	Devir	Derecelendirme	
Kumaşlarda Aşınma Dayanımı Tayini Yaş Test	250	5	TS EN ISO 12945-2
	500	5	
	1000	5	
	1500	5	
	2000	5	
	2500	4/5	
	3000	4	
	3500	4	
	4000	4	

Tablo 3 incelendiğinde, kuru halde işleme alınan derinin 250, 500, 1000 ve 1500 devir sayılarında deri kumaşın derecesinde değişme olmadığı, derecesinin 5 olduğu gözlemlenmiştir. 1500 devirden itibaren 3000 devire kadar az miktarda aşınma meydana geldiği görülmüştür (4/5 derecesinde). 3000 devirden itibaren önemli derecede aşınmalar meydana gelmeye başlamıştır (3 ve 2/3 derecelerinde).

Tablo 4 incelendiğinde, doğal derinin ıslatılmasından sonra 2000 devire kadar dayanımda bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir (5 derecesinde). 2000 devirden sonra 2500 devire kadar az miktarda aşınma meydana gelmiştir (4/5 derecesinde). 2500 devirden itibaren 4000 devire kadar ise yine az miktarda aşınmanın meydana geldiği görülmüştür (4 derecesinde).

Bu tablolardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ıslatma işlemi sonrasında gerçek derinin aşınma dayanımında önemli bir artışın görüldüğü tespit edilmiştir (Tablo 3 ve Tablo 4).

#### 4.2. Fabrikasyon Derinin Kuru ve Yaş Haldeki Kumaşlardaki Aşınma Dayanımı Sonuçları (Abrasion Resistance Results of Fabricated Leather in Dry and Wet Fabrics)

Fabrikasyon derinin kuru ve yaş haldeki kumaşlardaki aşınma dayanımı sonuçları Tablo 5 ve Tablo 6'da yer almaktadır. Tablo 5 incelendiğinde kuru halde işleme alınan derinin 250, 500, 1000 ve 1500 devir sayılarında deri kumaşın derecesinde değişme olmadığı, derecesinin 5 olduğu gözlemlenmiştir. 1500 devirden itibaren 2000 devire kadar az miktarda aşınma meydana geldiği görülmüştür (4/5 derecesinde). 2000 devirden itibaren 3000 devire kadar az miktarda daha aşınma meydana gelmiştir (4 derecesinde). 3000 devirden sonra ise aşınmanın miktarı artış olmuş ve önemli derecede aşınma meydana gelmiştir (3/4 derecesinde).

**Tablo 5.** Fabrikasyon deri kumaşlarda aşınma dayanımı tayini-Kuru test (Determination of abrasion resistance in fabricated leather fabrics-Dry test)

Test Adı	Test Sonuçları		Test Metodu
	Devir	Derecelendirme	
Kumaşlarda Aşınma Dayanımı Tayini Kuru Test	250	5	TS EN ISO 12945-2
	500	5	
	1000	5	
	1500	5	
	2000	5	
	2500	4/5	
	3000	4/5	
	3500	4	
	4000	4	

**Tablo 6.** Fabrikasyon deri kumaşlarda aşınma dayanımı tayini-Yaş test (Determination of abrasion resistance in fabricated leather fabrics-Wet test)

Test Adı	Test Sonuçları		Test Metodu
	Devir	Derecelendirme	
Kumaşlarda Aşınma Dayanımı Tayini Yaş Test	250	5	TS EN ISO 12945-2
	500	5	
	1000	5	
	1500	5	
	2000	4/5	
	2500	4	
	3000	4	
	3500	3/4	
	4000	3/4	

Tablo 6 incelendiğinde 1500 devire kadar aşınma meydana gelmemiştir. 1500-2000 devir arasında aşınma başlamıştır (4/5 derecesinde). 3000 devire doğru aşınma miktarı biraz daha artış göstermiştir (4 derecesinde).

3000 devirden itibaren fabrikasyon deri kumaşın önemli bir aşınmaya maruz kaldığı görülmektedir (3/4 derecesinde).

Bu tablolardan anlaşıldığı üzere ıslatma işlemi sonrasında fabrikasyon derinin aşınma dayanımının daha da azaldığı (3/4 derecesine düştüğü) görülmüştür. (Tablo 5 ve Tablo 6).

#### 4.3. Doğal Derinin Kuru ve Yaş Haldeki Kumaşlardaki Sürtmeye Karşı Renk Haslığı Sonuçları (Color Fastness Results to Friction of Natural Leather in Dry and Wet Fabrics)

Doğal derinin kuru ve yaş haldeki kumaşlardaki sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları Tablo 7’de yer almaktadır.

**Tablo 7.** Doğal derinin sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları (Color fastness results of natural leather against rubbing)

Numune	Sürtmeye Karşı Renk Haslığı		Test Metodu
	YAŞ	KURU	
Doğal Deri	3	3/4	TS EN ISO 105-X12

Doğal derinin sürtmeye karşı renk haslığı kuru halde 3/4 derecesinde iken yaş halde 3 derecesindedir. Islanlığında sürtmeye karşı renk haslığının arttığı tespit edilmiştir (Tablo 7).

#### 4.4. Fabrikasyon Derinin Kuru ve Yaş Haldeki Kumaşlardaki Sürtmeye Karşı Renk Haslığı Sonuçları (Color Fastness Results to Friction of Natural Leather in Dry and Wet Fabrics)

Fabrikasyon derinin kuru ve yaş haldeki kumaşlardaki sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları Tablo 8’de yer almaktadır.

**Tablo 8.** Fabrikasyon derinin sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları (Color fastness results of fabricated leather against rubbing)

Numune	Sürtmeye Karşı Renk Haslığı		Test Metodu
	YAŞ	KURU	
Fabrikasyon Deri	2/3	4	TS EN ISO 105-X12

Fabrikasyon derinin sürtmeye karşı renk haslığı kuru halde 4 derecesinde iken yaş halde 2/3 derecesindedir. Islanlığında sürtmeye karşı renk haslığının azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 8).

### 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Kahramanmaraş yemenisi, Anadolu'nun zengin kültür varlıklarından olan köşkerlik zanaati ürünüdür. Gelişen ve değişen yaşam koşullarında tüketim kültürünün artması ile birlikte ayak giyim ürünü olarak kullanılan yemeni, modern bir endüstriyel ürün olan ayakkabıya dönüşmüştür. Küreselleşmiş ürün ve üretim sistemlerinin dünyanın her yerinde aynı olması, tasarımcıları yerel sürdürülebilirlik faaliyetleri ve farklılaşma çalışmalarına yönlendirmiştir. Böylelikle, Kahramanmaraş yemenisi, gerek üretim tekniği gerekse de üretimde kullanılan özgün malzemeleri ile sürdürülebilirliğin çevresel ilkeleri içerisinde yer almaktadır. Yemeninin kültürel sürdürülebilirliği için yapılan alan araştırmalarında, bu ürünün yapımında kullanılan derinin tabaklama aşamasında endüstriyel üretim yöntemlerine yönlenildiği görülmüştür. Derinin endüstriyel tabaklama sürecinde krom esaslı kimyasal maddelerin yanı sıra terbiye işlemlerinde de kimyasal bazlı maddelerin kullanıldığı literatür araştırmalarından elde edilmiştir. Yemeninin sürdürülebilirliği çalışmalarında kullanılması planlanan fabrikasyon derilerin tabaklanma sürecinde kullanılan kimyasal maddelerin tabaklama işlemiyle çalışan işçi sağlığını ve süreç sonunda oluşan atıkların çevreyi olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bu sebeple, yemeni üretiminde kullanılacak ve yemeninin kullanımını etkileyecek doğal tabaklama ile endüstriyel tabaklama arasındaki tercihin daha açık bir şekilde ortaya konulabilmesi için bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda zanaat-tasarım işbirliği ve birlikte tasarım (co-design) çalışmalarına envanter oluşturması için Kahramanmaraş yemenisinin özgün üretiminde kullanılan doğal yöntemlerle tabaklanmış deri ile endüstriyel tabaklama sürecinden geçmiş fabrikasyon deriden yapılan yemeni üzerinde aşınma dayanımı ve sürtmeye karşı renk haslığı testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda; Doğal ve fabrikasyon derinin ıslanıkları zaman kumaşlarda aşınma dayanımlarının azaldığı görülmektedir. Deney yapılan kumaşlar arasında karşılaştırma yapıldığında, doğal derideki aşınma dayanımı sonuçlarının fabrikasyon deriye göre daha yüksek çıktığı, daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Doğal ve fabrikasyon derilerin sürtmeye karşı renk haslıkları karşılaştırıldığında tam tersi bir durum olduğu ortaya çıkmıştır. Doğal derinin kuru haldeki sürtmeye karşı renk haslığının, yaş haldekenden düşük olduğu, fabrikasyon deride ise kuru haldeki sürtmeye karşı renk haslığının yaş haldeki sürtmeye karşı renk haslığından daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Ayak giysisinin kendini yenilemekten doğan ihtiyacına karşın Türk kültürünün vazgeçilmez zanaatlarından köşkerlik ürünü yemenilerin Kahramanmaraş'ta yeniden canlanması, teknik ihtiyacı karşılamadan ziyade sahip olduğu özgün formu ve estetik değeri ile yeni bir moda yaratması öngörülmektedir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

## Kaynaklar (References)

- Akbulut, U., 2009. Erişim Adresi: <http://www.uralakbulut.com.tr/?lang=tr>, Erişim Tarihi: 03.01.2020.
- Arıkan, H. K., Akbulut, D., 2016. Zanaat, Üretim ve Tasarım Dahilinde Kültürün Dönüşümü: Kahramanmaraş Yemenileri. P. Kaygan ve H. Kaygan (Ed.), UTAK 2016 Bildiri Kitabı: Sorumluluk, Bağlam, Deneyim ve Tasarım bildiriler kitabı içinde (125-142). Ankara: ODTÜ Mimarlık Fakültesi.
- Atalay, B., 2008. Maraş Tarihi ve Coğrafyası, Ukte Yayınları, Hazırlayanlar: Gökhan. İ., Karataş, M., Editörler: Alparıslan, Y., Yakar, S.
- Çengiz, N., 2002. Deri Sanayiinde Kullanılan Kimyasalların İşçi Ve Çevre Sağlığı Üzerine Etkileri. Kocatepe Tıp Dergisi, 3(1).
- Çavdar, B., 2014. Tabaklama İşlemlerinde Kimyasalların Deri Yolu ile Maruziyetinde Riskler ve Önlemler. Uzmanlık Tezi. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü Ankara.
- Çoruhlu, Y., 2003. Orta ve İç Asya'da Kazı ve Araştırmalarında Elde Edilen Materyale Göre Erken Devir Türklerinde Çizme, Ayakkabı Kitabı, Editör: Naskali Gürsoy, E., Kitabevi Yayını.
- Ertürk, D., Şanlı, S., 2018, "Gelenekten Moderne Anadolu'da Devecilik", Turkish Studies, Volume 13/26, Fall 2018, p. 613-635. Kahramanmaraş Yemenisi Tescil Belgesi, Erişim Adresi: <https://www.ci.gov.tr/Files/GeographicalSigns/339.pdf>, 2020, Erişim Tarihi: 12.03.2020.
- Kopar, H., 2016. Alan Çalışması. Kahramanmaraş.
- Kopar, M., 2019. Alan Çalışması. Kahramanmaraş.
- Kuru, S., Paksoy, C., 2008. Anadolu'da Ayakkabı Kültürü ve Cumhuriyet Dönemi Ayakkabı Kültürü. ICANAS Bildiriler II, 2(38), 821-836.
- Kuru, S., Paksoy, C., 2014. Ayakkabı Modası Perspektifinde Kahramanmaraş Çarık ve Yemenilerinin Yaşam Seyrinin Değerlendirilmesi. Motif Akademi Halk Bilimi Dergisi, 101-126.
- Özdemir, M., 2004. Geçmişte ve Günümüzde El Sanatları Çerçevesinde Üretilen Deri Ürünleri Üzerinde Bir Araştırma. (Yayımlanmamış doktor tezi). Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Özkarcı, M., 2012. Kahramanmaraş'ta Kaybolmaya Başlayan Sanatlarımız: Köşgerlik ve Saraçlık. VII. Milletlerarası Türk Halk Kültürü Kongresi Bildirileri, 28 Mayıs 2016 tarihinde Erişim Adresi: <http://ekitap.kulturturizm.gov.tr/belge/1-91508/kahramanmarasta-kosgerlik-ve-saraclik.html>. Erişim Tarihi: 12.03.2020.
- TDK, 2020. Erişim Adresi: <https://sozluk.gov.tr/> Erişim Tarihi: 12.03.2020.
- Tegtmeyer, D., Kleban, M., 2013. "Krom ve Deri Araştırma Bilimsel olgulara ve verilere dengeli bir bakış", IULTCS, August 2013.

## Kaynak Kişiler

- Armut, R., 2020. Kahramanmaraş
- Çakıroğlu, O., 2019. Gaziantep
- Gözübol, M., 2020. Kahramanmaraş
- Kopar, H. 2016. Alan Çalışması. Kahramanmaraş.
- Kopar, M. 2019 Alan Çalışması. Kahramanmaraş
- Kopar, H. 2020 Alan Çalışması. Kahramanmaraş
- Kopar, Ç. 2020 Alan Çalışması. Kahramanmaraş
- Kutlusaman, A., 2019. Kahramanmaraş
- Pektaş, A., 2019. Gaziantep
- Şanlı, A., 2020. Kahramanmaraş





## DOĞRU AKIM ÖZDİRENÇ VE MANYETOTELLÜRİK VERİLERİNİN TERS ÇÖZÜMÜ İÇİN MELEZ ALGORİTMA

Kadir Bahadır KARA\*, Ertan PEKŞEN

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmit, Kocaeli, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Melez Algoritma, Ters Çözüm, Tekil Değer Ayrışımı, Çok Hızlı Tavlama Benzetimi.</i>	<p>Bu çalışmada jeofizik verilerin ters çözümü için melez bir algoritma geliştirilmiştir. Melez algoritmada tekil değer ayrışımı ve çok hızlı tavlama benzetimi yöntemleri ardışık olarak kullanılmıştır. Global optimizasyon yöntemi olan çok hızlı tavlama benzetimi yöntemi tekil değer ayrışımı yönteminin başlangıç parametrelerinin ön kestirimi için kullanılmıştır. Ters çözüm algoritmasını test etmek amacıyla bir boyutlu doğru akım öz direnç ve manyetotellürik düz çözüm programı geliştirilmiştir. Bu programlar kullanılarak verilerin ters çözümü yapılmıştır. İlk önce verilerin ters çözümü tek başına tekil değer ayrışımı ve çok hızlı tavlama benzetimi yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra ters çözüm, geliştirilen melez algoritma kullanılarak tekrarlanmıştır. Kestirilen parametreler ve programların çalışma süreleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, arazi verilerinin sonuçları daha önce kestirilen parametreler ile karşılaştırılmıştır. Programların çalışma süresi ve parametre kestirimi açısından melez algoritmanın çok hızlı tavlama benzetimi ve tekil değer ayrımı yöntemlerinin tek başına kullanılmasından daha verimli olduğu gösterilmiştir.</p>

## A HYBRID ALGORITHM FOR THE INVERSION OF DIRECT CURRENT RESISTIVITY AND MAGNETOTELLURIC DATA

Keywords	Abstract
<i>Hybrid Algorithm, Inversion, Singular Value Decomposition, Very Fast Simulated Annealing.</i>	<p>In this study, a hybrid algorithm was developed for the inversion of geophysical data. In the hybrid algorithm, singular value decomposition and very fast simulated annealing methods were sequentially used to obtain the best result. Very fast simulated annealing method is a global optimization method is used for pre-estimation of initial values of singular value decomposition. To test the inversion algorithm, developed one-dimensional direct current resistivity and magnetotelluric forward modeling codes were used. By using these codes, synthetic data were generated. Firstly, the inversion of data was calculated by using standard singular value decomposition and very fast simulated annealing methods. Subsequently, the inversion was repeated by using the developed hybrid algorithm. Parameters that were estimated and the run times of the codes were compared with each other. In addition, the results of field data were compared with the previous works. It was shown that in terms of run time and parameter estimation, the hybrid algorithm is more efficient than only the use of very fast simulated annealing and singular value decomposition methods.</p>

### Alıntı / Cite

Kara, K. B., Pekşen, E., (2021). Doğru Akım Öz direnç ve Manyetotellürik Verilerinin Ters Çözümü İçin Melez Algoritma, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 77-87.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

K.B. Kara, 0000-0002-8899-3005  
E. Pekşen, 0000-0002-3515-1509

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	13.02.2019
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	25.12.2020
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	29.12.2020
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

\* İlgili yazar / Corresponding author: 155106028@kocaeli.edu.tr, +90-507-711-5991

## 1. Giriş (Introduction)

Jeofizik verilerinin yorumlanmasında veriyi etkileyen parametrelerinin doğru şekilde belirlenmesi önemlidir. Bu parametrelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan yöntemler türev tabanlı ve global yöntemler olmak üzere iki bölümde incelenebilir. Türev tabanlı yöntemler çözüme hızlı ulaşmasına karşın çözüm parametreleri başlangıç modeline duyarlıdır. Global yöntemler ise başlangıç tahminlerine bağlı değildir. Fakat çözüme ulaşmak için daha fazla zamana gereksinim duyar. Ters çözümde veri ile model arasındaki en iyi uyum (global en küçük) aranır. Başlangıç modelinin iyi seçilmesi ön koşulu ile türev tabanlı yöntemler bu uyumu çok hızlı şekilde bulabilir. Fakat kötü seçilmiş başlangıç modeli parametrelerinin yanlış belirlenmesine neden olacaktır ve veri ile model arasındaki uyum sağlanamayacaktır. Global yöntemler başlangıç modeline bağlı olmadıklarından, parametrelerin ön kestirimi için kullanılabilir.

Bu çalışmada türev tabanlı yöntem olan tekil değer ayrışımı (TDA) ve global optimizasyon yöntemi olan çok hızlı tavlama benzetimi (ÇHTB) yöntemi ardışık kullanılarak melez bir ters çözüm programı geliştirilmiştir. Literatürde birçok farklı melez algoritmalar düz ve ters çözüm problemlerinde modeli iyileştirmek ve hesaplama süresini düşürmek için kullanılmıştır ve genel olarak melez ters çözüm algoritmalarının türev tabanlı ve global yöntemlerin dezavantajını ortadan kaldırdığı ifade edilmektedir (Başokur vd., 2007; Liu vd., 2015; Maio vd., 2016; Nqueyen ve Nestorovic, 2016; Göktürkler, 2018).

Bu çalışmada başlangıç parametrelerinin kestirimi için çok hızlı tavlama benzetimi yöntemi kullanılmıştır. Ingber (1989) tarafından hızlandırılan tavlama benzetimi (TB) yöntemi ÇHTB yöntemi olarak adlandırılmıştır. Yüksek sıcaklıkta başlatılan sistem diğer bir deyişle yüksek enerji ile başlatılan algoritma, parametrelerin alt ve üst sınırı arasında rastgele arama yapar. Rastgele arama sıcaklığa bağlı bir fonksiyondur. Sistem yüksek sıcaklıklarda kararsızdır fakat sistem soğudukça global minimuma yaklaşacaktır. Her ne kadar yöntem hızlandırılmış olsa da global minimuma yaklaşmak için türev tabanlı yöntemlere göre daha fazla süreye ihtiyaç duyar. Fakat parametrelerin ön kestirimi için global minimuma yaklaşmasına ihtiyaç yoktur. ÇHTB yöntemi ile ön kestirimi yapılan parametreler TDA yöntemi için başlangıç parametresi olarak kabul edilebilir. TDA yöntemi matris tekilliğinin üstesinden gelmek için kullanılan oldukça iyi bir yöntemdir (Golub ve Reinsch, 1971). TDA yöntemi jeofizikte parametre kestirimi için sıklıkla kullanılmaktadır. Yöntem türev tabanlı bir yöntem olduğundan iyi bir başlangıç parametre kestirimine ihtiyaç duyar. Veri ile model arasındaki belli bir eşik değeri sağlandığında yineleme işlemi durdurulur. Bu nedenle başlangıç parametrelerinin ön kestirimini ÇHTB yöntemi ile yapılması programın hem hızını hem de doğruluğunu artıracaktır.

Çalışmada geliştirilen ters çözüm programını test etmek amacıyla bir boyutlu doğru akım öz direnç (DAÖ) ve bir boyutlu manyetotellürük (MT) düz çözüm programları geliştirilmiştir. Geliştirilen düz çözüm programları kullanılarak DAÖ ve MT yöntemleri için birer adet sentetik ve arazi verisi değerlendirilmiştir. DAÖ yönteminde Slaoui (2003) tarafından verilen veri ters çözülmüştür ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. MT yöntemi için ise Meju (1992) tarafından verilen 'Coprod' verisinin ters çözümü yapılmıştır. Ters çözüm işlemi TDA, ÇHTB ve melez ters çözüm programları aynı başlangıç parametreleri kullanılarak tekrarlanmıştır. Elde edilen parametreler ve programların çalışma süreleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Düz Çözüm (Forward Modelling)

### 2.1. 1B Doğru Akım Öz direnç Yöntemi (1D Direct-Current Resistivity Method)

Teorik olarak Schlumberger dizilimi için izotropik ortamda öz direncin nasıl hesaplandığı aşağıda özetlemiştir. Yüzeyin herhangi bir x noktası ve z derinliği için nokta akım kaynağı için potansiyel değeri

$$v(x, z) = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (1)$$

ile hesaplanır. Burada I akım, r ise akım ile potansiyel elektrotları arasındaki mesafedir.  $r = \sqrt{x^2 + z^2}$  bağıntısı ile hesaplanabilir.  $\rho$  ise ortamın öz direncidir (Grant ve West, 1965). Analitik olarak iki tabakalı ortamda öz direnç Denklem 2 ile hesaplanabilir (Telford vd., 1996).

$$\rho_{ai} = \rho_1 \left[ 1 + 2\rho \sum_{m=1}^{\infty} k^m \left( \frac{1}{(r_1^2 + 4m^2 z^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{(r_2^2 + 4m^2 z^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{(r_3^2 + 4m^2 z^2)^{\frac{1}{2}}} + \frac{1}{(r_4^2 + 4m^2 z^2)^{\frac{1}{2}}} \right) \right] \quad (2)$$

burada  $\rho_1$  birinci tabakanın öz direnci ve  $z$  birinci tabakanın kalınlığıdır.  $m$  ise değişenlerin toplanması için gerekli sabittir.  $r_1, r_2, r_3$ , ve  $r_4$  ise elektrotlar arasındaki mesafedir.  $p$  değişkeni

$$p = \left\{ \left[ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] - \left[ \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right] \right\}^{-1} \quad (3)$$

ile hesaplanabilir ve  $k$  değişkeni ise Denklem (4) ile hesaplanabilir.

$$k = \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{(\rho_2 + \rho_1)} \quad (4)$$

burada  $\rho_2$  ikinci tabakanın öz direncidir. Tabakalı ortamda Schlumberger dizilimi için yarı analitik çözüm,

$$\rho_a(L) = L^2 \int_0^{\infty} T(\lambda) J_1(\lambda L) \lambda d\lambda \quad (5)$$

denklemi ile hesaplanabilir.  $L$  elektrotlar arası uzaklığın yarısıdır,  $J_1$  birinci derecen Bessel fonksiyonudur.  $T$  ise dönüşük öz direnç fonksiyonudur ve Denklem (6) ile hesaplanır.

$$T_i = \frac{T_{i+1}(\lambda) + \rho_i \tanh(\lambda z_i)}{1 + T_{i+1}(\lambda) \tanh(\lambda z_i) / \rho_i} \quad (6)$$

$i = n - 1, \dots, 1$

Denklem 6 da  $\rho_i$  i. tabakanın öz direnci,  $z_i$  i. tabakanın kalınlığıdır ve  $n$  tabaka sayısıdır (Koefoed, 1979). 1-B DAÖ yönteminin model tepkileri yarı analitik denklem sistemi kullanılarak hesaplanmıştır.

## 2.2. 1B Manyetotellürik Yöntemi (1B Magnetotelluric Method)

1B manyetotellürik yöntemde teorik olarak model cevabının nasıl hesaplanacağı aşağıda özetlenmiştir. MT yönteminde elektrik ve manyetik alan bileşenleri zamanın fonksiyonu olarak ölçülür. Ölçülen bileşenler frekans ortamına aktarılarak öz direnç ve faz eğrileri elde edilir. Maxwell denklemlerinin birincisi Faraday yasası,

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (7)$$

ile verilir. Düzlem dalga kabulü yapılırsa ve Faraday yasası frekans ortamında,

$$\begin{bmatrix} dx & dy & dz \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & 0 \end{bmatrix} = -i\omega\mu_0 (H_x d_x + H_y d_y) \quad (8)$$

şeklinde yazılır. Bünye denklemlerinden (constitutive relations)  $B = \mu_0 H$  dir ve  $x$  ve  $y$  yönündeki değişimler sıfır alınır

$$H_x = -\frac{1}{i\omega\mu_0} \frac{dE_y}{dz} \quad (9)$$

$$H_y = \frac{1}{i\omega\mu_0} \frac{dE_x}{dz} \quad (10)$$

elde edilir. Elektrik alanın manyetik alana oranına empedans ( $Z$ ) denilirse

$$Z_{xy} = -\frac{E_x(z)}{H_y(z)} \quad (11)$$

$$Z_{yx} = \frac{E_x(z)}{H_y(z)} \quad (12)$$

şeklinde hesaplanır. Empedans bağıntıları cinsinden Cagniard (1953) görünür öz direnç ve faz bağıntıları

$$\rho_{xy} = \frac{1}{\omega\mu_0} |Z_{xy}|^2 \quad (13)$$

$$\phi_{xy} = a \tan \left( \frac{\Im(Z_{xy})}{\Re(Z_{xy})} \right) \quad (14)$$

$$\rho_{yx} = \frac{1}{\omega\mu_0} |Z_{yx}|^2 \quad (15)$$

$$\phi_{yx} = a \tan \left( \frac{\Im(Z_{yx})}{\Re(Z_{yx})} \right) \quad (16)$$

Tabakalı ortamda 1B MT model tepkisi

$$R(j) = \frac{1 - K(j)e^{(-2ik_u z(N-j+1))}}{1 + K(j)e^{(-2ik_u z(N-j+1))}} \quad (17)$$

ile hesaplanır (Zhdanov ve Keller, 1994). Burada,  $R(j)$  yansıma katsayılarını,  $z$  tabaka kalınlığını,  $N$  ise tabaka sayısını göstermektedir.  $K(j)$ ,  $k_u$  ve  $k_l$  sırayla Denklem (18), (19) ve (20)

$$K(j) = \frac{1 - \frac{k_u}{k_l} R(j-1)}{1 + \frac{k_u}{k_l} R(j-1)} \quad (18)$$

$$k_u = \sqrt{i\omega\mu_0\sigma(N-j+1)} \quad (19)$$

$$k_l = \sqrt{i\omega\mu_0\sigma(N-j+2)} \quad (20)$$

ile hesaplanabilir.  $k_u$  ve  $k_l$  sırayla tabakalardaki alt ve üst dalga sayılarını göstermektedir. Geliştirilen programda 1B model düz çözüm operatöründe Denklem (17) bağıntısı kullanılmıştır. MT yöntemi hakkında detaylı bilgi Cagniard (1953), Zhdanov ve Keller (1994), Meju (1994) kaynaklarından elde edilebilir.

### 3. Ters Çözüm (Inversion)

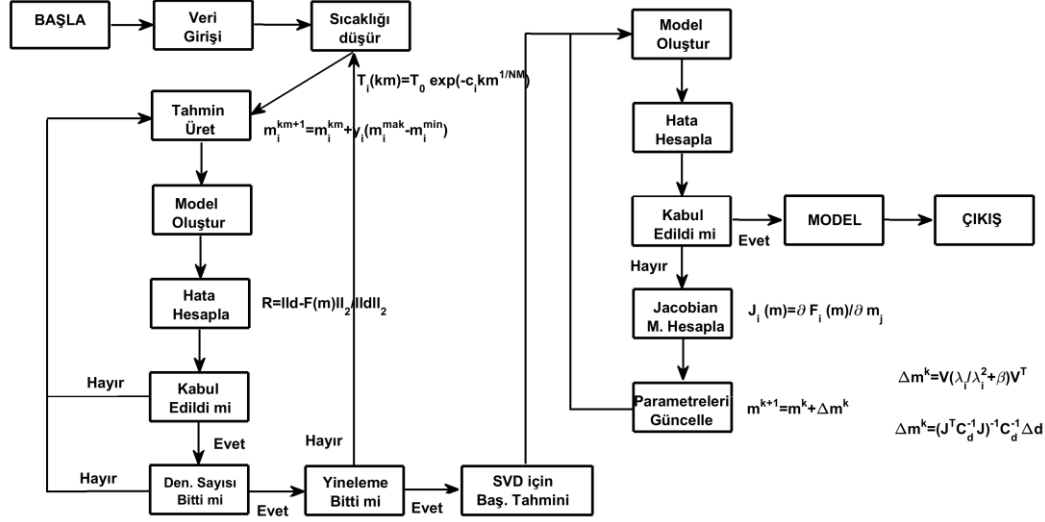
Jeofizik ölçüler alındıktan sonra ölçüyü oluşturan parametrelerin belirlenebilmesi (tabaka öz direnci, tabaka kalınlığı vb.) için ters çözüm yapılmalıdır. Jeofizik ölçülerin ters çözümü için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler türev tabanlı (Gauss-Newton, Levenberg-Marquardt vb.) ve global yöntemler (ÇHTB, PSO vb.) olarak ikiye ayrılabilir. Türev tabanlı yöntemler birçok farklı jeofizik yöntemin ters çözümü için kullanılmıştır (Tikhonov ve Arsenin, 1977; Meju, 1994; Aster vd. 2005; Başokur, 2015). Aynı zamanda global yöntemlerde farklı jeofizik verilerinin ters çözümü için kullanılmıştır (Başokur vd., 2007; Sharma, 2011; Sen ve Stoffa, 2013; Balkaya, 2013; Kara ve Pekşen, 2017). Fakat her iki yönteminde (türev tabanlı ve global) üstünlükleri ve zayıflıkları bulunmaktadır. Türev tabanlı yöntemler başlangıç modeline bağlı olmasına rağmen global yöntemler başlangıç parametrelerine bağlı değildir. Global yöntemlerde doğru parametrelerin çözüm aralığında olması yeterlidir (Sen ve Stoffa, 2013). Fakat global yöntemler rastgele arama yapan yöntemler olduklarından çözüme ulaşması türev tabanlı yöntemlere göre daha fazla zaman almaktadır.

Bu çalışma içerisinde tekil değer ayrışımı (TDA) ve (ÇHTB) yöntemleri ardışık kullanılarak iki yöntemde zayıflıkları giderilmeye çalışılmıştır. Çok hızlı tavlama benzetimi yöntemi (ÇHTB) türev tabanlı (TDA) yöntem için

başlangıç parametresi belirlemektedir. Böylece hem TDA için başlangıç parametreleri ve hem de zemin parametreleri daha kısa sürede doğru tahmin edilecektir. Programın akış şeması Şekil 1 de verilmiştir.

### 3.1. Çok Hızlı Tavlama Benzetimi (Very Fast Simulated Annealing)

Çok hızlı tavlama benzetimi (ÇHTB) yöntemi rastgele arama yapan global optimizasyon yöntemidir. Yöntem metallerin ısıtılıp tekrar soğutma yapılarak sertleştirme işlemini taklit eder. Tavlama benzetimi (TB) yönteminde Gauss dağılımı kullanılırken ÇHTB yönteminde Cauchy dağılımı kullanılır. Bu dağılım sıcaklığın daha hızlı düşürülmesine izin verir. ÇHTB yöntemi hakkında detaylı bilgi Sen ve Stoffa (2013) ten edinilebilir.



Şekil 1. Ters çözüm programının akış şeması (The flowchart of the inversion program)

Jeofizik bir problemin düz çözümü izleyen şekildeki doğrusal denklem sistemi şeklinde yazılabilir.

$$d = F(m) \quad (21)$$

burada  $d$  gözlem verisi,  $F$  düz çözüm operatörü,  $m$  ise model parametreleridir. Ters çözüm algoritması (ÇHTB) içerisinde düz çözüm operatörü çağırılarak ( $F$ ) model parametreleri ( $m$ ) kestirilmeye çalışılır. Her yinelemede bağıl hata Denklem (22) ile hesaplanır.

$$RE = \frac{\|d - F(m)\|_2}{\|d\|_2} \quad (22)$$

burada,  $RE$  bağıl hatadır. Ters çözümde her bir yinelemedeki rastgele arama Denklem (23) ile belirlenir.

$$m_i^{km+1} = m_i^{km} + y_i (m_i^{mak} - m_i^{min}) \quad (23)$$

burada,  $m_i^{km+1}$  bir sonraki yineleme adımıdaki parametreler,  $m_i^{mak}$  parametrelerin üst sınırını,  $m_i^{min}$  parametrelerin alt sınırı,  $km$  ise yineleme sayısıdır. Denklem (23) deki  $y_i$

$$y_i = \text{sgn}(u_i - 0.5) T_i \left[ \left( 1 + \frac{1}{T_i} \right)^{|2u_i - 1|} - 1 \right] \quad (24)$$

ile hesaplanır. Denklem (24)'te  $\text{sgn}$  işaret fonksiyonu (-1 ya da 1),  $u_i$  0 ila 1 arasında değişen rastgele bir sayı,  $T_i$  ise sıcaklıktır. Sıcaklık

$$T_i(km) = T_0 \exp(-c_i km^{1/NM}) \quad (25)$$

ile hesaplanır. Burada  $T_0$  başlangıç sıcaklığı,  $c$  ise probleme özel bir katsayıyı göstermektedir. Bu çalışmada 1 olarak alınmıştır.  $NM$  ise rastgele arama yapılan parametre sayısıdır. Ters çözümde ÇBHT yöntemi tek başına

kullanıldığında yineleme adım sayısı 100-150 olmalı ve her yinelemede 200-250 rastgele deneme yapılmamalıdır. Fakat ÇHTB yöntemi TDA için başlangıç parametre kestirimi için kullanıldığında; 20 yineleme ve her yinelemede 100-150 arama yapılması TDA yöntemi için başlangıç parametre kestirimini doğru şekilde yapılmasını sağlayacaktır.

### 3.2. Tekil Değer Ayrışımı (Singular Value Decomposition)

TDA yöntemi jeofizikte verilerin ters çözümü için en sık kullanılan ve en başarılı yöntemlerden biridir. Fakat verilerin ters çözümü yapılırken parametrelerin başlangıç tahminleri model parametrelerinden çok uzak olduğunda tahmin edilen parametreler model parametrelerine ırsak olacaktır ve elde edilen parametrelerin yanlış olmasına neden olacaktır. Bu yöntemde A matrisi üç adet matrisin çarpıdır (Golub ve Reinsch, 1971).

$$A = USV^T \quad (26)$$

burada, U ve V ortogonal matris, S ise köşegen matrisidir. Doğrusal olmayan ters çözümlerde Jacobian matrisi mutlaka hesaplanmalıdır. Jacobian matrisi

$$J_{ij}(m) = \frac{\partial F_i(m)}{\partial m_j} \quad (27)$$

ile hesaplanır. Burada,  $(m_j)$  model parametrelerindeki değişim,  $F_i(m)$  ise teorik değişim duyarlılığıdır. Yeni model parametreleri Denklem (28) ile elde edilir.

$$m^{k+1} = m^k + \Delta m^k \quad (28)$$

burada  $m^{k+1}$  bir sonraki yinelemedeki parametreler,  $\Delta m^k$  ise Denklem (29) ve (30) ile hesaplanır.

$$\Delta m^k = V \left( \frac{\lambda_i}{\lambda_i^2 + \beta} \right) V^T \quad (29)$$

$$\Delta m^k = (J^T C_d^{-1} J)^{-1} J^T C_d^{-1} \Delta d \quad (30)$$

Denklem (29)'da ki  $\lambda_i$  i. dereceden sistemin öz değeri,  $\beta$  ise kısıtlama faktörüdür. Denklem (30)'deki  $C_d$  kovaryans matrisi,  $\Delta d$  ise gözlem ve teorik veri arasındaki farktır ( $\Delta d = d - F(m)$ ). TDA yöntemi hakkında detaylı bilgi Golub ve Loan (1996) dan elde edilebilir.

TDA yönteminde başlangıç tahminlerinin iyi şekilde seçilmesi hesaplanan model parametrelerini doğrulunu büyük ölçüde etkileyecektir. Bu nedenle başlangıç tahminlerinin ÇHTB yöntemi ile yapılması yöntemin başarısını artıracaktır.

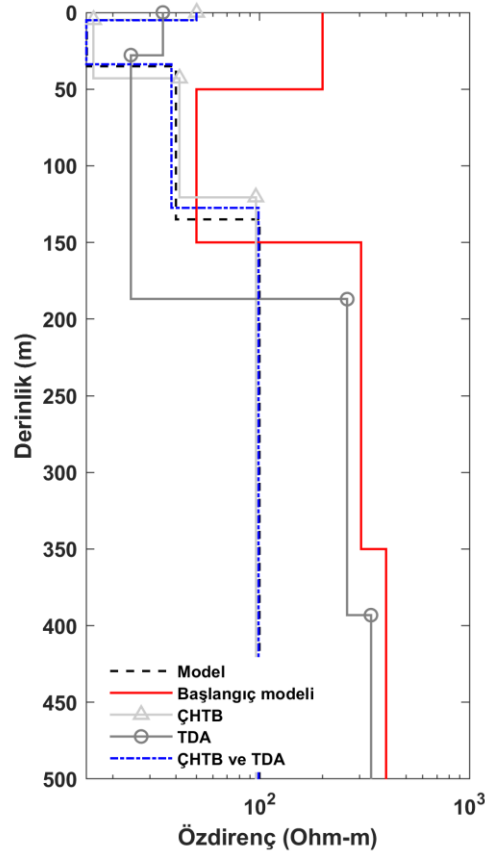
## 4. Sentetik ve Arazi Veri Örnekleri (Synthetic and Field Data Examples)

### 4.1. 1-B DAÖ Yöntemi İçin Sentetik ve Arazi Verileri (The Synthetic and Field Data for The DC Method)

DAÖ yönteminde dört tabakalı yapay verinin ve üç tabakalı arazi verisinin ters çözümü yapılmıştır. Ters çözüm işlemi tek başına ÇHTB, TDA kullanılarak ve ÇHTB ile TDA birlikte kullanılarak 3 kez tekrarlanmıştır. Modelin başlangıç tahminleri her üç ters çözüm için aynı seçilmiştir. TDA yönteminin doğru çözüm için başlangıç tahminlerine bağlı olduğunu ve ÇHTB yönteminin başlangıç tahminlerine bağlı olmadığını göstermek amacıyla; başlangıç tahminleri model parametrelerinden uzak seçilmiştir. Yapay model ve ters çözüm sonuçları Şekil 2 ve Tablo 1 de verilmiştir.

Her üç çözümde hesaplanan parametreler incelendiğinde, TDA yöntemi başlangıç parametrelerine bağlı olduğundan model parametrelerine doğru kestirilememiştir. Yapay DAÖ modeli tek başına ÇHTB ve melez algoritma kullanıldığında çözülebilmştir. Sadece ÇHTB yöntemi kullanılarak çözülen sentetik model çözüme 63 saniyede ulaşmıştır. ÇHTB ve TDA birlikte kullanıldığında ise 21 saniyede çözüme ulaşılmıştır. 42 saniyelik zaman kazancı az görünse de çok boyutlu ortamların (2B-3B) ters çözümünde bu zaman farkı çok daha önemli olacaktır ve hesaplanan zemin parametrelerinin doğruluğunu artıracaktır.

Arazi verisinde ise Slaoui vd. (2003) tarafından verilen verinin ters çözümü yapılmıştır ve kestirilen parametreler makaledeki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Slaoui vd. (2003) ters çözüm algoritması olarak Levenberg-Marquardt yöntemini kullanmıştır. Bu yöntem matris tekiliğinden kaçınmak için modifiye edilmiş Gauss-Newton yöntemidir. Ters çözümde veri üç tabakalı olarak değerlendirilmiş olup, sonuçlar Tablo 2 verilmiştir. Arazi verisi ile hesaplanan eğri Şekil 3 de ve hesaplanan tüm modeller Şekil 4 de gösterilmiştir.



Şekil 2. 1B sentetik DAÖ verisinin ters çözümü (The inversion of 1D synthetic DC data)

Tablo 1. DAÖ sentetik verisi için kestirilen parametre sonuçları (The estimated parameters for the synthetic DC data)

Parametreler	Gerçek değerler	Başlangıç değerleri	ÇHTB	TDA	ÇHTB ve TDA
$\rho_1$ (ohm-m)	50	200	50.2	34.6	49.9
$z_1$ (m)	5	50	4.8	27.8	5
$\rho_2$ (ohm-m)	15	50	16.2	24.36	14.9
$z_2$ (m)	30	100	38.2	159.2	28.7
$\rho_3$ (ohm-m)	40	305	41.6	261.6	38.1
$z_3$ (m)	100	200	77.5	206.2	93.6
$\rho_4$ (ohm-m)	100	400	95.9	339.5	98.8
Zaman (s)	-	-	63	4	21
Bağlı hata	-	-	0.4	24	0.05

Tablo 2. Arazi verisinin kestirilen parametre sonuçları (Estimated parameters for the field data)

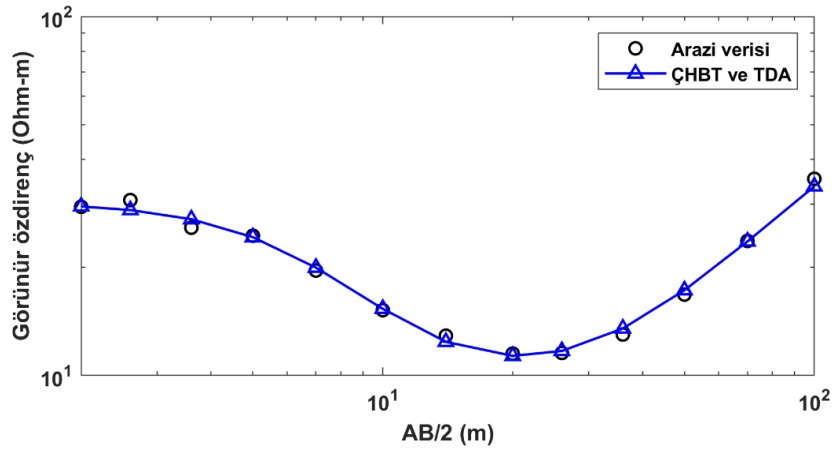
Parametreler	Başlangıç değerleri	Slaoui vd. (2003)	ÇHTB	TDA	ÇHTB ve TDA
$\rho_1$ (ohm-m)	100	30.2	30.6	17.5	30.2
$z_1$ (m)	20	3.6	3.4	18.85	3.4
$\rho_2$ (ohm-m)	70	8.36	9.4	21	9.5
$z_2$ (m)	50	21.6	25.9	62.07	26.77
$\rho_3$ (ohm-m)	300	864.6	3000	283.2	3395
Zaman (s)	-	-	14.1	0.6	4.8
Bağlı hata	-	0.75	0.80	8	0.85

Arazi verisi ÇHTB yöntemi ve melez algoritma kullanılarak ters çözümü yapıldığında Slaoui vd. (2003) tarafından kestirilen parametreler oldukça yakın olduğu görülmektedir. ÇHTB yöntemi ile ters çözüm 14.1 s sürerken melez algoritma ile 4.8 s de çözülmüştür. Başlangıç parametreleri kötü seçildiğinden TDA yöntemi ile çözülememiştir.

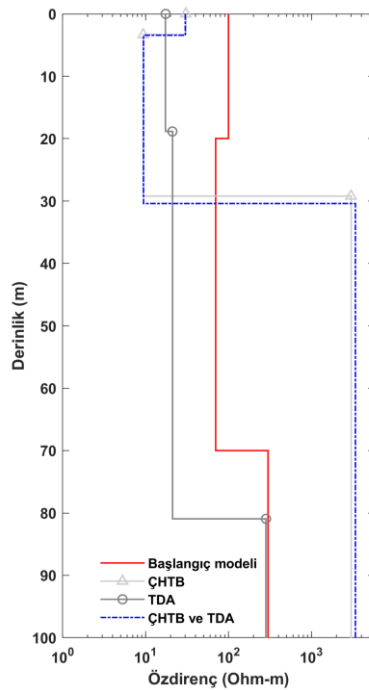
#### 4.2 1-B MT Yöntemi İçin Sentetik ve Arazi Verileri (The Synthetic and Field Data for The MT Method)

Bu yapay örnekte ise 3 tabakalı bir MT verisinin ters çözümü yapılmıştır. DAÖ yönteminde olduğu gibi yapay verinin çözümü 3 kez tekrarlanmıştır. Başlangıç tahminleri her üç çözüm için aynı alınmıştır. Hesaplanan parametreler ve model parametreleri Şekil 5 ve Tablo 3 de verilmiştir.

Şekil 5 ve Tablo 3 incelendiğinde DAÖ öz direnç yönteminde olduğu gibi TDA yönteminde elde edilen parametreler yapay verinin parametrelerinden oldukça uzaktır. Fakat diğer iki yöntem kullanıldığında (ÇHTB ve melez) oldukça yakın olduğu görülmektedir. ÇHTB yöntemi tek başına kullanıldığında yapay verinin parametrelerini 56 saniyede çözerken; TDA yöntemi ile birlikte kullanıldığında 6 saniyede çözüme başarılı şekilde ulaşılmıştır.

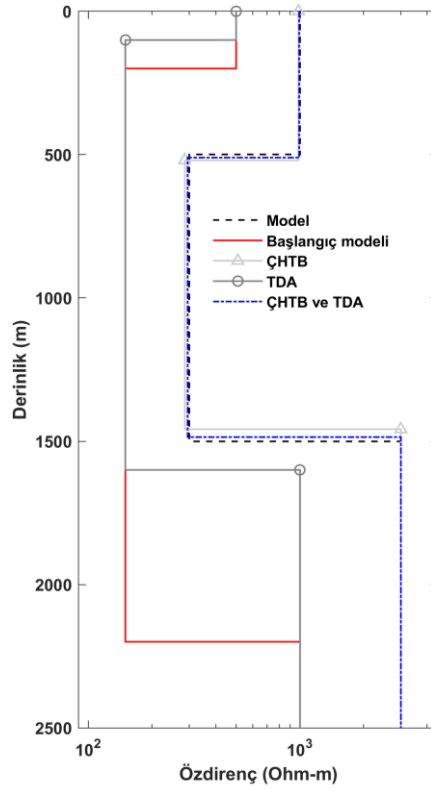


Şekil 3. Arazi verisi (Slaoui vd., 2003) ve ÇHTB ve TDA ile kestirilen eğri (The field data (Slaoui et al., 2003) and estimated curve by VFSA and SVD)



Şekil 4. Slaoui vd., (2003) tarafından verilen verinin ters çözümü (Inversion of the data given by Slaoui et al., (2003))





Şekil 5. 1B sentetik MT verisinin ters çözümü (The inversion of 1D synthetic MT data)

MT yönteminde Meju (1992) tarafından TDA yöntemi ile çözülen 'Coprod' verisinin ters çözümü yapılmıştır. Ters çözüm sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Şekil 6-7 de ve Tablo 4 de verilmiştir.

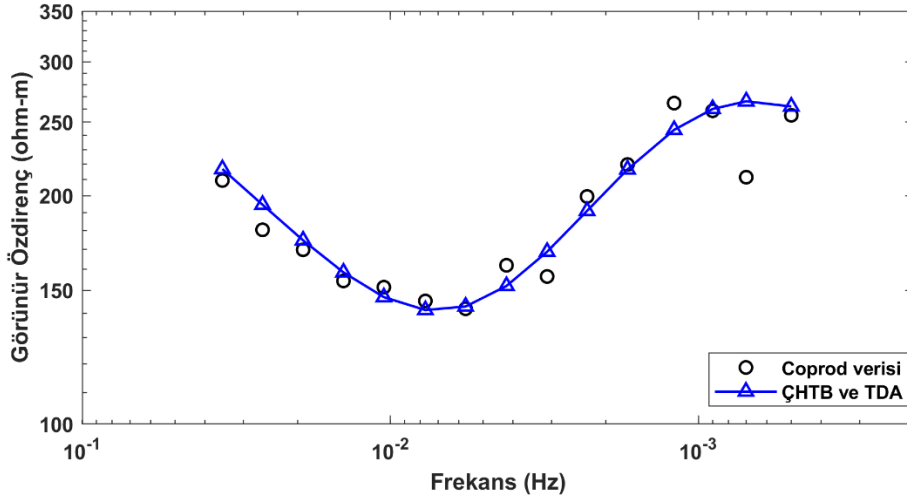
Kestirilen parametreler Meju (1992) tarafından kestirilen parametrelerle karşılaştırıldığında birbirleri ile örtüşmektedir. ÇHTB yöntemi ile parametreler 11.2 s de, melez algoritma ile 1.64 s de kestirilmiştir. Bu durum türev tabanlı ve global yöntemlerin birlikte kullanılarak doğru ve hızlı şekilde jeofizik verilerin çözülebileceğini göstermektedir.

Tablo 3. MT sentetik verisi için kestirilen parametre sonuçları (The estimated parameters for the synthetic MT data)

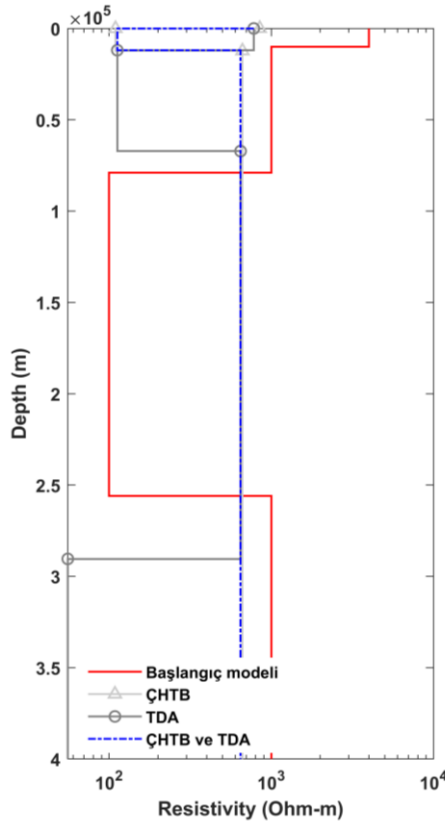
Parametreler	Gerçek değerler	Başlangıç değerleri	ÇHTB	TDA	ÇHTB ve TDA
$\rho_1$ (ohm-m)	1000	500	983	500	991
$z_1$ (m)	500	200	519	100	509
$\rho_2$ (ohm-m)	300	150	285	150	294
$z_2$ (m)	1000	2000	938	1500	995
$\rho_3$ (ohm-m)	3000	1000	2998	1000	2997
Zaman (s)	-	-	56	2	6
Bağlı hata	-	-	1.8	1891	0.87

Tablo 4. Coprod verisi için kestirilen parametre sonuçları (The estimated parameters for Coprod data)

Parametreler	Başlangıç değerleri	Meju (1992)	ÇHTB	TDA	ÇHTB ve TDA
$\rho_1$ (ohm-m)	4000	653.9	848.3	3824.8	779.9
$z_1$ (m)	10000	14062.3	12219.5	5473.1	11907.1
$\rho_2$ (ohm-m)	1000	106.8	109.5	475.1	112.4
$z_2$ (m)	69000	67828.1	52908	12563.1	55253.4
$\rho_3$ (ohm-m)	100	842.7	663	76.1	646.3
$z_3$ (m)	177000	313061	218771.3	27613.4	223270.9
$\rho_4$ (ohm-m)	1000	101	72	499.5	55.7
Zaman (s)	-	-	11.2	1.48	1.64
Bağlı hata	-	12.1	6.91	11.97	6.96



Şekil 6. Coprod verisi (Meju, 1992) ve melez yöntemle kestirilen eğri (Coprod data (Meju,1992) and the curve estimated by hybrid method)



Şekil 7. Coprod verisinin ters çözümü (Inversion of Coprod data)

## 5. Sonuç (Result)

Bu çalışmada türev tabanlı ve global optimizasyon yöntemlerinin melez bir algoritma ile ardışık kullanımının önemi ve başarısı gösterilmiştir. Ters çözüm algoritmasını test etmek amacıyla bir boyutlu DAÖ ve MT düz çözüm programları geliştirilmiştir. Geliştirilen programlarda birer adet sentetik verinin ve arazi verisinin ters çözümü yapılmıştır. Ters çözümde her bir tabakasının öz direnci ve tabaka kalınlıkları kestirilmiştir.

TDA yönteminde parametrelerin başlangıç tahminlerinin kötü kestirilmesi durumunda yöntemin başarısız olacağı gösterilmiştir. ÇHTB yöntemi tek başına kullanıldığında parametreler çözülmesine rağmen uzun zaman almıştır. ÇHTB ve TDA yöntemi birlikte kullanıldığında ise hem parametreler model parametrelerine oldukça yakın hesaplanmıştır hem de kısa sürede çözülmüştür. Melez algoritma kullanıldığında başlangıç sıcaklığı 20 (20 yinleme) ve her sıcaklık için 120 rasgele arama yapılmıştır. Buradan elde edilen parametreler TDA yöntemi için başlangıç parametreleri olarak kullanılmıştır. TDA ise son model parametrelerine ortalama 10 yinleme sonucunda ulaşmıştır. Geliştirilen algoritmanın jeofizik verilerinin ters çözümü için kullanılabileceği gösterilmiştir.

### Teşekkür (Acknowledgment)

Görüş ve eleştirileriyle bu çalışmanın gelişmesine katkı sağlayan iki anonim hakeme teşekkür ederiz.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar (References)

- Aster RC, Borchers B, Thurber CH, 2005. Parameter Estimation and Inverse Problems. London, UK: Elsevier.
- Balkaya Ç., 2013. An implementation of differential evolution algorithm for inversion of geoelectrical data, *Journal of Applied Geophysics*, 98, 160-175.
- Başokur, A.T., Akca, İ., Siyam, N., 2007. Hybrid genetic algorithms in view of the evolution theories with application for the electrical sounding method, *Geophysical Prospecting*, 55 (3), 393-406.
- Başokur, A.T., 2015. Türev tabanlı parametre kestirim yöntemleri, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası yayını, Ankara.
- Cagniard, L., 1953. Basic Theory of the Magneto-telluric Method of Geophysical Prospecting, *Geophysics*, 18, 605-635.
- Di Maio R., Rani P., Piegari E., Milano L., 2016. Self-potential data inversion through a Genetic-Price algorithm, *Computer & Geosciences*, 94, 86-95.
- Golub G.H., Reinsch, C., 1971. Singular value decomposition and least squares solutions, *Numerical Mathematics*, 13, 403-420.
- Golub G.H., Van Loan C.F., 1996. *Matrix Computations*, Baltimore, MD, USA, Johns Hopkins University Press.
- Göktürkler, G., 2018. A hybrid approach for tomographic inversion of crosshole seismic first-arrival times. *Journal of Geophysics and Engineering* 8 (1), 99-108.
- Grant, F.S., West, G.F., 1965. *Interpretation theory in applied geophysics*. McGraw-Hill, New York.
- Ingber, L., 1989. Very fast simulated reannealing. *Mathematical and Computer Modeling*, 12 (8), 967 -993.
- Kara, K.B., Pekşen, E., 2017. 1D fullwaveform optimization using Gpr data, 9th Congress of the Balkan Geophysical Society, Antalya. doi:10.3997/2214-4609.201702521.
- Koefoed, O., 1979. *Geosounding principles resistivity sounding measurements*. Elsevier, Amsterdam.
- LaBrecque D.J, Heath G, Sharpe R, Versteeg R, 2004. Autonomous monitoring of fluid movement using 3-D electrical resistivity tomography, *J Environ Eng Geoph.* 9, 167-176.
- Meju, M.A., 1994. *Geophysical Data Analysis: Understanding Inverse Problem Theory and Practice*, SEG, Tulsa.
- Meju, M.A., 1992. An effective ridge regression procedure for resistivity data inversion, *Computer & Geosciences*, 18, 99-118.
- Nguyen, L.T., Nestorovic, T., 2016. Unscented hybrid simulated annealing for fast inversion of tunnel seismic waves, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 301, 281-299.
- Sen, M., Stoffa, P., 2013. *Global optimization methods in geophysical inversion*. Elsevier, Amsterdam.
- Sharma, S.P., 2011. VFSARES- a very fast simulated annealing Fortran program for interpretation of 1-D DC resistivity sounding data from various electrode arrays, *Computer and Geosciences*, 42 (C), 177-188.
- Slaoui, F.H., Georges, S., Lagace P.J., Do, X.D., 2003. The inverse problem of Schlumberger resistivity sounding measurement by ridge regression, *Electric Power Systems Research*, 67, 109-114.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E., 1990. *Applied geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Tikhonov, A.N, Arsenin, VY 1977. *Solutions of Ill-Posed Problems*. New York, NY, USA: Halsted Press.
- Zhdanov, M.S., Keller, G. V., 1994. *The Geophysical Methods in Geophysical Exploration*, Elsevier.



## JITTER ÖLÇÜMÜNDE ÖNEMLİ BİR GÖSTERGE: ARDIŞIK BLOKLAR

N. Tuğrul ARTUĞ<sup>1\*</sup>, Sezin Alpaydın BASLO<sup>2</sup>, M. Barış BASLO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Arel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Bakırköy Prof. Dr. Mazhar Osman Ruh Sağlığı ve Sinir Hastalıkları Eğitim ve Araştırma Hastanesi, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup> İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, İstanbul, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Elektromiyografi,  
Jitter,  
Ardışık Bloklar,  
Biyomedikal İşaret İşleme.*

### Öz

Nöromusküler hastalıklar sinirden kasa iletimi etkilerler. Eğer bir sinir uyarı eşik değerinden daha yüksek bir uyarı ile uyarılırsa aksiyon potansiyeli üretilir. Sinirden kasa doğru aksiyon potansiyelinin iletimi 0.5 ile 1 ms arasında bir zaman almaktadır. Bu zaman uyarıdan uyarıya değişmektedir ve bu değişim "Jitter" adı verilir. Ardışık sinir uyarımına karşılık üretilen yanıt uyarı ile birlikte tek lif EMG elektrodu ile kaydedilir. Bazı ülkelerdeki kısıtlamalardan dolayı tek kullanımlık konsantrik elektrot da jitter ölçümü için kullanılmaktadır. Zaman zaman kayıtlarda sinir uyarımına karşılık yanıt alınmaz ve bloklar gözlemlenir. Ardışık uyarıya karşılık hasta kayıtlarında blokları görmek mümkündür. Bu çalışmada 13 katılımcıdan konsantrik iğne elektrodu kullanarak her oturumda 100 sinyal kaydedilmiştir ve geliştirilen yazılım ile bu kayıtlar analiz edilmiştir. Bu yazılımla, jitter değeri ve blok sayısı hesaplanabilirken, ardışık bloklar da gösterilebilmektedir. Sağlıklı bireylerde hiç blok görülmemiştir fakat miyasteni gravis hastalarında yüksek miktarda blok ve ardışık blok grubu görülmüştür. Blok sayısındaki artma ve ardışık blok gruplarındaki artışın hastalığın ciddiyeti konusunda bir gösterge olacağı öngörülmüştür.

## AN IMPORTANT INDICATOR IN JITTER MEASUREMENT: CONSECUTIVE BLOCKS

### Keywords

*Electromyography,  
Jitter,  
Consecutive Blocks,  
Biomedical Signal Processing.*

### Abstract

Neuromuscular diseases affect the transmission from nerve to muscle. If the nerve is stimulated above the threshold, action potential is produced. The transmission of action potential from nerve to muscle takes about 0.5 to 1 ms. This time varies from stimulus to stimulus. This variability is called as "Jitter". The stimulus and response to the consecutive nerve stimuli are recorded with single fiber EMG electrode. Because of restrictions in some countries, disposable concentric needle electrode is also used for jitter measurement recently. Sometimes the response to nerve stimulus is not observed and blocks are presented in recordings. It is possible to see them in patient recordings against consecutive stimuli. In this study, 100 signals are recorded in each session from different sites of 13 participants by using concentric needle electrode and they are analyzed with the developed software. Jitter value can be calculated and number of blocks with consecutiveness of impulse blockings can be demonstrated. No blocks were observed in healthy individuals but high number of blocks and consecutive block groups were observed in myasthenia gravis patients. The increase in number of blocks and excess of consecutive block groups are foreseen as an indicator about the severity of disease.

### Alıntı / Cite

Artuğ, N. T., Alpaydın Baslo, S., Baslo, M. B., (2021). Jitter Ölçümünde Önemli Bir Gösterge: Ardışık Bloklar, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 88-98.

\* İlgili yazar / Corresponding author: tugrulartug@arel.edu.tr, +90-850-850-2735

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
N. T. Artuğ, 0000-0002-9259-2458	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	15.01.2020
S. A. Baslo, 0000-0002-4096-3552	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	07.01.2021
M. B. Baslo, 0000-0003-1551-0559	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	22.01.2021
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

## 1. Giriş (Introduction)

Sinir dalları kas liflerine bağlanmışlardır. Her kas lifi bir motor sinir tarafından inerve edilebilir (Daube ve Rubin, 2009). Eğer bir sinir eşik değerinin üzerinde uyarılırsa aksiyon potansiyeli oluşur. Sinirden kasa aksiyon potansiyelinin iletimi 0.5 ile 1ms arasında zaman almaktadır. Nöromusküler hastalıklar bu iletimi etkiler, dolayısıyla bu zaman uyarıdan uyarıya değişmektedir. Bu değişimiye "Jitter" adı verilir ve mikro saniye ile ifade edilir (Sanders ve Stålberg, 1996).

Ardışık sinir uyarımına karşılık yanıt ve uyarımın kendisi tek lif EMG (TLEMG) elektrodu ile kaydedilir. Bu elektrot gelişmiş bir elektrot türüdür. Bu elektrot ve onun ölçüm teknikleri Stålberg ve Ekstedt tarafından geliştirilmiştir (Stålberg ve Trontelj, 1994; Ekstedt, 1964). Bu elektrodun alma bölgesi çok küçük olduğundan sadece birkaç kas lifinden aksiyon potansiyeli kaydedebilir. TLEMG elektrodu pahalı bir elektrottur ama tekrar tekrar kullanılabilir. Elektrodun dezenfekte etme işlemi elektrodun ömrünü azaltmaktadır. Ayrıca tekrar kullanılmasından ötürü bazı ülkelerde bu elektrodun kullanımı yasaktır (Sarrigiannis vd., 2006; Benatar vd., 2006). Bu sebeplerden ötürü tek kullanımlık konsantrik iğne elektrotları (CNE) da jitter ölçümü için son zamanlarda kullanılmaya başlamıştır (Ertuş vd., 2000).

Jitter ölçülürken kas istemli olarak kasılır ve iki tek lif aksiyon potansiyeline ihtiyaç vardır. Yüksek genliğe sahip olan pik tetik olarak belirlenir. Eğer iki pik de aynı motor üniteye ait ise ikinci pik benzer konumlarda ileriye veya geriye hareket etmektedir (Sanders ve Stålberg, 1996). Aynı motor üniteye ait pik çifti bulunmadıkça sinyal kaydı alınmaz. Bir diğer jitter ölçme yönteminde ise elektriksel uyarım yapılır ve uyarı ile yanıt arasındaki süre ölçülür (Sanders ve Stålberg, 1996). İdealde analiz yapabilmek için bir oturumda 100 sinyal kaydı alınmaktadır (Kouyoumdjian ve Stålberg, 2008).

Jitter değeri mikro saniye ile ifade edilir. Jitter'in hesaplanması için ilk önce her sinyal için iki pikin konumları arasındaki mesafe farkı hesaplanır. Daha sonra kayıt sırasına göre bu fark değerlerinin ardışık farkları hesaplanır. Son olarak bu değerlerin ortalaması bulunur. Bu değer ortalama ardışık fark olarak adlandırılır (mean consecutive difference - MCD) (Sanders ve Stålberg, 1996). Jitter değeri sağlıklı bir birey için extensor digitorum communis (EDC) kasında 50µs'nin altındadır (Stålberg ve Trontelj, 1979).

Kayıt sırasında zaman zaman sinirsel uyarıya karşılık yanıt gözlenmez. Bunun sebebi motor son plağı etkileyen hastalıklardır ve bu durum blok olarak adlandırılır. Bloklar sağlıklı bir bireyde gözlenmezden, nöromusküler hastalıklardan muzdarip bireylerin kayıtlarında ardışık uyarıya karşılık görülebilmektedir (Sanders ve Stålberg, 1996).

Makalenin ikinci bölümünde literatür taraması bulunmaktadır. Üçüncü bölüm kullanılan yöntem ve materyali içerirken, dördüncü bölüm çalışmanın sonuçlarını barındırmaktadır. Çalışma beşinci bölüm olan sonuç ve tartışma ile son bulmaktadır.

Bu çalışma Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Bakırköy Prof. Dr. Mazhar Osman Ruh Sağlığı ve Sinir Hastalıkları Eğitim ve Araştırma Hastanesi etik kurul komitesi tarafından onaylanmıştır (2019/348).

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Nöromusküler iletim ileri derecede bozulduğunda, sinir impulsları kas aksiyon potansiyelleri ortaya çıkarmada başarısız olurlar ve TLEMG iğnesi ile kayıt alındığında kesik kesik impuls bloklanması görülür. Artan jitter ve sık bloklanmalar motor nöron rahatsızlığı olan hastalarda birçok çalışmada görülür (Sanders ve Howard, 1986).

Sanders ve Stålberg'in 1996 yılındaki TLEMG adına yapmış oldukları kapsamlı çalışmada (Sanders ve Stålberg, 1996) TLEMG yönteminin detaylarını ve önemini göstermişlerdir. Miyasteni gravis (MG) hastası olan 788 kişilik bir grubun extensor digitorum communis kasından yaptıkları TLEMG kayıtlarında ocular MG için ortalama 41 µs jitter ve %5 blok oranı, genelleştirilmiş MG için ise ortalama 88 µs jitter %28 blok oranı rapor etmişlerdir.

Valls-Canals ve diğerleri 2003 yılında 20 ocular MG hastası ile 46 sağlıklı bireyin frontalis ve orbicularis oculi (OO) kaslarından elektriksel uyarım ile TLEMG elektrodu kullanarak kayıt almışlardır (Valls-Canals vd., 2003). Her

oturumda 100 sinyal kaydetmişlerdir. Sağlıklılarda frontalis kasında jitter değerini MCD olarak  $14,7 \pm 2,8$   $\mu$ s olarak bulmuşlardır. Aynı değer OO kasında  $12,56 \pm 2,19$   $\mu$ s olarak hesaplanmıştır. MG hastaları için frontalis kasında jitter değeri  $43,85 \pm 25,18$   $\mu$ s, OO kasında ise  $69,85 \pm 29,55$   $\mu$ s'dir. Sağlıklı bireylere ait kayıtlarda bloklanma görülmemiştir. MG hastalarının blok sayısını yüzde olarak vermişlerdir. Alınan hasta kayıtlarında frontalis kası için sinyallerin  $\%2,18 \pm 3,02$ 'sinde, OO kasında ise  $\%4,91 \pm 4,52$  blok görülmüştür.

2011'de Kouyoumdjian ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmanın amacı extensor digitorum (ED) ve frontalis kaslarında konsantrik iğne kullanarak Jitter parametreleri çalışmaktır (Kouyoumdjian vd., 2011). Veri setlerinde 20'er adet miyasteni gravis hastası ve sağlıklı birey bulunmaktadır. Verileri analize kabul ederken bazı kriterler uygulanmışlardır. Bunlar sinyalin hızlı bir yükselme zamanı olması, çentiği veya omuzu olmaması, ardışık deşarjlarda süperempoze edildiğinde paralel yükselme zamanları olmasıdır. Ayrıca pikler birbirinden  $150\mu$ s'den daha büyük bir zamanla ayrılmalı, piklerin şekli iyi tanımlanabilir olmalıdır. Jitter değerini frontalis kasında sağlıklı kontroller için  $16,05 \pm 2,73$   $\mu$ s olarak hesaplamışlardır. Sağlıklı bireylerin sadece frontalis kasından ölçüm yapmışlardır. Aynı değer MG hastaları için frontalistede  $63,3 \pm 32,1$   $\mu$ s olarak, ED kasında ise  $61,5 \pm 50,8$   $\mu$ s olarak bulunmuştur. Sağlıklı bireylerde bloğa rastlanmamıştır. Frontalis kası için ocular MG grubunda  $\%23,3$ , ED kası için ise  $\%21,6$  blok hesaplanmıştır. Genelleştirilmiş MG'de ise bu değerler sırasıyla  $\%38,3$  ve  $\%31$  olarak bulunmuştur. Elektriksel uyartımda yüksek toplam riski olduğunu çünkü birçok aksonun sıkça uyarıldığını belirtmişlerdir. Konsantrik iğne ile jitter analizi yapılacaksa istemli kası tavsiye etmişler ve geniş uzuv kaslarından uyartım çalışmaları için kaçınılması gerektiğini söylemişlerdir.

Stålberg ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmanın amacı konsantrik iğne ile yapılan istemli kası veya elektriksel uyartım tekniklerini göstermek ve karşılaşılabilecek tuzakları tanımlamaktır (Stålberg vd., 2017). Konsantrik iğne elektrodu ile yapılan kayıtlarda sinyallerin kabulü için uyulması gereken kriterleri şöyle sıralamışlardır: sinyalin çentiği veya omuzu olmamalı, sinyaldeki pik hızlı yükselmeli ve ardışık deşarjlarda sinyal formunu korumalıdır. Kesik kesik bloklanma olmasının jitter'ı arttırdığını söylemişlerdir. Bunun önüne geçmek için ise sinyallerin iki piki arasındaki ardışık zaman farklarının küçükten büyüğe dizilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Jitter değeri bu dizilmiş veriden hesaplanır ve buna ortalama dizilmiş fark (MSD) adı verilir.

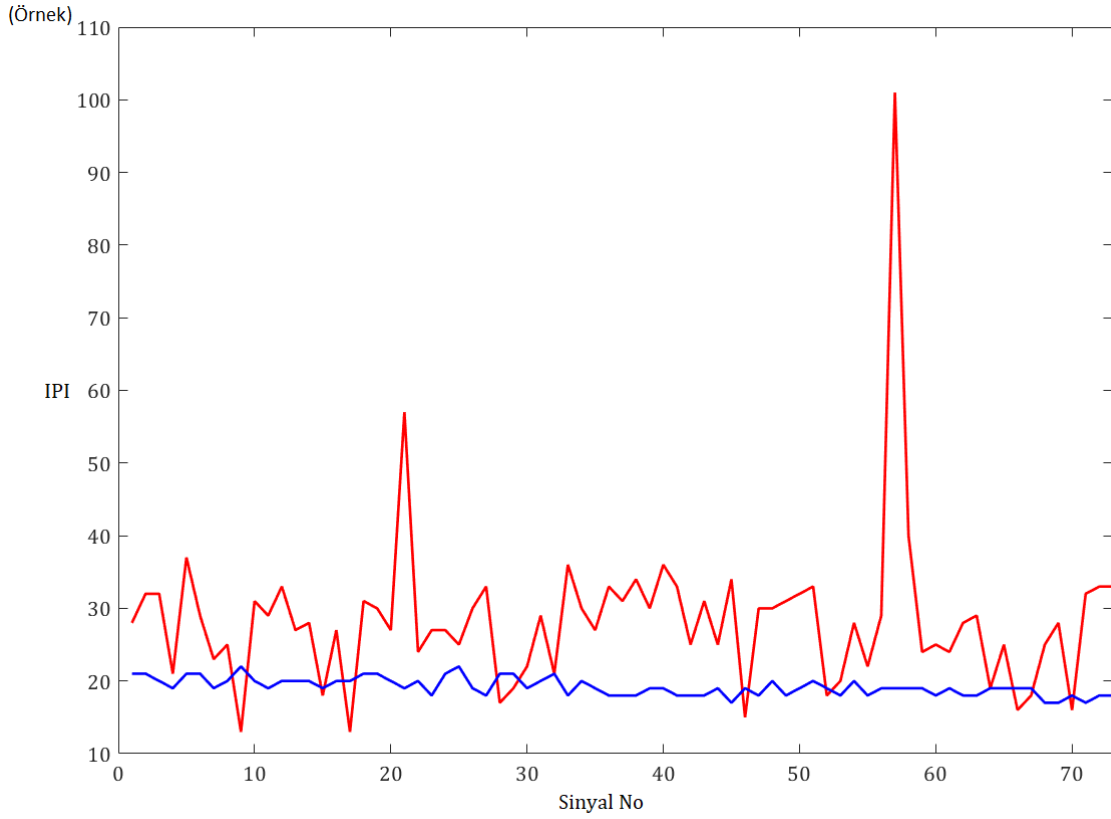
Bu çalışmada, hesaplanan geleneksel jitter parametrelerin yanında diğer çalışmalarda yapılanlardan farklı olarak hastalıkların seyrine yönelik bir fikir vereceği öngörülen ardışık blok gruplarını ve ardışık blok gruplarındaki maksimum blok sayısını hesaplayan bir yazılım geliştirilmiştir. Ardışık blok grubu davranışlarının kastan kasa ve hastalığa göre değişmesi ayırıcılığı arttırabilecek ve klinisyenlere kolaylık sağlayabilecektir.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Yedi sağlıklı kontrol ve 6 miyasteni gravis hastasını içeren bir veri seti oluşturuldu. Kayıt alınırken belli kriterlere uyuldu. Bu kriterler; tetik olarak her zaman en büyük genlikli pik seçildi ve en büyük genlikli pik ile ikinci pik arasındaki genlik oranının  $\%30$ 'dan daha az olmamasına dikkat edildi. Jitter ölçümü için sinyaller her oturumda 100 adet olmak üzere, istemli kası sırasında CNE kullanılarak frontalis kasından kaydedildi.

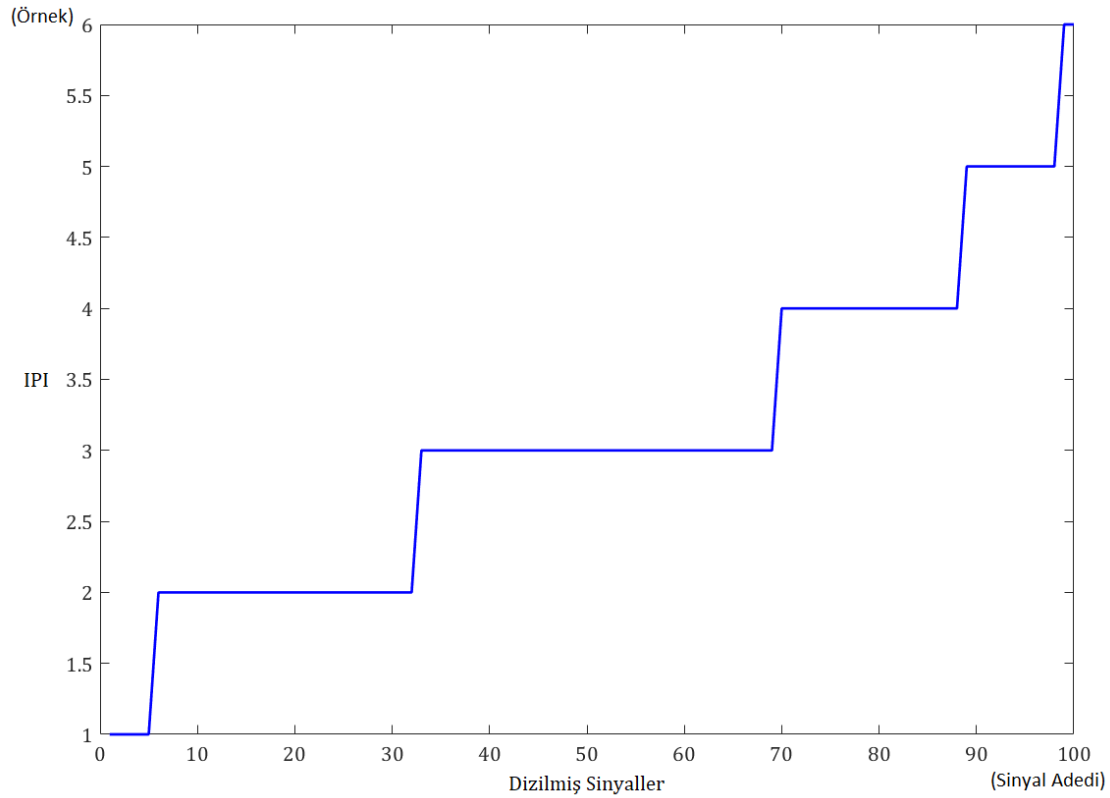
Bu çalışmada birçok özelliği olan çok yönlü bir yazılım geliştirilmiştir. Jitter değerini ortalama ardışık fark (MCD) veya ortalama sıralanmış fark (MSD) olarak hesaplayabilmektedir. Tetik olarak seçilen potansiyelin konumuna göre ikinci pikin en yakın ve en uzak konumları arasındaki fark 100 sinyal arasından kontrol edilip bulunmaktadır. Böylece ikinci pikin oynaklık menzili tespit edilmektedir. Bu değere potansiyel arası mesafe (IPI range) adı verilmektedir. Yazılım ile impuls bloklarının sayısı hesaplanabilirken, ayrıca ardışık blok grupları da gösterilebilmektedir. Bu yazılımın benzersiz özelliklerinden birisi de jitter'in sesini dinleyebilmeyi mümkün kılmasıdır (Alpaydin Baslo vd., 2019).

EMG cihazını ile kaydedilen veriler "txt" formatı ile dışarı alınabilmektedir. Bu veriler kullanılabilir için öncelikle daha önceden geliştirilmiş olan bir algoritma (Artuğ, 2015) ile ön işlemlere tabi tutulmalı ve işaret işlemeye hazır hale getirilmelidirler. Daha sonra sinyaller geliştirilen algoritma tarafından okutulur ve sinyaller üzerine dalgacık temelli gürültü giderme işlemi uygulanır. Kullanıcı tarafından çalışılan kas ve iğne elektrot tipi seçilir. Her sinyal için en yüksek genlik veren iki pikin konumu ve genlikleri belirlenir. Sinyallerin blok mu değil mi olduğu kontrol edilir. Eğer sinyallerde blok olan varsa işaretlenir. Tüm sinyallerin kontrolü bittikten sonra blok sayısı hesaplanır ve ardışık blok grupları belirlenir. Blok gruplarının adedi ve içerdikleri blok sayısı da ayrı ayrı hesaplanıp kullanıcıya gösterilir. Jitter değeri MCD olarak hesaplanır. Blok olmayan sinyaller kayıtlardan ayıklandıktan sonra potansiyel arası mesafe (IPI range) hesaplanır. Bu hesaplamalardan sonra kullanıcıya jitter grafiği, ardışık zaman farklarının küçükten büyüğe dizilmesiyle oluşan grafik, ikinci pikin oynaklığının grafiği gibi çeşitli grafikler gösterilir. Jitter'in sağlıklı bir kontrole ve MG hastasına göre değişimi Şekil 1'de gösterilmiştir.

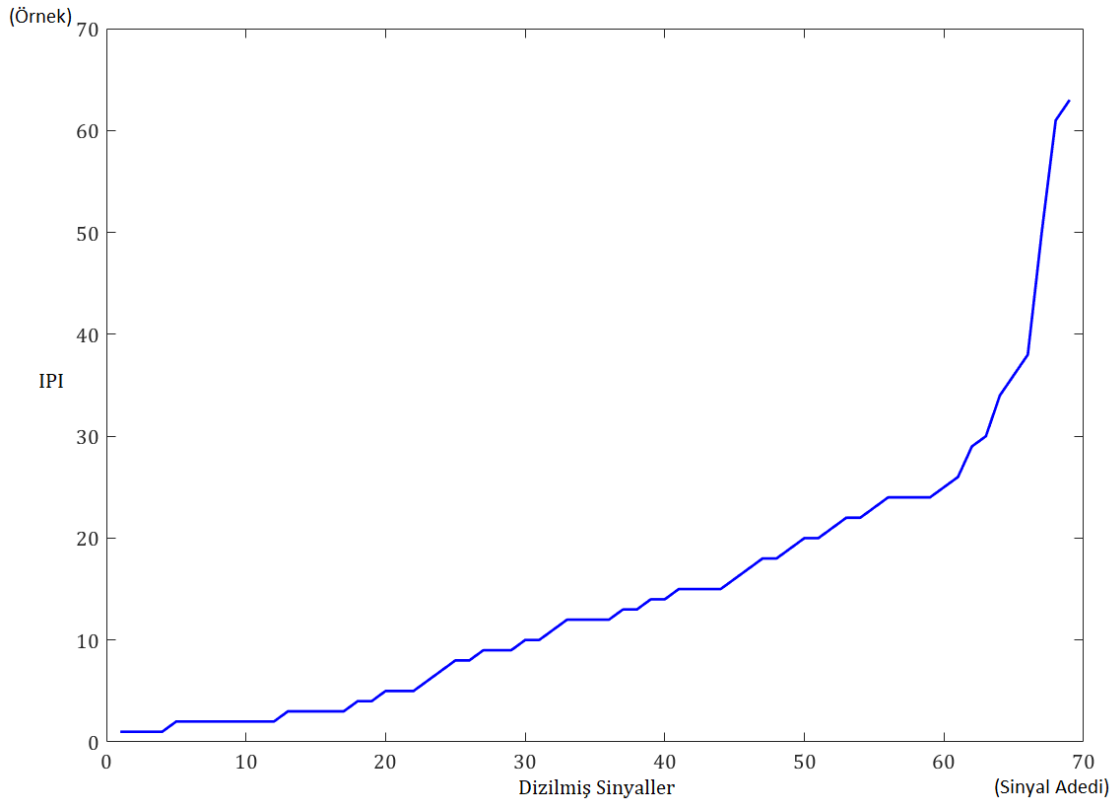


**Şekil 1.** Sağlıklı kontrol (mavi) ve MG hastası (kırmızı) için jitter değişimi  
(The change of jitter for healthy controls (blue) and MG patients (red))

Sağlıklı bir bireye ve MG hastasına ait alınan kayıtlardan elde edilen ardışık zaman farklarının küçükten büyüğe dizilmesiyle oluşan grafik ise Şekil 2 ve 3'te gösterilmiştir.

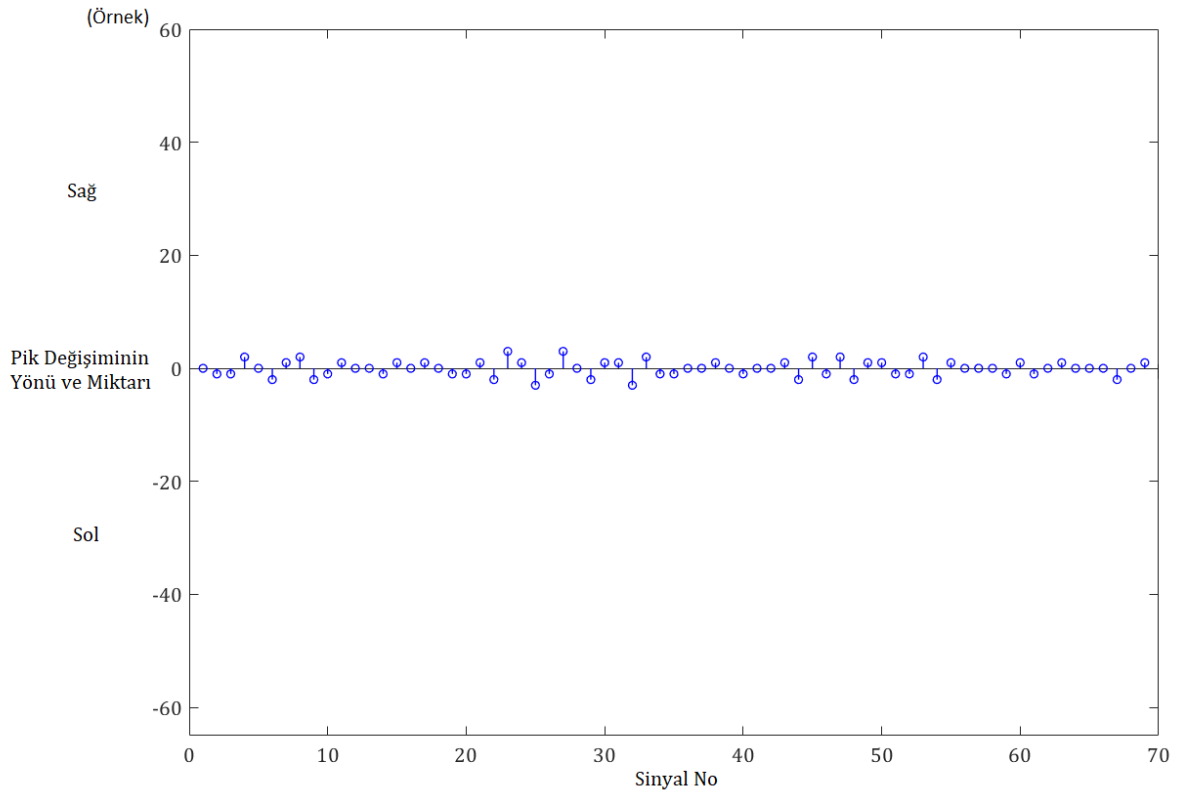


**Şekil 2.** Sağlıklı bir bireyin kayıtlarından elde edilen IPI değerlerinin küçükten büyüğe dizilmesi sonucu oluşan grafik  
(The graphic which represents the sorting of IPI values in ascending order for the recordings that are acquired from a healthy individual)



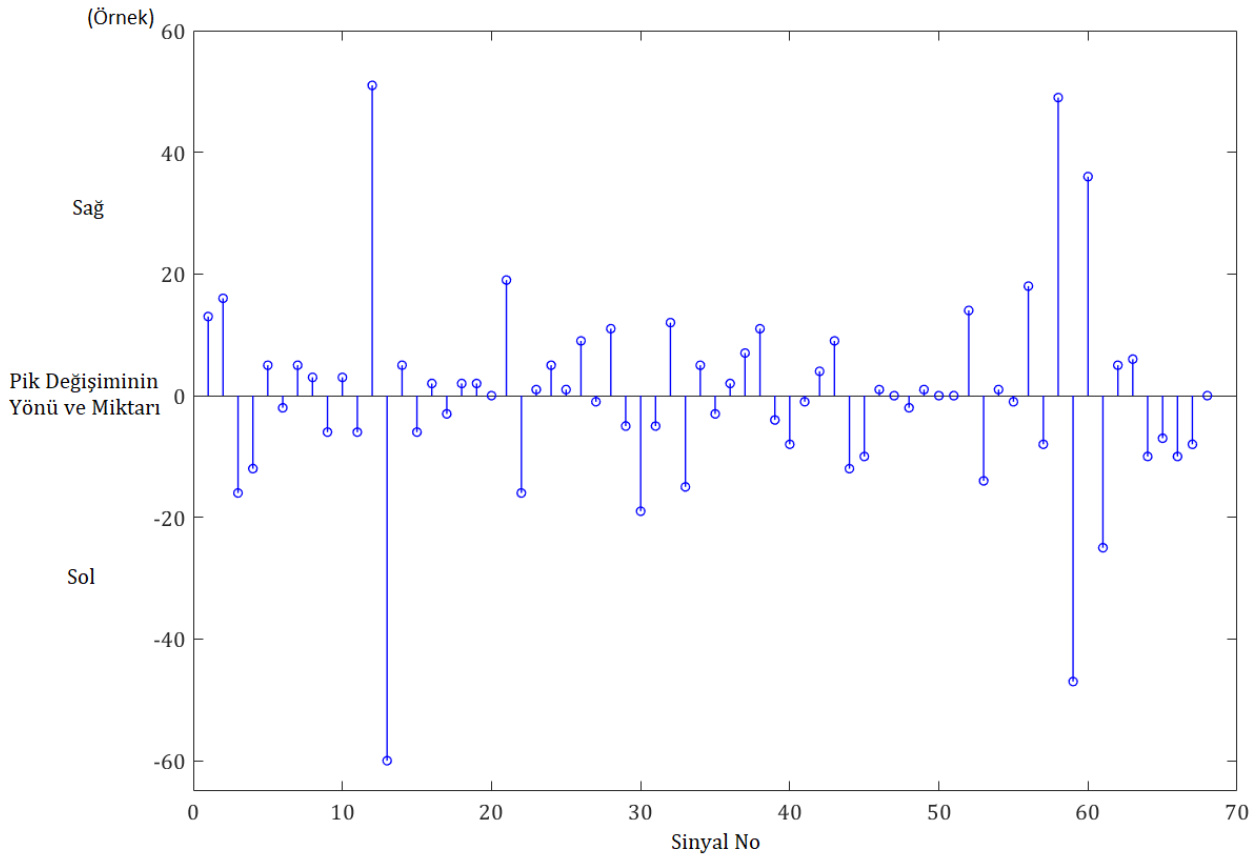
**Şekil 3.** MG hastasının kayıtlarından elde edilen IPI değerlerinin küçükten büyüğe dizilmesi sonucu oluşan grafik (The graphic which represents the sorting of IPI values in ascending order for the recordings that are acquired from an MG patient)

İki kaydın şekilleri incelendiğinde MG hastası için değişimin fazlalığı görülmektedir. İkinci pikin oynaklığının grafiği ise sağlıklı bir kontrol için Şekil 4'te, MG hastası için Şekil 5'te sunulmuştur.



**Şekil 4.** Sağlıklı bir bireyde ikinci pikin sola ve sağa konum değişimi ve miktarı (The location and amount change to the left and right for the second peak in a healthy individual)



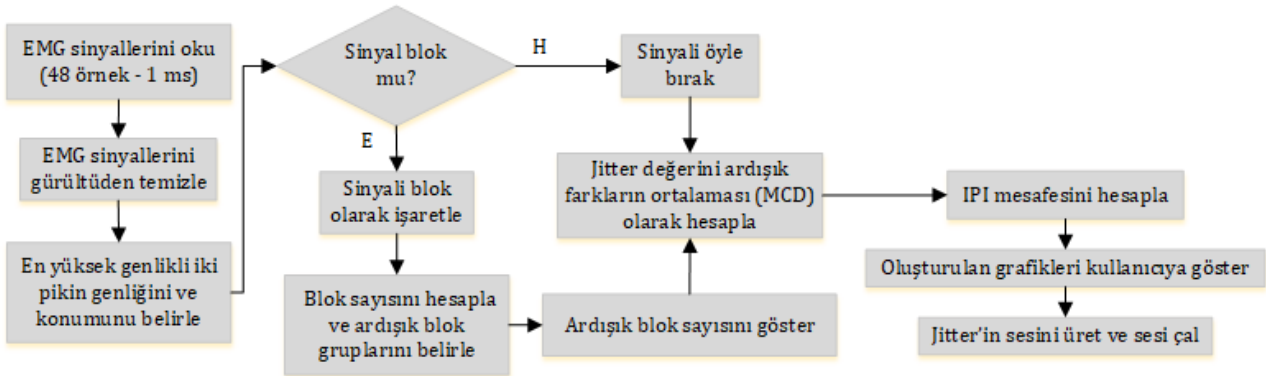


**Şekil 5.** Bir MG hastasında ikinci pikin sola ve sağa konum değişimi ve miktarı  
(The location and amount change to the left and right for the second peak in an MG patient)

Bu grafiklerin gösteriminden sonra, belirlenen iğne ve kas tipine göre kavşağın durumunun normal veya hasta olduğu bilgisi ekrana verilir.

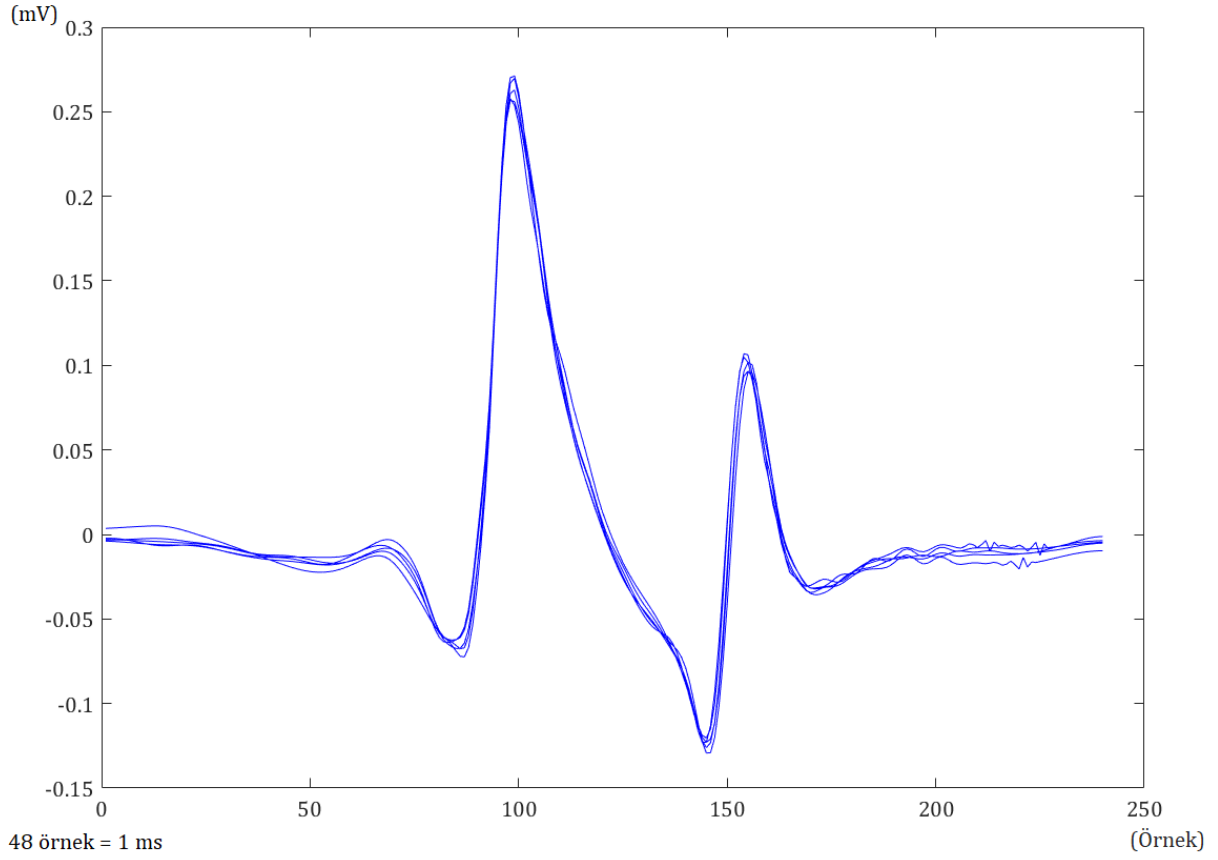
Son olarak elde edilen verilerden o kayıt için algoritma tarafından jitter'in sesi üretilir (Alpaydin Baslo vd., 2019).

Algoritmanın akış şeması Şekil 6'da özet olarak verilmiştir.

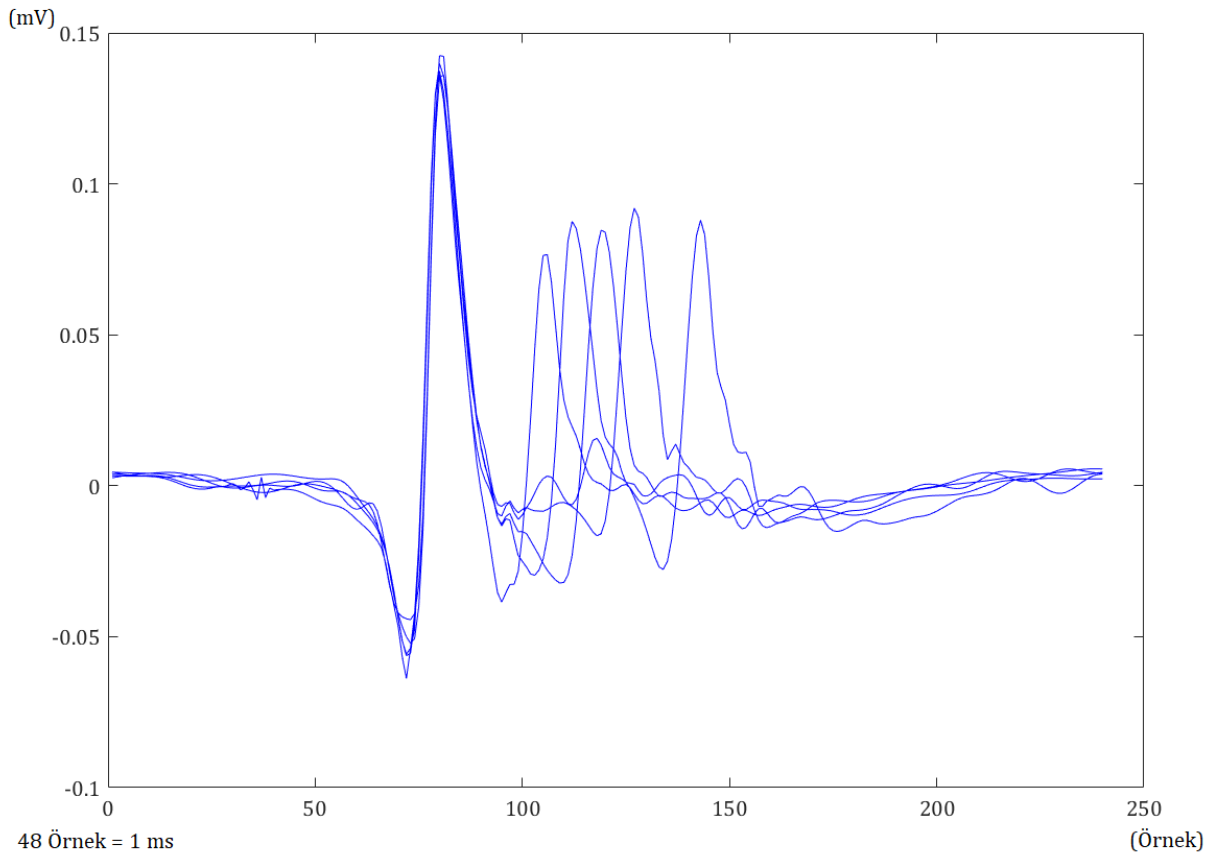


**Şekil 6.** Algoritmanın akış şeması (Flow chart of the algorithm)

Sağlıklı bir kontrole ait 5 sinyal üst üste bindirildiğinde oluşan görüntü Şekil 7'de verilmiştir. Bir miyasteni gravis hastasına ait kayıta ise benzer gösterim Şekil 8'de verilmiştir.



**Şekil 7.** Normal bir birey için 5 sinyalin süperpoze edilmiş hali  
(The superposition of 5 signals for a normal individual)



**Şekil 8.** Bir miyasteni gravis hastası için 5 sinyalin süperpoze edilmiş hali  
(The superposition of 5 signals for a myasthenia gravis patient)

#### 4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Geliştirilen yazılım kullanılarak elde edilen jitter ölçümüne yönelik sonuçlar iki tablo halinde Tablo 1’de sunulmuştur.

Her oturumda 13 katılımcıdan 100 adet sinyal kaydı yapılmış olsa da bu sinyallerin bazıları nadiren gürültülü olmaktadır. Düzeltilemeyecek seviyedeki böyle sinyaller analiz dışı bırakılmıştır. Sinyallerin atılmasından sonra kalan sinyal adedinde 95’in altına inilmemiştir.

**Tablo 1.** Jitter ölçümü için hesaplanmış parametreler (The calculated parameters for jitter measurement)

	Kişi No #	Sinyal Sayısı	Jitter (MCD) (µs)	IPI Mesafesi (µs)	Blok Sayısı	Blok Gruplarının Sayısı	Maksimum Ardışık Blok Sayısı
<b>Sağlıklı Kontroller</b>	1	97	42,53	229,17	0	0	0
	2	100	20,41	104,17	0	0	0
	3	100	8,63	62,5	0	0	0
	4	99	48,68	312,5	0	0	0
	5	100	21,25	83,33	0	0	0
	6	100	19,78	104,17	0	0	0
	7	95	10,2	41,67	0	0	0
<b>Miyasteni Gravis Hastaları</b>	8	98	145,11	1062,5	11	2	3
	9	99	144,43	1166,67	24	5	4
	10	96	122,92	520,83	25	4	3
	11	100	182,58	1833,33	27	5	5
	12	100	207,11	1291,67	31	7	4
	13	98	173,61	791,67	40	9	7

Jitter değeri için ortalama değer sağlıklı kontrollerde  $24,5 \pm 15,36$  µs, miyasteni gravis hastalarında ise  $162,63 \pm 30,7$  µs olarak hesaplanmıştır.

IPI mesafesi parametresi ikinci pikin tetiğe ne kadar yaklaşıp ne kadar uzaklaşabileceğini, diğer bir değişle oynaklığının menziline veren bir göstergedir. Bu değer ortalama sağlıklı kontrollerde  $133,93 \pm 99,08$  µs olarak bulunmuştur. Aynı parametre MG hastalarında  $1111,11 \pm 449,47$  µs olarak hesaplanmıştır.

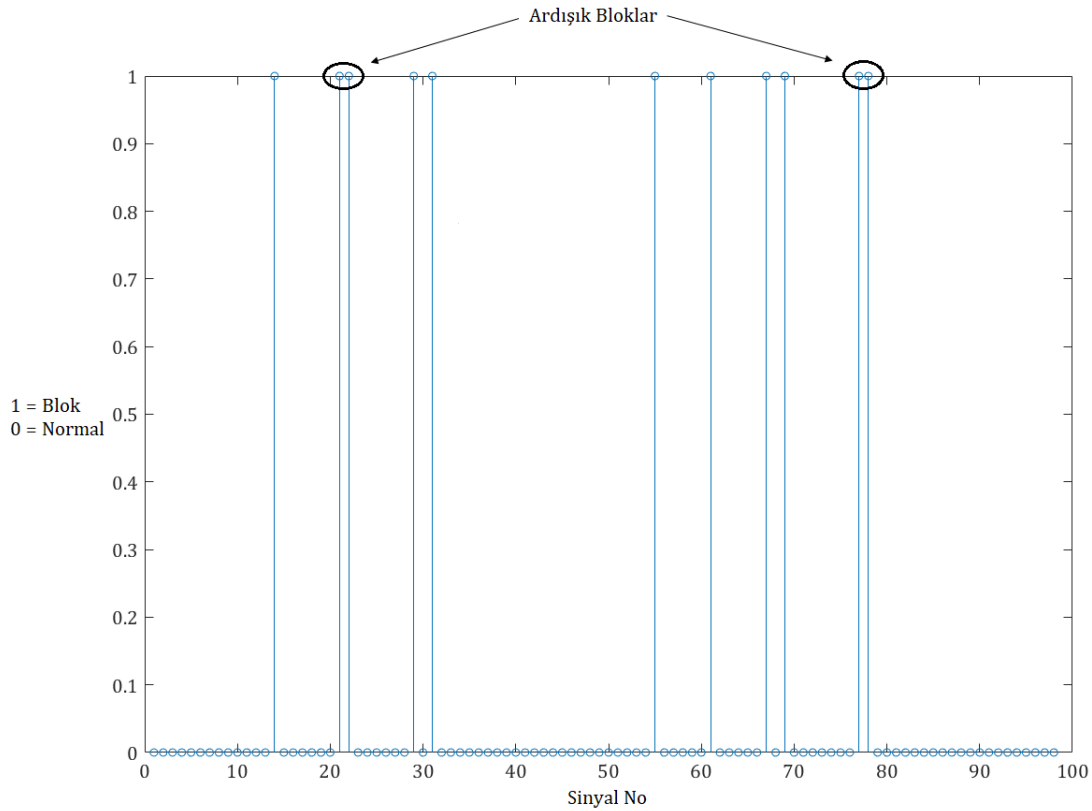
Sağlıklı kontrollerde beklendiği gibi bloğa rastlanmamıştır.

MG hastaları için ise blok sayısının ortalama değeri  $26,33 \pm 9,5$  olarak bulunmuştur.

MG hastalarında ayrıca ardışık blok gruplarına rastlanmıştır. Bu parametre için ortalama değer  $5,33 \pm 2,42$  bulunmuştur. Bir kayıta görülen en fazla ardışık blok grubu sayısı 9 olarak gözlenmiştir.

Hesaplanan son parametre maksimum ardışık blok sayısıdır. Ortalama değer bu parametrede  $4,33 \pm 1,51$  olarak elde edilmiştir. En fazla 7 blok arka arkaya çıkmıştır.

Şekil 9’da bloklar çubuk olarak gösterilmiştir. Blok sayısı bu kayıt için 11 olarak bulunmuştur. Ayrıca şekilde ardışık blok grupları da daireler ile gösterilmektedir. Şekil 9 için ardışık blok grubu sayısı 2’dir ve maksimum ardışık blok sayısı ise yine 2 olarak bulunmuştur.



Şekil 9. Bloklar ve ardışık blok grupları (Blocks and consecutive block groups)

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada sağlıklı bireylerden ve miyasteni gravis hastalarından jitter çalışmaları yapmak üzere veriler kaydedilip bir veri seti oluşturulmuştur. Yeni geliştirilmiş bir yazılım ile jitter çalışmalarına yönelik hesaplamalar yapılmış ve sinyaller ile hesaplanan parametrelere yönelik grafikler gösterilmiştir. Sağlıklı kontroller için hesaplanan tüm jitter değerleri limit değer olan 50  $\mu$ s'den küçük çıkmıştır. Aksine MG hastaları için minimum jitter değeri 122,92  $\mu$ s olarak gözlenmiştir. IPI mesafesi MG hastaları için beklendiği üzere daha uzun çıkmıştır. Bu değer sağlıklı kontrollerde minimum 41,67  $\mu$ s, MG hastalarında ise 520,83  $\mu$ s olarak elde edilmiştir. Sağlıklı bireylerde hiç bloğa rastlanmamıştır. Yüksek sayıda blok MG hastalarının kayıtlarında gözlenmiştir. Ardışık blok grupları yazılımın yardımıyla gözlemlenebilmiştir.

Sanders ve Stålberg'in çalışması TLEMG yöntemini tanıtmak için çok önemli bir çalışmadır (Sanders ve Stålberg, 1996). Hasta grubunun hastalık türü aynı olsa da hem iğne türü hem de ölçüm yapılan kas aynı olmadığından karşılaştırma yapmak mümkün değildir.

Valls-Canals ve diğerlerinin yaptığı çalışmada (Valls-Canals vd., 2003) elektriksel uyartım tekniği ile TLEMG elektrodu kullanılmıştır. Elektriksel uyartımda jitter değeri istemli kasıya oranla daha az çıkmaktadır. Bunun sebebi jitter değerinin tek bir motor son plağın aktarımını yansıtmasıdır (Sanders ve Stålberg, 1996). Bir çalışmada elektriksel uyartım ile elde edilen jitter değerinin ortalamasının istemli kasıya oranla %28 daha az çıktığını rapor etmişlerdir (Jabre vd., 1989). Yaptıkları çalışmada her ne kadar kullanılan iğne bakımından doğrudan örtüşme olmasa da ölçüm tekniğindeki bu fark da hesaba katıldığında sağlıklılar için elde ettikleri 14,7  $\mu$ s MCD değeri ile bu çalışmada elde edilen 24,5  $\mu$ s MCD değeri yakındır. Hastalar için elde edilen jitter değerinde ise örtüşme yoktur. Bunun sebebi bu çalışmadaki hasta grubunun hastalık seyrinin daha ileri bir safhada olması olabilir.

Kouyoumdjian ve arkadaşlarının çalışmasında ölçüm yapılan kas ve kullanılan elektrot tipi bu çalışma ile örtüşmektedir (Kouyoumdjian vd., 2011). Konsantik iğne kullandıklarından dolayı aynı bu çalışmada olduğu gibi bazı kriterlere dikkat ederek kayıt almışlardır. Kontroller için frontalis kasında ortalama 16,05  $\mu$ s jitter ölçmüşlerdir. Aynı değer bu çalışmada 24,5  $\mu$ s olarak bulunmuştur. Veri seti nispeten daha az kayıt içerdiğinden jitter değer ortalaması yüksek bulursa da limit değerinin altındadır. MG hastaları için bulunan jitter değeri ise karşılaştırılan çalışmadan daha yüksek 162,63  $\mu$ s olarak elde edilmiştir. Sağlıklı bireylerde bloğa rastlanmazken, MG grubunda elde ettikleri %23,3 blok oranına karşılık bu çalışmada %26,73 blok oranı bulunmuştur. Blok açısından karşılaştırılan değerler uyum içindedir.

Kouyoumdjian ve Stålberg 2013 yılında yine bu çalışmada incelenen aynı kas üzerinde çalışma yapmışlardır

(Kouyoumdjian ve Stålberg, 2013). Kayıtlar istemli kası altında konsantrik iğne ile yapılmıştır. Oluşturdukları veri seti 20 sağlıklı bireye ait kayıtlar içermektedir. Analize alınacak verilerdeki piklerin kısa yükselme zamanlı, iyi tanımlanan ve sabit şekilli olmalarına dikkat etmişlerdir. Aldıkları 20 kayıt için yaptıkları analiz sonucu hesaplanan MCD değerlerinin ortalaması 19,9µs olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ise hesaplanan değer 7 sağlıklı birey için ortalama 24,5µs'dir. Hesaplanan ortalama değerler yakın bulunmuştur.

Sanders ve diğerlerinin 2019 yılında yaptıkları kapsamlı çalışma TLEMG metodunu tüm detayıyla anlatmaktadır (Sanders vd., 2019). Jitter ölçümü için TLEMG iğnesi en ideal elektrot olsa da konsantrik elektrot ile de belirli kayıt kriterlerine uyarak çalışma yapılabileceği açıkça belirtilmiştir. Bu kriterlerden bazıları yüksek geçiren filtrenin kesim frekansını 1 veya 2 KHz olarak ayarlamak, arka arkaya yapılan kayıtlarda alınan sinyal şeklinin tutarı olması ve kısa yükselme zamanına sahip pikleri analiz için tercih etmektir. Bu çalışmada yapıldığı gibi otomatik sinyal işleme tekniklerinin geliştirilmesi ile sinyallerin üzerindeki gürültünün tespit edilip giderilmesi ve sinyallerin kalitesinin değerlendirilmesinin otomatize edilerek operatör yükünün azaltılması ihtiyacının önemi vurgulanmıştır.

Musa ve Ahmed'in 57 sağlıklı birey üzerinde yaptıkları çalışmada orbicularis oculi ve frontalis kaslarından konsantrik iğne ile istemli kası sırasında kayıt almışlardır (Musa ve Ahmed, 2020). Bir oturumda minimum 50 olmak üzere 50 ile 100 adet arası sinyal kaydını analiz için şart koşmuşlardır. Frontalis kası için hesaplanmış oldukları 27,1µs'lik MCD jitter değeri bu çalışmada hesaplanan 24,5µs değeri ile uyum göstermektedir.

Yapılan hiçbir çalışmada ardışık blok grubu veya maksimum ardışık blok sayısı gibi parametrelerin ölçüldüğüne rastlanmamıştır. Bu çalışma diğer çalışmadan sadece bu yönüyle değil elde edilen jitter değerlerinin değişimini sese çevirmesi özelliği ile de farklılığını göstermektedir.

Blok sayısının artması ve ardışık blok gruplarına rastlanmasının hastalığın seyrinin ağırlığı konusunda bir gösterge olduğu ön görülmektedir. Sonuçlara bakıldığında artan jitter değerine rağmen IPI mesafesinin zaman zaman aynı oranda artmadığı, hatta daha düşük bir jitter değerine göre daha az IPI mesafesi hesaplandığı görülmektedir. Bunun sebebi jitter ile IPI mesafesi arasındaki bağıntının belli bir değere kadar doğrusallığını sürdürmesidir. Jitter değerinin 150 µs'yi geçmesiyle blok ihtimali de artar. Artan blok da zaman zaman IPI mesafesinin kısalmasına sebep olmaktadır.

İlerleyen çalışmalarda veri seti büyütülecek ve farklı nöromusküler hastalık türleri için de blok sayısı ile ardışık blok gruplarının davranışı incelenecektir. Yazılımın kabiliyetinin yeni özellikler eklenerek artırılması da planlanmaktadır.

### **Teşekkür (Acknowledgement)**

Yazarlar hastaların temini ve veri toplamasındaki değerli katkılarından dolayı Doç. Dr. Dilek Ataklı'ya teşekkür eder.

### **Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### **Kaynaklar (References)**

- Alpaydin Baslo, S., Artuğ, T., Şirin, N. G., Kocasoy Orhan, E., Baslo, M. B., 2019. Listening the Sound of Neuromuscular Junction during Voluntary Contraction. Abstracts / Clinical Neurophysiology, 130, e33.
- Artuğ, N. T., 2015. Taramalı EMG ile Nöromusküler Parametrelerin Belirlenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Benatar, M., Hammad, M., Doss-Riney, H., 2006. Concentric-needle single-fiber electromyography for the diagnosis of myasthenia gravis. Muscle Nerve, 34, 163-168.
- Daube, J. R., Rubin, D. I., 2009. Needle electromyography. Muscle Nerve, 39, 244-270.
- Ekstedt, J., 1964. Human single muscle fiber action potentials. Acta Physiol Scand Suppl., 226, 1-96.
- Ertaş, M., Baslo, M. B., Yildiz, N., Yazıcı, J., Oge, A. E., 2000. Concentric Needle Electrode for Neuromuscular Jitter Analysis. Muscle Nerve, 23, 715-719.
- Jabre, J. F., Chirico-Post, J., Weiner, M., 1989. Stimulation SFEMG in Myasthenia Gravis. Muscle Nerve, 12, 38-42.
- Kouyoumdjian, J. A., Da Silva Fanini, A. C., Stålberg, E., 2011. Concentric Needle Jitter on Stimulated Frontalis and Extensor Digitorum in 20 Myasthenia Gravis Patients. Muscle Nerve, 44, 912-918.
- Kouyoumdjian, J. A., Stålberg, E., 2008. Concentric needle single fiber electromyography: Comparative jitter on voluntary-activated and stimulated Extensor Digitorum Communis. Clinical Neurophysiology, 119, 1614-1618.

- Kouyoumdjian, J. A., Stålberg, E., 2023. Concentric Needle Jitter on Voluntary Activated Frontalis in 20 Healthy Subjects. *Muscle Nerve*, 47, 440-442.
- Musa, A. M. M., Ahmed, A. E. M., 2020. Reference Jitter Values for Concentric Needle Electrode of Orbicularis Oculi and Frontalis Muscles Using Voluntary Activation Method in Sudanese Population. *Sci Rep*, 10, 1031.
- Sanders, D. B., Arimura, K., Cui, L., Ertaş, M., Farrugia, M. E., Gilchrist, J., Kouyoumdjian, J. A., Padua, L., Pitt, M., Stålberg, E., 2019. Guidelines for single fiber EMG. *Clinical Neurophysiology*, 130, 1417-1439.
- Sanders, D. B., Howard, J. F., 1986. AAEE Minimonograph #25: Single-Fiber Electromyography in Myasthenia Gravis. *Muscle Nerve*, 9, 809-819.
- Sanders, D. B., Stålberg, E., 1996. AAEM Minimonograph #25: Single-Fiber Electromyography. *Muscle Nerve*, 19, 1069-1083.
- Sarrigiannis, P. G., Kennett, R. P., Read, S., Farrugia, M. E., 2006. Single-Fiber EMG with a Concentric Needle Electrode: Validation in Myasthenia Gravis. *Muscle Nerve*, 33, 61-65.
- Stålberg, E., Sanders, D. B., Kouyoumdjian, J. A., 2017. Pitfalls and errors in measuring jitter. *Clinical Neurophysiology*, 128, 2233-2241.
- Stålberg, E., Trontelj, J. V., 1979. *Single Fibre Electromyography*. Old Woking, UK, Mirvalle Press.
- Stålberg, E., Trontelj, J. V., 1994. *Single fiber electromyography: Studies in healthy and diseased muscle*, second ed. New York, Raven Press.
- Valls-Canals, J., Povedano, M., Montero, J., Pradas, J., 2003. Stimulated Single-Fiber EMG of the Frontalis and Orbicularis Oculi Muscles in Ocular Myasthenia Gravis. *Muscle Nerve*, 28, 501-503.



## SÜREKLİ MIKNATISLI SENKRON MOTORLAR İÇİN YENİ ÇOK SEVİYELİ EVİRİCİ TOPOLOJİSİ

Esra KANDEMİR BEŞER\*, Ersoy BEŞER

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Çok Seviyeli Evirici, SMSM, THB, Motor Sürücüsü.</i>	Bu çalışmada, Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorlarda (SMSM) kullanılacak çok seviyeli evirici topolojisi önerilmektedir. Önerilen yapı çok seviyeli gerilim şeklini yapısındaki seviye modülleri ve modüller içerisindeki anahtarlama elemanlarına ait tetikleme sinyalleri ile elde etmektedir. Çıkış gerilimi harmonikleri düşüktür. Bu yüzden bu yapının SMSM gibi giriş akımının saf sinüs olduğu motor uygulamalarında kullanılması oldukça uygundur. Bu üstünlüğü göstermek için önerilen eviricinin SMSM ile birlikte değişken moment ve değişken hız durumları için benzetim çalışması yapılmıştır. Benzetim sonuçlarına göre seviye sayısı arttıkça gerilim ve akım toplam harmonik bozunumu (THB) değerleri azalarak dalga şekilleri daha sinüsoidal hale gelmektedir. Önerilen eviricinin, SMSM sürücüsü olarak değişken yük ve değişken hız uygulamalarında kullanılması oldukça uygundur.

## A NEW MULTILEVEL INVERTER TOPOLOGY FOR PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTORS

Keywords	Abstract
<i>Multilevel Inverter, PMSM, THB, Motor Drive.</i>	In this study, a multilevel inverter topology that can be used in Permanent Magnet Synchronous Motors (PMSM) is proposed. The proposed structure achieves the multilevel voltage shape with the level modules in the structure and the switching signals of the switching elements in the modules. Output voltage harmonics are low. Therefore, it is very advantageous to use this structure in sinusoidal machines such as PMSM. In order to demonstrate this advantage, the proposed inverter is simulated for variable torque and variable speed conditions together with PMSM. According to the simulation results, as the number of levels increases, the voltage and current total harmonic distortion (THD) values decrease and the waveforms become more sinusoidal. It is very convenient to use the proposed inverter as an PMSM driver in variable load and variable speed applications.

### Alıntı / Cite

Kandemir Beşer, E., Beşer, E., (2021). Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorlar İçin Yeni Çok Seviyeli Evirici Topolojisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 99-107.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Kandemir Beşer, 0000-0002-4305-3415  
E. Beşer, 0000-0002-3200-0027

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	27.03.2020
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	29.11.2021
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	03.02.2021
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

### 1. Giriş (Introduction)

Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorlar (SMSM) son yıllarda oldukça ilgi çeken makineler haline gelmiştir. Bunun sebebi bu makinelerin yüksek güç yoğunluğuna sahip olması ve yüksek verimli olmasından kaynaklanmaktadır (Chi and Sun, 2008; Chen vd., 2017; Purohit ve Dubey, 2015). SMSM'lerde geleneksel senkron makinada olan

\* İlgili yazar / Corresponding author: esrakandemir@kocaeli.edu.tr, +90-262-303-3497

uyarma sargılarının yerine rotorda sürekli mıknatısların kullanılması bu makinelerin güç yoğunluğunu ve verimini arttırmıştır (Jacob and Chitra, 2017).

Genellikle motor uygulamalarında geleneksel iki seviyeli darbe genişlik modülasyonlu (DGM) eviriciler kullanılmaktadır. Geleneksel eviriciler ile sürülen SMSM'lerde motor uçlarındaki (dv/dt) gerilim değişimi fazla olur (Rahman vd., 2018; Haris vd., 2014). Bu da sargı izolasyonunun bozulmasına neden olabilir (Rahman vd., 2018). Ayrıca geleneksel iki seviyeli eviricilerde gerilim harmonikleri yüksektir. Anahtarlama frekansları yüksek olduğundan anahtarlama kayıpları fazladır (Haris vd., 2014). Bu eksiklikler özellikle yüksek güçlü ve yüksek hızlı uygulamalarda daha da öne çıkmaktadır (Xia vd., 2018).

Bu problemleri aşmak için SMSM'lerde çok seviyeli eviricilerin kullanılması oldukça uygun bir seçenektir (Chen vd., 2017; Purohit and Dubey, 2015; Rahman vd., 2018; Haris vd., 2014). Çok seviyeli eviriciler basamaklı gerilim dalga şekli üretirler. Harmonikleri oldukça düşüktür. (dv/dt) gerilim değişimi azdır. Süzgeç devrelerine ihtiyaç duymazlar (Rahman vd., 2018). Literatürde çok seviyeli farklı evirici topolojileri önerilmektedir. Bu topolojiler genel olarak diyot kenetlemeli, kapasitör kenetlemeli ve kaskad bağlı eviriciler olarak 3 sınıfa ayrılabilir (Naumanen vd., 2009).

Çok seviyeli eviricileri SMSM yapılarında kullanan çalışmalar içerisinde Thielemans vd. (2009) SMSM için kapasitör kenetlemeli bir evirici yapısı önermektedir. Beş seviyeli eviricide, toplamda 24 anahtar kullanılmıştır. Purohit ve Dubey, (2015) SMSM sürücüsünde 3 fazlı 5 seviyeli kaskad bağlı H-köprü evirici kullanmıştır. Eviricide her fazda sekiz, toplamda 24 anahtar bulunmaktadır. Faz akımlarını sinüsoidal şekle yaklaştırmak için yüksek frekanslı DGM tekniği kullanılmıştır. Vargas vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada SMSM sürücüsü olarak üç seviyeli nötr kenetlemeli evirici kullanılmıştır. Bu eviricide 12 anahtar, 6 diyot bulunmaktadır.

Bu çalışmada SMSM sürücüleri için yeni çok seviyeli evirici yapısı önerilmiştir. Önerilen evirici anahtarlama elemanı sayısı ve anahtarlama tekniği bakımından benzer çalışmalara göre üstün özelliklere sahiptir. Önerilen eviricinin gerilim harmonikleri çok düşüktür. Özellikle 32 ve üzerindeki seviyelerde çıkış geriliminin THB değeri % 5'in altındadır. Bu da önerilen eviricinin çıkış geriliminin sinüsoidal olduğunu gösterir. Dolayısıyla giriş geriliminin ve akımının sinüsoidal olduğu makineler için kullanımı oldukça uygundur. SMSM de sinüsoidal makinalardan biridir. Önerilen evirici topolojisinin SMSM ile birlikte kullanımı çalışmanın orijinalliğini oluşturmaktadır. Evirici detaylı olarak tanıtılarak SMSM ile benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçları önerilen yapının SMSM sürücüleri için iyi bir aday olduğunu göstermektedir.

## 2. Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Matematiksel Modeli (Mathematical Model of Permanent Magnet Synchronous Motor)

SMSM'nin matematiksel modeli a,b,c veya d-q faz sisteminde oluşturulabilir. Bu çalışmada a,b,c faz değişkenleri kullanılarak matematiksel model oluşturulmuştur. İlk olarak gerilim eşitlikleri, ardından moment eşitliği elde edilmiştir. Gerilim eşitlikleri matris olarak aşağıdaki gibidir.

$$[V]_{a,b,c} = [R]_{a,b,c}[I]_{a,b,c} + \frac{d}{dt}[\lambda]_{a,b,c} \quad (1)$$

Her bir fazdaki toplam halkalama akısı ifadeleri ayrıntılı yazılacak olursa,

$$[\lambda]_{a,b,c} = [L]_{a,b,c}[I]_{a,b,c} + [\lambda_m]_{a,b,c} \quad (2)$$

eşitliği elde edilir. Genellikler SMSM'lerde sargı endüktansları rotor konumuna bağlı olarak değişmez yada çok az değişiklik olur. Dolayısıyla sargıların öz ve sargılar arası karşılıklı endüktans değerleri eşit kabul edilebilir. Öz endüktans değerleri ( $L_{aa}$ ,  $L_{bb}$  ve  $L_{cc}$ ) ve karşılıklı endüktans değerleri ( $L_{ab}$ ,  $L_{ac}$  ve  $L_{bc}$ ) sırasıyla endüktans matrisi içerisinde L ve M olarak alınabilir. Toplam halkalama akısının ( $\lambda_m$ ) türevi alınırken bu kabullere göre düzenleme yapılır ve gerilim eşitlikleri tekrar aşağıda olduğu gibi yazılabilir. Eşitliklerdeki R sargı direncini,  $\theta_r$  rotor açılal konumunu ifade eder.

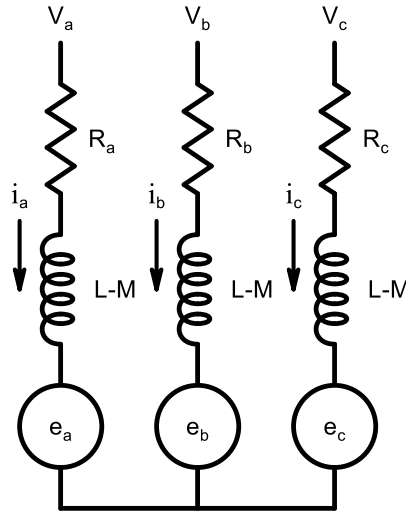
$$[V]_{a,b,c} = [R]_{a,b,c}[I]_{a,b,c} + \frac{d}{dt}\{[L - M][I]_{a,b,c} + [\lambda_m]_{a,b,c}\} \quad (3)$$

$$[V]_{a,b,c} = [R]_{a,b,c}[I]_{a,b,c} + [L - M] \frac{d}{dt}[I]_{a,b,c} + \frac{\partial}{\partial \theta_r}[\lambda_m]_{a,b,c} \frac{\partial \theta_r}{\partial t} \quad (4)$$

$$[V]_{a,b,c} = [R]_{a,b,c}[I]_{a,b,c} + [L - M] \frac{d}{dt}[I]_{a,b,c} + e_{a,b,c} \quad (5)$$

Elde edilen gerilim eşitliklerine göre SMSM'nin eşdeğer devresi Şekil 1'deki gibi olur.





Şekil 1. SMSM'nin a,b,c faz sistemindeki eşdeğer devresi (Equivalent circuit of PMSM in a,b,c phase system)

Elektromanyetik moment ( $T_e$ ) de elektriksel ve mekanik büyüklükler ile Denklem (6) ve (7)'deki gibi ifade edilebilir. Burada  $j$  atalet momentini,  $p$  çift kutup sayısını,  $\omega_r$  açısal hızı,  $T_L$  yük momentini belirtir.

$$T_e = p \left\{ [I]_{a,b,c}^T \frac{\partial [\lambda_m]_{a,b,c}}{\partial \theta_r} \right\} \quad (6)$$

$$T_e - T_L = \frac{d\omega_r}{dt} \frac{j}{p} \quad (7)$$

Gerilim denklemleri ile birlikte elektromanyetik moment denklemleri SMSM'nin matematiksel modelini oluşturur.

### 3. Üç Fazlı Çok Seviyeli Evirici ve Tetikleme Sinyallerinin Elde Edilmesi (Three Phase Multilevel Inverter and Obtaining Switching Signals)

Yapılan çalışmada 3 fazlı çok seviyeli eviricide yük olarak bir SMSM kullanılmıştır. Şekil 1'deki motor eşdeğer devresinde görülen  $V_a$ ,  $V_b$  ve  $V_c$  uçları çok seviyeli evirici ile beslenmektedir.

Çalışmada kullanılan çok seviyeli eviricinin motoru beslediği durumu gösteren devre şeması Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 2'de görülen eviricinin bir faz çıkış gerilimi 8 seviyelidir. Her faz seri bağlı modüllerden oluşmaktadır. Bir fazdaki gerilimin seviye sayısı o fazdaki seri bağlı modül sayısı ile değişmektedir. Her modülde iki yarıiletken anahtarlama elemanı ve bir doğru akım kaynağı bulunmaktadır. Daha önce yapılan çalışmamızda (Kandemir Beser ve Beser, 2018), her fazda seri bağlı modüllere ek olarak ters seri bağlı bir doğru akım kaynağı bulunmaktadır. Bu çalışmada anahtarlama tekniği geliştirilerek ters seri bağlı kaynaklar elimine edilmiştir. Yeni geliştirilen anahtarlama mantığına göre önceki topolojiye kıyasla 3 kaynak daha az kullanılmıştır ve faz gerilimi seviye sayısı aynı anahtar sayısı için iki katına çıkarılmıştır. Seviye modülleri önerilen eviricideki en küçük birimlerdir. Modül sayısının artmasına bağlı olarak çıkış gerilimi seviye sayısı da artmaktadır. Eğer  $m$  bir fazdaki modül sayısı ise, faz başına seviye sayısı  $2^{m+1}$  şeklinde değişir.

Örnek olarak Şekil 2'de görülen eviricide bir fazda 2 modül sayısı bulunduğundan çıkış gerilimi 8 seviyelidir. Her modüldeki gerilim kaynakları da  $V_d$  değeri hesaplandıktan sonra 2 nin üstel katları olarak değişmektedir.  $V_d$  değeri, eğer  $n$  seviye sayısı ise Denklem (8)'deki gibi bulunabilir.

$$V_d \cong \frac{4V_m}{n-2} \quad (8)$$

SMSM'nin denetimi için kullanılan çok seviyeli eviricinin modül sayısına göre faz gerilimindeki seviye sayısı, eviricideki toplam kaynak ve anahtar sayısı bir tablo ile özetlenebilir. Tablo 1'de eviriciye ait bu bilgiler görülmektedir.

Çok seviyeli evirici yapısının en önemli özelliği çıkış geriliminin basamak şeklinde olmasıdır. Bu durumun birçok üstünlüğü bulunmaktadır. Evirici yapısındaki anahtarlar geleneksel eviricilere göre daha az gerilim değişimi altında kalır. Gerilim harmonikleri yine geleneksel eviricilere göre düşük olur. Dolayısıyla çıkışta daha küçük

boyutta süzgeç devrelerine gereksinim duyarlar. Yüksek gerilim seviyelerinde bu tip eviriciler daha da öne çıkar. SMSM gibi giriş akımının saf sinüs olduğu makinaların sürülmesi için oldukça elverişlidir.

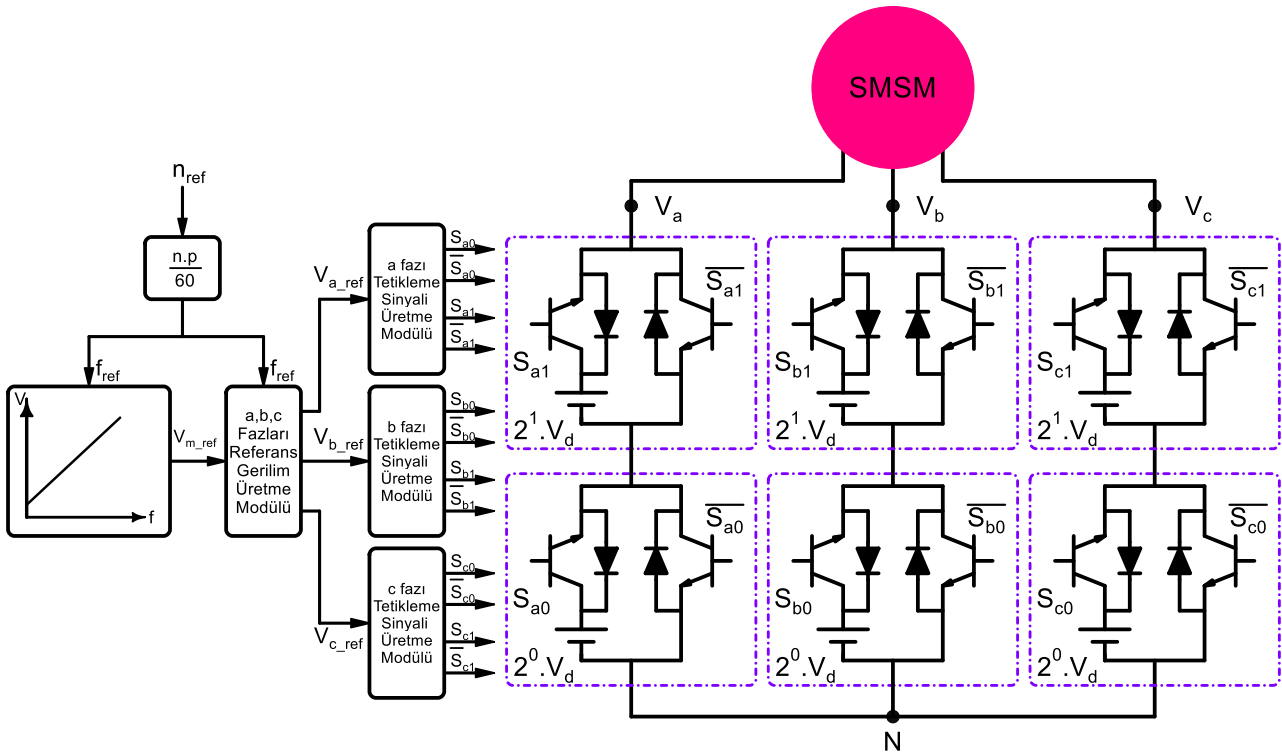
Çıkış geriliminin çok seviyeli olarak elde edilmesi için en önemli parametre uygun tetikleme sinyallerinin elde edilmesidir. Şekil 2'den de görüldüğü gibi tetikleme sinyalleri referans devir sayısına ( $n_{ref}$ ) bağlı olarak değişmektedir. SMSM hangi devir sayısında döndürülmek isteniyorsa bu referans değeri  $n_{ref}$  değeri olarak kontrol girişine uygulanır. Belirlenen  $n_{ref}$  değerine karşılık kontrol algoritmasından  $f_{ref}$  değeri hesaplanır. Hesaplanan  $f_{ref}$  değeri için V/f tablosundan uygulanacak gerilimin maksimum değeri ( $V_{m\_ref}$ ) bulunur.  $f_{ref}$  ve  $V_{m\_ref}$  değerleri ile a,b,c fazları referans gerilim üretme modülü içerisinde Denklem (9) kullanılarak a,b,c fazlarına ait referans gerilimler elde edilir.

$$\begin{bmatrix} V_{a\_ref} \\ V_{b\_ref} \\ V_{c\_ref} \end{bmatrix} = \left( \frac{V_{m\_ref}}{V_d} \right) \begin{bmatrix} 1 + \sin(2\pi ft) \\ 1 + \sin(2\pi ft + 120) \\ 1 + \sin(2\pi ft - 120) \end{bmatrix} \quad (9)$$

Elde edilen referans gerilimler kullanılarak a,b,c fazları tetikleme sinyali üretme modüllerinde Denklem (10) temel alınarak eviricideki anahtarlama elemanlarına ait tetikleme sinyalleri bulunur. Böylelikle, Şekil 2' de görülen kontrol algoritması ile devir sayısının değişen değerlerine göre anahtarlama elemanlarının tetikleme sinyalleri anlık olarak bulunur. Denklem (10)'daki k, bir fazdaki modül numarasını ifade etmektedir.

$$\begin{bmatrix} S_{abc,0} \\ S_{abc,1} \\ S_{abc,2} \\ \vdots \\ S_{abc,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (V_{abc\_ref}) \bmod 2 \\ ((V_{abc\_ref}) - (V_{abc\_ref} \bmod 2^1))2^{-1} \bmod 2 \\ ((V_{abc\_ref}) - (V_{abc\_ref} \bmod 2^2))2^{-2} \bmod 2 \\ \vdots \\ ((V_{abc\_ref}) - (V_{abc\_ref} \bmod 2^k))2^{-k} \bmod 2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Makalede önerilen evirici topolojisi, SMSM'den herhangi bir geri besleme almadan anlatılan açık çevrim denetim ile bir SMSM sürücüsü olarak kullanılmaktadır. Sürücü ve uygulanan denetim algoritması ile SMSM değişken hızlı uygulamalarda da çalıştırılabilmektedir. Önerilen evirici topolojisinde bir değişiklik yapmadan sadece denetim algoritması değiştirilerek SMSM'nin aynı evirici ile farklı denetim yöntemlerinde çalıştırılması mümkündür.



Şekil 2. SMSM ile birlikte çalışan çok seviyeli eviricinin şeması (Scheme of multilevel inverter operating with a PMSM)

**Tablo 1.** Modül sayısına göre çıkış gerilimi seviye sayıları değişimi, kaynak ve anahtarlama elemanı sayıları (Output voltage level number variation, source and switching elements number by number of level modules)

Seviye Modülü Sayısı	(m)	.	2	3	4	5	....	m
Faz Gerilimi Seviye Sayısı	(n)	.	8	16	32	64	.	$2^{m+1}$
Kaynak Sayısı	(S)	.	6	9	12	15	....	3m
Toplam Anahtar Sayısı	(R)	.	12	18	24	30	.	6m

Geleneksel çok seviyeli eviriciler içerisinde; Thielemans vd. (2009)' in çalışmasında beş seviyeli kapasitör kenetlemeli evirici yapısında 24 anahtar, Purohit ve Dubey, (2015)' in SMSM sürücüsünde 3 fazlı 5 seviyeli kaskad bağlı H-köprü evirici yapısında 24 anahtar, Vargas vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada SMSM sürücüsü olarak üç seviyeli nötr kenetlemeli evirici yapısında 12 anahtar bulunmaktadır. Önerilen evirici yapısında Tablo 1' den de görüldüğü gibi 12 anahtar kullanıldığında 8 seviyeli, 24 anahtar kullanıldığında ise 32 seviyeli çıkış gerilimi elde edilmektedir. Dolayısıyla önerilen evirici belirli bir gerilim seviye için daha az anahtar kullanmakta yada belirli bir anahtar sayısı için daha fazla seviyeli çıkış gerilimi üretmektedir. Seviye sayısı arttıkça ise gerilim sinüs sinyaline daha çok benzemekte ve THB değeri düşmektedir.

#### 4. Çok Seviyeli Evirici ile Beslenen SMSM'nin Benzetim Çalışması (Simulations of PMSM Fed by the Multilevel Inverter)

Benzetim çalışmaları için ilk olarak motor modeli ve çok seviyeli evirici modeli benzetim programında (MATLAB) oluşturulmuştur. Tetikleme sinyalleri Denklem (10)'daki eşitlikler yardımıyla bulunmuştur. Benzetim çalışmasında kullanılan SMSM'nin parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** SMSM'nin parametreleri (Parameters of PMSM)

Stator faz direnci	R [ $\Omega$ ]	0.80
Stator öz endüktans	L [mH]	6.35
Stator ortak endüktans	M [mH]	0.35
Eylemsizlik momenti	J [kgm <sup>2</sup> ]	0.004
Sürtünme katsayısı	B [Nms]	0.005
Kutup sayısı	2p	4
Mıknatıs akısı maksimum değeri	$\lambda_m$ [Wb]	0.48

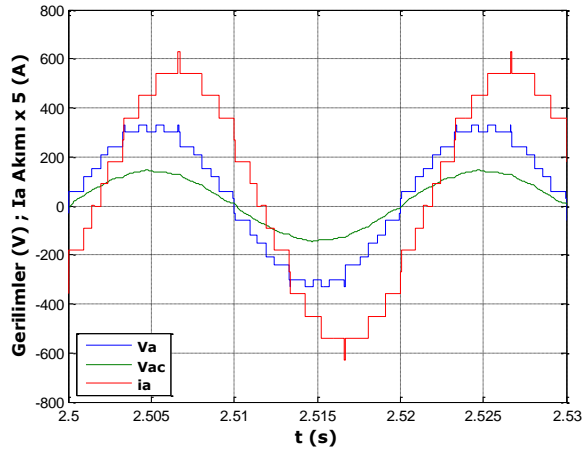
Benzetim çalışmalarında değişken yük durumu için 16 ve 32 seviyeli evirici topolojileri kullanılmıştır. 16 ve 32 seviyeli evirici yapılarında faz başına sırasıyla 3 ve 4 seviye modülü kullanılmıştır. Şekil 3 ve 4'te değişken yüklü bir SMSM'nin 16 ve 32 seviyeli evirici yapıları ile beslenmesi durumundaki benzetim sonuçlarına yer verilmiştir. Burada önerilen eviriciyle frekans ve gerilim nominal değerlerde sabit tutularak makina yüklenmiştir. Benzetim sonuçlarında seviye sayısı arttıkça gerilimin daha sinüsoidal hale geldiği görülmektedir. Bunun sonucunda akım da sinüsoidal hale gelmektedir. Bu durum Tablo 3'teki THB sonuçlarından da belli olmaktadır. Dolayısıyla moment titreşimleri de azalmaktadır.

Benzetim çalışmalarında son olarak SMSM'nin sabit yükte iken değişken hızda çalıştırılması amaçlanmıştır. Bunun için 5 modüllü evirici yapısı kullanılarak, değişken hız için gerektiği kadar modül devreye alınarak 10Nm yükte SMSM değişken hızlarda çalıştırılmıştır. Bu duruma ait benzetim sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Benzetim sonuçları önerilen eviricinin değişken hız uygulamaları için de kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

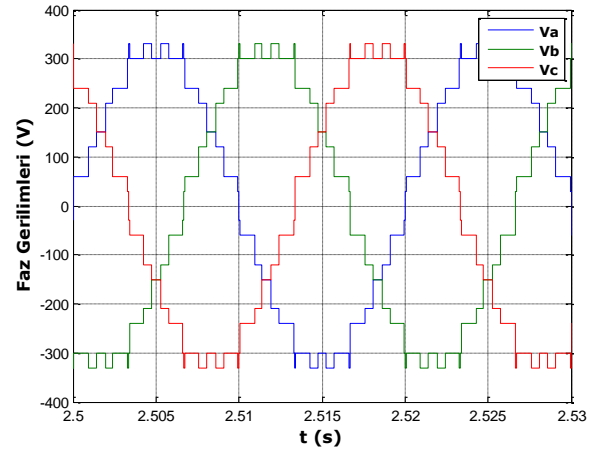
16 ve 32 seviye durumu için faz gerilimi ve faz akımlarının THB değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlara Tablo 3'te yer verilmiştir. Seviye sayısı arttıkça gerilim ve akım harmoniklerinin oldukça azaldığı görülmektedir. Sonuçlar, önerilen eviricinin gerilim harmoniği bakımından geleneksel iki seviyeli DGM eviricilere göre daha iyi olduğunu göstermektedir. Seviye sayısı arttıkça THB değeri düşmektedir. Önerilen evirici birim anahtar sayısı bakımından en yüksek seviye sayısını vermektedir. Dolayısıyla geleneksel çok seviyeli eviricilere göre birim anahtarda daha yüksek seviye elde edildiğinden dolayı en düşük THB değerini vermektedir.

**Tablo 3.** Farklı seviye sayılarında faz gerilimi ve akımındaki THB değerleri (THD values at phase voltage and current for different level number)

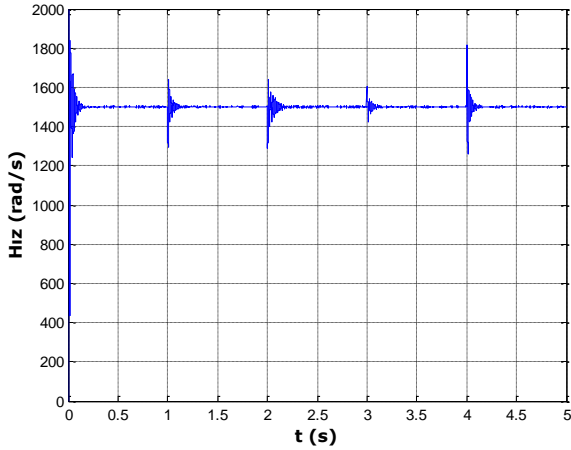
Seviye Sayısı (n)	16	32
Faz Gerilimi THB Değeri (%)	8.30	4.10
Hat Akımı THB Değeri (%)	2.50	1.10



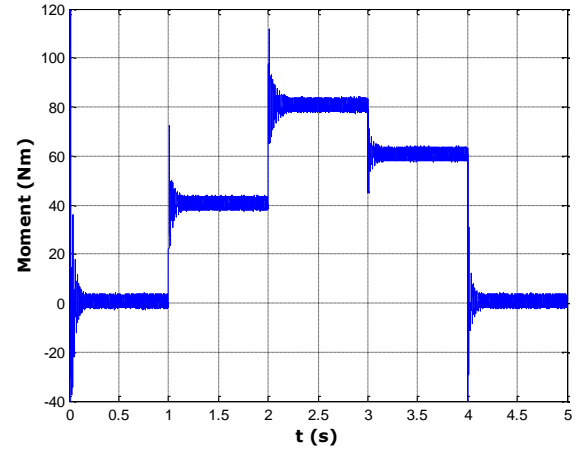
(a)



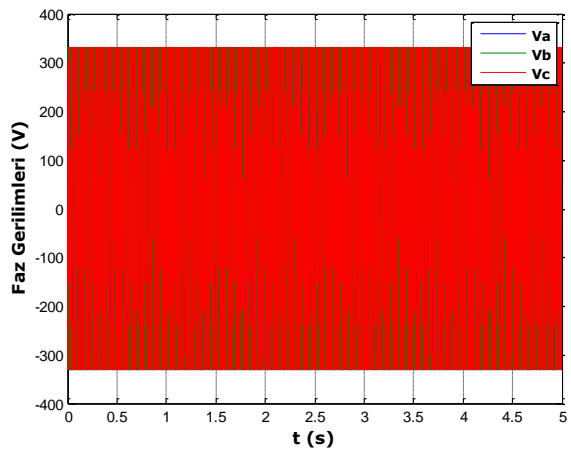
(b)



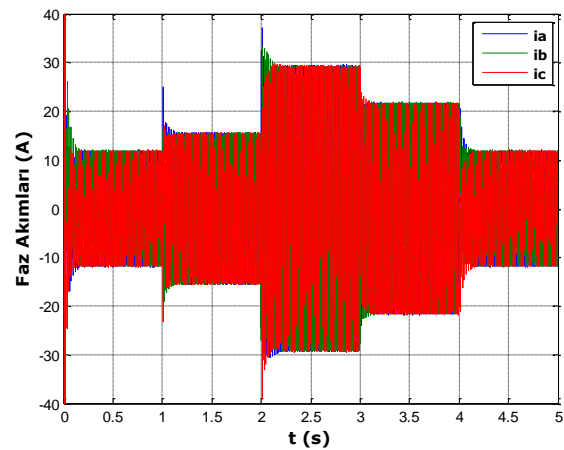
(c)



(d)

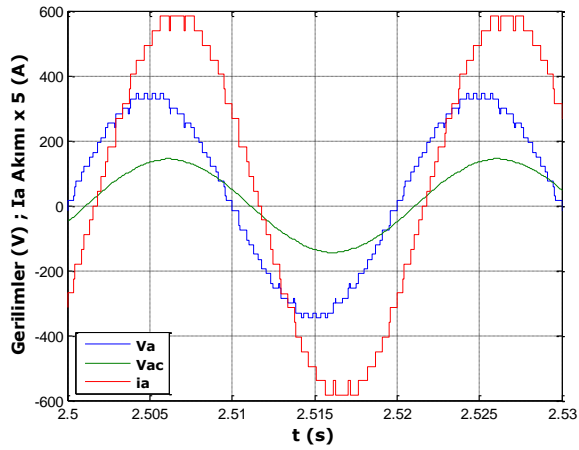


(e)

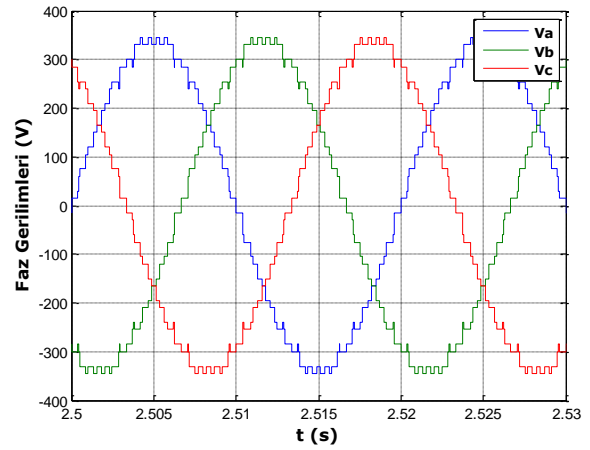


(f)

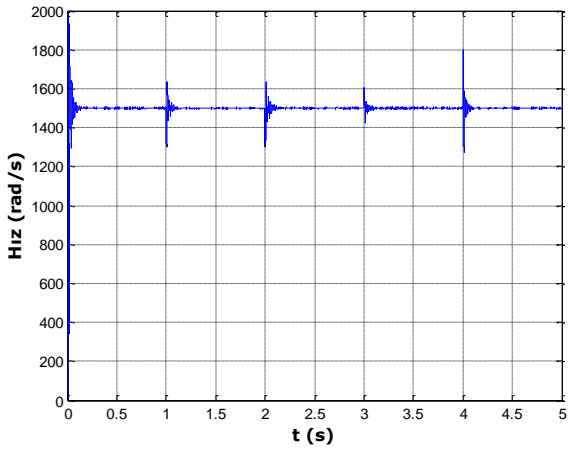
**Şekil 3.** 16 seviyeli evirici ile beslenen SMSM'nin değişken yük durumundaki benzetim sonuçları (a) Faz gerilimi, hat gerilimi ve faz akımı, (b) 3 faz gerilimleri, (c) Hız değişimi, (d) Moment değişimi, (e) 0 - 5 saniye arası faz gerilimleri, (f) 0 - 5 saniye arası faz akımları, (Simulation results of PMSM fed by a 16 level inverter at variable load. (a) Phase voltage, line voltage and phase current, (b) 3 phase voltages, (c) Speed variation, (d) Torque variation, (e) Phase voltages from 0 to 5 seconds, (f) Phase currents from 0 to 5 seconds)



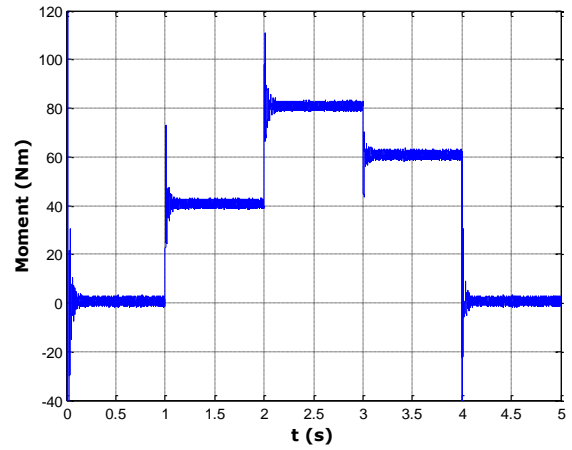
(a)



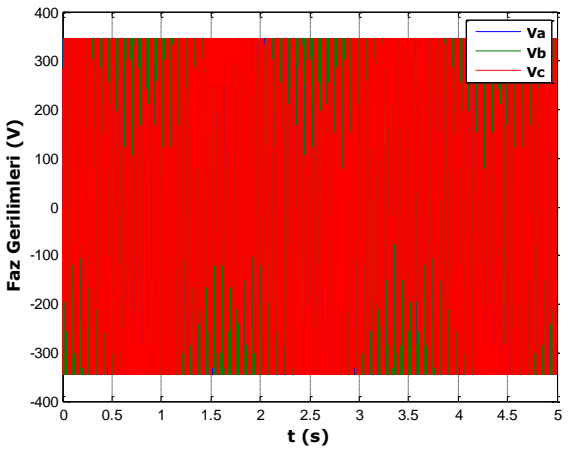
(b)



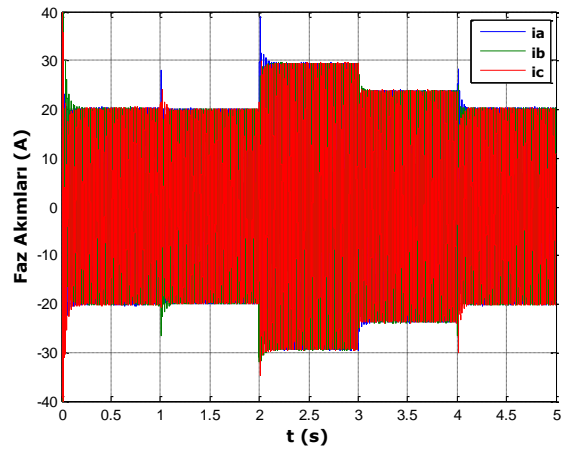
(c)



(d)

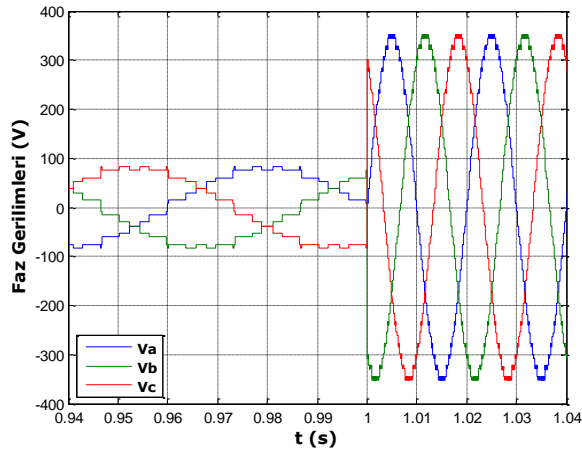


(e)

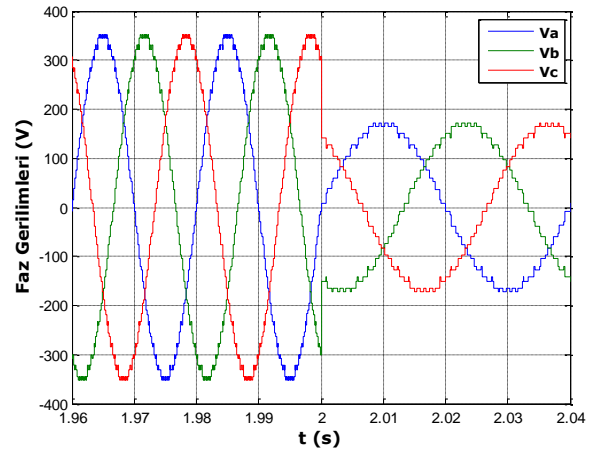


(f)

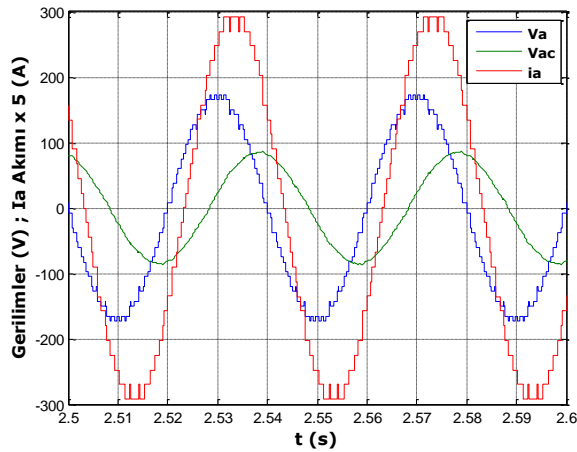
**Şekil 4.** 32 seviyeli evirici ile beslenen SMSM'nin değişken yük durumundaki benzetim sonuçları (a) Faz gerilimi, hat gerilimi ve faz akımı, (b) 3 faz gerilimleri, (c) Hız değişimi, (d) Moment değişimi, (e) 0 – 5 saniye arası faz gerilimleri, (f) 0 – 5 saniye arası faz akımları (Simulation results of PMSM fed by a 32 level inverter at variable load. (a) Phase voltage, line voltage and phase current, (b) 3 phase voltages, (c) Speed variation, (d) Torque variation, (e) Phase voltages from 0 to 5 seconds, (f) Phase currents from 0 to 5 seconds)



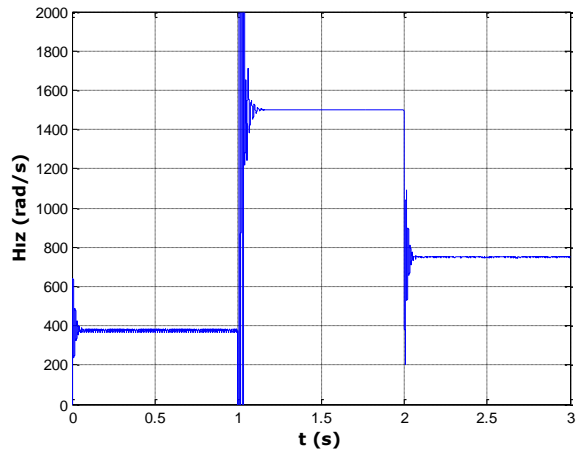
(a)



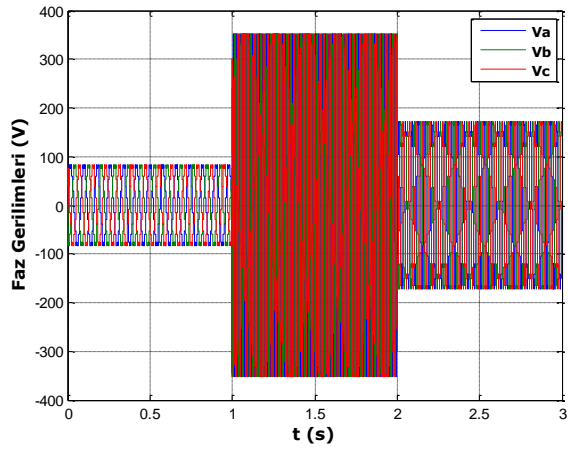
(b)



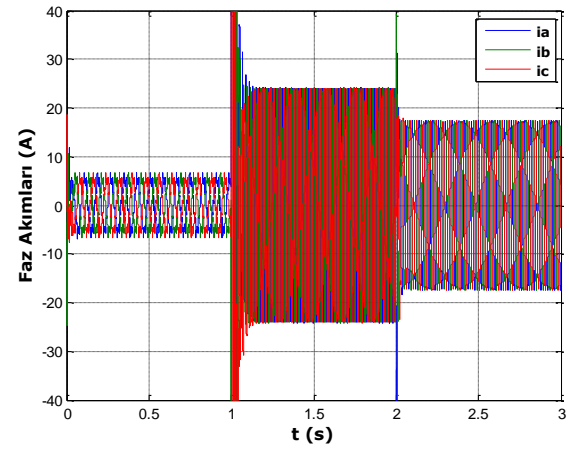
(c)



(d)



(e)



(f)

**Şekil 5.** modüllü evirici ile beslenen SMSM'nin 10Nm yük durumundaki benzetim sonuçları (a) 1. saniyedeki hız değişimindeki faz gerilimleri, (b) 2. saniyedeki hız değişimindeki faz gerilimleri, (c) Faz, hat gerilimleri ve faz akımı, (d) Hız değişimi, (e) 0 – 3 saniye arası faz gerilimleri, (f) 0 – 3 saniye arası faz akımları (Simulation results of PMSM fed by the inverter having 5 level modules at 10Nm load. (a) Phase voltages at speed change in 1st second, (b) Phase voltages at speed change in 2nd second, (c) Phase, line voltages and phase current, (d) Speed variation, (e) Phase voltages from 0 to 3 seconds, (f) Phase currents from 0 to 3 seconds)

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, SMSM sürücü devreleri için yeni çok seviyeli evirici yapısı önerilmiştir. Önerilen evirici yapısının birçok üstünlüğü bulunmaktadır. Çıkış gerilimi basamaklı olduğu için anahtarlar üzerindeki (dv/dt) gerilim

değişimi düşüktür. Çıkış gerilimindeki THB değerleri düşüktür. Bu da bu eviricinin özellikle yüksek güçlü ve gerilimli uygulamalar için geleneksel DGM eviricilere göre çok daha uygun olduğunu göstermektedir. Çıkışta daha küçük boyutta süzgeç devrelerine gereksinim duyarlar. Gerilimin sinüsoidal hale gelmesi akımı da sinüsoidal şekle getirmektedir. 32 ve üzerindeki seviyelerde çıkış geriliminin THB değeri % 5'in altındadır. Bu da önerilen eviricinin çıkış geriliminin sinüsoidal olduğunu gösterir. Dolayısıyla eviricinin SMSM gibi giriş gerilimi ve akımının sinüsoidal olduğu motor sürücüler için oldukça uygun olduğu söylenebilir. Eviricinin uygunluğu benzetim çalışmaları ile gösterilmiştir. SMSM'nin değişken yük ve değişken hızlı uygulamaları için önerilen evirici motor sürücüsü olarak kullanılmaya elverişlidir.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar (References)

- Chen, X., Gao, C., Liu, X., Dong, N., 2017. Research on The Multilevel-Switching-Linear Hybrid Scheme for PMSM Drives. IEEE 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS).
- Chi, S., Sun, J., 2008. A Novel Sliding Mode Observer with Multilevel Discontinuous Control for Position Sensorless PMSM Drives. IEEE Twenty-Third Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 127-131.
- Haris, M., Pathak, M.K., Agarwal, P., 2014. Comparison of SPWM Multilevel Inverter Fed PMSM Drive with Two Level Inverter Fed Drive. IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014).
- Jacob, J., Chitra, A., 2017. Field Oriented Control of Space Vector Modulated Multilevel Inverter Fed PMSM Drive. Energy Procedia, 117, 966-973.
- Kandemir Beser, E., Beser, E., 2018. Simulation of Multi-Level Inverter Fed Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM), International Conference on Engineering Tencnologies.
- Naumanen, V., Luukko, J., Itkonen, T., Pyrhönen, O., Pyrhönen, J., 2009. Modulation Technique for Series-Connected H-Bridge Multilevel Converters with Equal Load Sharing. IET Power Electronics, 2, (3), 275-286.
- Purohit, P., Dubey, M., 2015. Modeling, Analysis and Design of SPWM Current Controlled Multilevel Inverter Fed PMSM Drive. IEEE International Conference on Computer, Communication and Control (IC4).
- Rahman, M.F., Niknejad, P., Barzegaran, M.R., 2018. Comparing the Performance of Si IGBT and SiC MOSFET Switches in Modular Multilevel Converters for Medium Voltage PMSM Speed Control. IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC).
- Thielemans, S., De Belie, F., Melkebeek, J., 2009. A Sensorless PMSM Drive Using Test Signals Generated by a Multilevel Converter. IEEE International Conference on Electrical Machines and Systems.
- Xia, T., Huang, Y., Peng, F., Yao, Y., 2018. Discrete-Time Current Control of Modular Multilevel Converter for Medium Voltage High Power High-Speed PMSM. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 1748-1754.
- Vargas, C., Feuersänger, S., Pacas, M., 2017. Finite Control Set Model Predictive Control of a PMSM Fed by a Multilevel Inverter", PCIM Europe 2017.



## GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETON AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLEN HARÇLARDA YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI<sup>1</sup>, Behçet DÜNDAR<sup>2</sup>, Tayfun UYGUNOĞLU<sup>3\*</sup>

<sup>1,2</sup> Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye

<sup>3</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
Harç, Yüksek Sıcaklık, Beton Atığı, Geri Dönüştürülmüş Agregası, Sürdürülebilirlik.	Bu çalışmada, Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının (GDA) harç numunelerinde kullanımı ve yüksek sıcaklık altında harçlara etkisi araştırılmıştır. Harç numuneleri 40x40x160 mm boyutlarında üretilmiştir. İnce agrega haline getirilen GDA, harç üretiminde kullanılan kırma kum ile %25, %50 %75 ve %100 oranlarında yer değiştirme yapılmıştır. Harç numuneler 28 gün standart kür sonunda 200, 400, 600 ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Uygulanan sıcaklık sonrası ultrases geçiş hızı, ağırlık kayıpları, eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. GDA'nın artmasıyla birlikte harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinde azalmalar meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte de ultrases geçiş hızı, basınç ve eğilme dayanımlarında azalma görülmüştür.

## INVESTIGATION OF THE HIGH TEMPERATURE EFFECT ON MORTARS PRODUCED BY USING RECYCLED CONCRETE AGGREGATE

Keywords	Abstract
Mortar, High Temperature, Concrete Waste, Recycled Aggregate, Sustainability.	In this study, the use of Recycled Concrete Aggregate (RCA) in mortar samples and their effects on mortars under high temperature were investigated. Mortar samples were produced in the dimensions of 40x40x160 mm. GDA, which has been converted into fine aggregate, has been replaced with 25%, 50% 75% and 100% of the sand used in mortar production. Mortar samples were exposed to 200, 400, 600 and 800 °C after 28 days of standard curing. After the applied temperature, ultrasonic pulse velocity, weight losses, flexural and compressive strengths were determined. With the increase of RCA, there was a decrease in the physical and mechanical properties of the mortars. Along with the increase in temperature, ultrasonic pulse velocity, compressive and flexural strengths were also decreased.

### Alıntı / Cite

Çınar Resuloğulları, E., Dündar, B., Uygunoğlu, T., (2021). Geri Dönüştürülmüş Beton Agregası Kullanılarak Üretilen Harçlarda Yüksek Sıcaklık Etkisinin Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 108-115.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Çınar Resuloğulları, 0000-0002-9435-2968  
B. Dündar, 0000-0003-0724-9469  
T. Uygunoğlu, 0000-0003-4382-8257

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	29.03.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	03.01.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	24.01.2021
Yayın Tarihi / Published Date	30.03.2021

## 1. Giriş (Introduction)

Doğal agrega yerine kullanılan yan ürünlerin betona katılması, atık üretiminin artması nedeniyle farklı endüstriyel süreçlerdeki etkileri en aza indirmek için geçerli bir stratejidir (Meng vd., 2018). Agregaların çeşitli geri dönüştürülmüş malzemelerle değiştirilmesi, inşaat sektöründe önemli ilerlemelere yol açarak yeni doğal agrega üretim ihtiyacını azaltmıştır. Doğal agregaya alternatif olarak kullanılan malzemeler arasında geri dönüştürülmüş beton, geri dönüştürülmüş cam, hurda lastikler, kağıt ve diğer endüstrilerin plastikleri ve yan ürünleri bulunmaktadır (Topçu ve Canbaz, 2004; Han vd., 2018). Moloz olarak adlandırılan inşaat atıkları, yeniden modelleme ve onarım benzeri sebeplerden dolayı planlı yıkılması ile meydana gelebileceği gibi deprem benzeri doğal afetler sonucunda yıkılması da meydana gelebilir (Valadares vd., 2012). Betondan yapılan yapılar

\* İlgili yazar / Corresponding author: uygunoğlu@aku.edu.tr, +90-272-228-1423



yıkıldığında veya yenilendiğinde, betonun geri dönüşümü molozun bertaraf edilmesi de giderek yaygınlaşan bir yöntemdir (Gaikwad vd., 2018; Yu vd., 2019). Daha önceleri atık depolama alanlarına taşınan beton atıkları depolama alanlarındaki yetersizlikler ve verimli sahaların tahribatları gibi nedenlerle çevre bilincinin artmasıyla bu atıkların geri dönüşüm işlemi ile yeniden kullanılması daha cazip bir seçenek haline gelmiştir (Teixeira vd., 2019). Doğal agregalar yerine kullanılmaya başlanan geri dönüştürülmüş beton agregaları üretmek için atık betonun mekanik olarak kırılıp agrega boyutlarına getirilmesi pratik bir endüstriyel çözümdür (Fathifazl vd., 2011; Medina vd., 2014). Birçok ülkede yapısal taşıyıcı elemanlarda kullanımı için geri dönüştürülmüş beton agregasının tasarımını, üretimini ve yapımını düzenlemek için birtakım öneriler verilmiştir. Bu alanda, atık betonların geri dönüşümünü teşvik eden ve katı atık emisyonlarını azaltmayı amaçlayan birçok bilimsel araştırmalar yapılmıştır (Wang ve Xiao, 2018; ACI 555-R01, 2001; Jiang vd., 2020; Mostofinejad vd., 2020; Wang vd., 2018). Çevre dostu bir malzeme olarak geri dönüştürülmüş beton agregalarının değerlendirilmesi halen araştırılmaktadır.

Çimento esaslı harçlar inorganik malzemeler olmasına rağmen, çatlak gelişimi ve kimyasal bileşimi nedeniyle morfolojik yapıları fiziksel etkiler altında, örneğin bir yangının neden olduğu çok yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra, önemli ölçüde değişir (Arioz, 2007). Çimento esaslı harçlar yüksek sıcaklıklara maruz bırakıldığında, gözenek basıncı, termal uyumsuzluklar ve hidrasyon ürünlerinin ayrışması olmak üzere üç ana mekanizma meydana gelmektedir (Xuan ve Shui, 2010). İlk iki mekanizma agregalar ve çimento hamuru arasındaki uyumsuzluk ile ilgilidir (Chan vd., 2000). Bu nedenle, betonda agrega türünün değiştirilmesi bu iki mekanizma üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Normal Portland çimentosu ile yapılmış bir kompozitte, yaklaşık 150 °C üzerindeki sıcaklıklarda kılcal boşluk ve daha sonra jel boşluklarda bulunan su buharlaşarak malzeme bünyesinden uzaklaşır ve büzülme oluşur. Daha sonra kompozit iç yapısında görülmeye başlayan çatlaklar nedeniyle çekme dayanımı azalır. Sıcaklık 300 °C'ye ulaştığında kompozitteki alüminli ve demir oksitli bileşenlerin dehidratasyonu sonucunda basınç dayanımı da düşer. Sıcaklık 400 °C'ye arttırıldığında portlandit (Ca(OH)<sub>2</sub>) sıcaklığın etkisiyle suyunu kaybederek kirece (CaO) dönüşür. Bu sırada hacminde yaklaşık %30 civarında büzülme görülür. 500 °C civarında tobermorit jelleri de deforme olmaya başlar, 600 - 800 °C aşıldığında tüm hidrasyon ürünleri hasara uğramaktadır. Bu sıcaklıklarda beton elemanlar dayanımının yaklaşık %70'ini de kaybetmektedirler (Xing vd., 2011; Biolzi vd., 2008). Betonda kullanılan bileşen malzemeler de betonun yüksek sıcaklık etkisi altındaki dayanımını büyük ölçüde etkilemektedir. Literatürdeki çalışmalar genelde normal ve yüksek dayanımlı betonlarda geri dönüştürülmüş beton agregasının (GDA) kullanımı sonucunda yüksek sıcaklık altındaki etkisi incelenmiştir. GDA içeren harçların yüksek sıcaklık altındaki özellikleri detaylı incelenmedi gözlenmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmanın amacı, geri dönüştürülmüş beton agregasının (GDA) harç numunelerinde kullanımı sonucunda yüksek sıcaklık altında harçların bazı karakteristik özelliklerine etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda 0-4 mm tane büyüklüğüne getirilen GDA harç üretiminde kullanılan kırma kum ile %25, %50 %75 ve %100 oranlarında yer değiştirme yapılarak kullanılmıştır. Harç numuneleri 28 gün kür sonunda 200, 400, 600 ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Uygulanan sıcaklık sonrası harçların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

### 2.1. Malzeme (Material)

Deney numunelerinin üretilmesinde kullanılan harcın bileşenleri arasında yer alan çimento, TS EN 197-1 (2012)'e uygun olarak üretilen CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosudur. Kullanılan çimentonun kimyasal analizi, üretici fabrikadan alınmış olup Tablo 1'de verilmiştir. Deneysel çalışmada, TS EN 1008 (2003)'e uygun olan Osmaniye ili, şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen harç numunelerinde agrega olarak kırma kum ve geri dönüştürülmüş beton agregası (GDA) kullanılmıştır. Osmaniye Belediyesinden temin edilen değişik tane boyutlarına sahip beton atıkları, kırıcılar yardımıyla kırma kum gibi 0-4 mm tane boyuta sahip agrega haline getirilmiştir. Geri dönüştürülmüş beton agregasının görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Elde edilen geri dönüştürülmüş beton agregasının incelik modülü 3,82 özgül ağırlığı 2,42 gr/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir.

**Tablo 1.** CEM I 42,5 R Portland çimentosunun kimyasal ve fiziksel analizi (Chemical and physical analysis of CEM I 42,5 R Portland cement)

Kimyasal Analiz	CEM I 42,5 (%)
CaO	62,72
SiO <sub>2</sub>	20,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,76
MgO	1,84
SO <sub>3</sub>	2,65
K <sub>2</sub> O	0,73
Na <sub>2</sub> O	0,26
Kızdırma Kaydı	2,54



Şekil 1. Beton atığı ve geri dönüştürülmüş beton agregası (Concrete waste and recycled concrete aggregate)

## 2.2. Yöntem (Method)

Deneysel çalışmada üretilen tüm numunelerde standart karışım kullanılmış olup, bağlayıcı ve su içeriği sabit tutulmuştur. Referans numune agregası tamamen kırma kumdan, çimento ve su karışımından meydana gelmektedir. Diğer numunelerde GDA ağırlıkça kırma kum ile %25, %50, %75 ve %100 oranlarında yer değiştirme yapılmıştır. Harçların üretimlerinde kullanılan malzeme miktarları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Harç üretiminde kullanılan malzeme miktarları (kg/m<sup>3</sup>)  
(Amounts of materials used in mortar production (kg/m<sup>3</sup>))

GDA oranı	Kırma Kum	GDA	Çimento	Su
%0	1350	0	450	225
%25	1012,5	337,5	450	225
%50	675	675	450	225
%75	337,5	1012,5	450	225
%100	0	1350	450	225

Harç karışımı yapıldıktan sonra 40x40x160 mm boyutlarındaki kalıplara çimento sarsma masasında iki aşamada dökülmüş ve yerleştirilmiştir. Bir gün sonra kalıptan alınan numuneler su içerisinde standart kür işlemine tabi tutulmuşlardır. GDA'nın harç numunelerde yüksek sıcaklığa maruz kalmaları durumunda etkisinin ortaya konması amacıyla harçlara belirli derecelerde yüksek sıcaklıklar uygulanmıştır. Yüksek sıcaklık uygulaması, harç numunelere 1800 °C kapasiteli laboratuvar tipi kül fırınında, 10 °C/dk sıcaklık artış hızı olacak şekilde 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Bütün sıcaklık değerlerinde 60 dk. fırın içerisinde bekletilmişlerdir. Yüksek sıcaklık uygulaması sona erdikten sonra, numuneleri aşırı sıcaklık etkisine maruz bırakmamak için doğrudan fırından çıkarılmamıştır. Fırın sıcaklığı, laboratuvar ortamının sıcaklığına gelinceye kadar numuneler fırın içerisinde soğumaya bırakılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan ve bırakılmayan harç numunelerine, TS EN 196-1 (2016) standardına uygun üç noktalı eğilme deneyine tabi tutularak eğilme dayanımı ve TS EN 12390-4 (2002) standardına uygun basınç dayanımı tayin edilmiştir. Numunelerinin ultrases geçiş hızı ölçümü TS EN 12504-4 (2012)'e göre yapılmıştır. Problar arası mesafe ve kayıt aldığımız ses geçiş hızı yardımı ile Eşitsizlik (1)'de gerekli hesaplamalar yapılarak ultrases geçiş hızları hesaplanmıştır.

$$V(m/s) = X(m) / t(s) \quad (1)$$

Eşitsizlik (1)'te belirtilen kavramlar; V(m/s): Ultrases geçiş hızı, X(m): Ses dalgasının aldığı yol, t(s): Ses dalgasının geçiş süresi

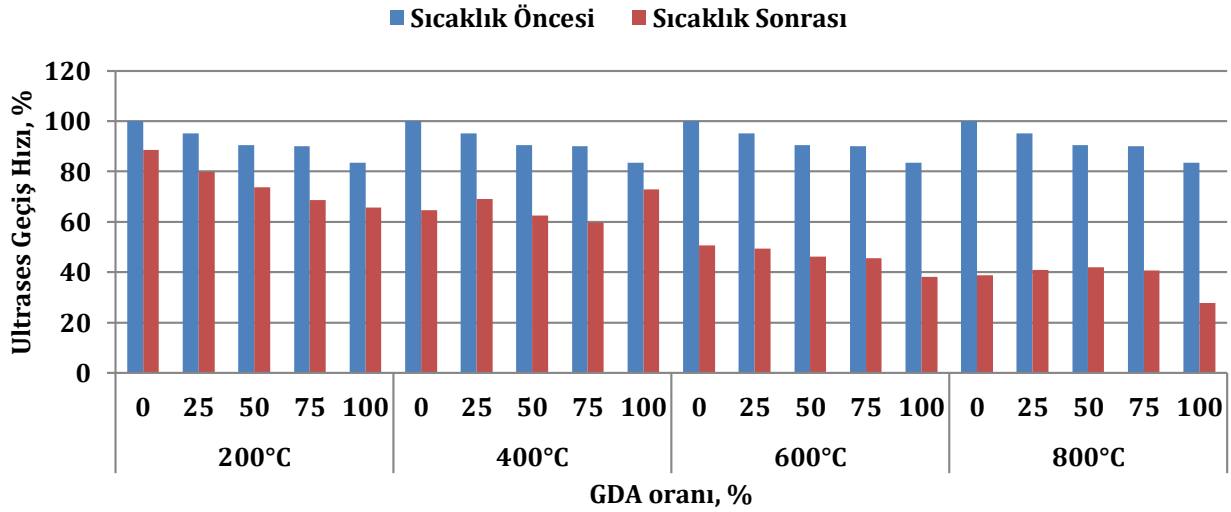
## 3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Harç numunelerinin ultrases geçiş hızları Tablo 3'te bağıl olarak yüzdeleri Şekil 2'de verilmiştir. Harçlarda kullanılan GDA oranının artmasıyla birlikte ultrases geçiş hızları azalmaktadır. Ortam sıcaklığındaki referans numunede ultrases geçiş hızı 3663 m/s iken GDA oranının %100'e çıkması durumunda 2717 m/s değerine düştüğü görülmüştür. GDA oranının artışı ile birlikte Ultrases geçiş hızında azalma meydana gelmiştir. Bunun başlıca nedeni, sesin GDA artışına bağlı olarak daha uzun sürede geçmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, harç içerisinde GDA kullanım oranına bağlı olarak boşluk oranının arttığı anlaşılmaktadır. Önceki çalışmalar, GDA yüzeyine yapışan harcın mekanik yüklemeye altında geri dönüştürülmüş agregaların düşük

direncinden sorumlu olduğunu göstermiştir. Bu düşük özelliklerin arkasındaki temel nedenler, beton gözeneklilik artışı ve agregalar ile bağlayıcı matris arasındaki zayıf ara yüzey bağlanmasıdır (Kwan vd., 2012; Nagataki vd., 2004). Ultrases geçiş hızı değerleri yüksek sıcaklık etkisinin artışıyla birlikte de önemli derecede azalmıştır.

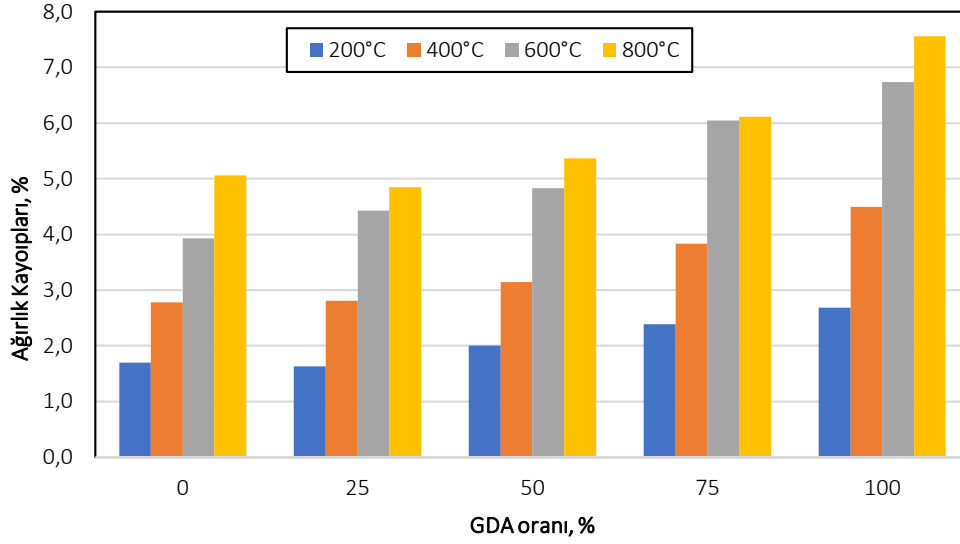
**Tablo 3.** Harç numunelerinin Ultrases geçiş hızları (m/s)  
(Table 3. Ultrasound transition rates of mortar samples (m/s))

GDA Oranı, %	Ultrases Geçiş Hızı, m/s				
	20°C	200°C	400°C	600°C	800°C
0	3906	3462	2524	1982	1518
25	3713	3124	2702	1926	1596
50	3538	2880	2442	1807	1638
75	3517	2680	2331	1778	1594
100	3259	2563	2850	1490	1082



**Şekil 2.** Harç numunelerinin bağıl ultrases geçiş hızı yüzdeleri (Relative ultrasound transition rate percentages of mortar samples)

Yüksek sıcaklık uygulandıktan sonra numunelerin ağırlık kayıpları Şekil 3'de verilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte ağırlık kayıplarının arttığı gözlemlenmiştir. Referans numunede 200 °C'de %1.69 ağırlık kaybı meydana gelir iken sıcaklığın 800 °C'ye çıkmasıyla birlikte ağırlık kaybının %5.06'ya çıktığı gözlemlenmiştir. GDA'nın %25 oranında kullanılması ile ağırlık kayıplarında azalma gözlemlenmiştir, GDA oranının artmasıyla birlikte ağırlık kayıplarının da arttığı gözlemlenmiştir. Sıcaklığın 200 °C olması durumunda GDA kullanılmayan harç numunesinde ağırlık kaybı %1.69 iken %25 oranında GDA kullanılan harç numunesinde %1.60 değerine düştüğü görülürken, GDA oranının %50, %75 ve %100 kullanılmasıyla sırasıyla %2.0, %2.39 ve %2.68 oranına yükseldiği görülmüştür. Sıcaklık 800 °C'ye çıktığında ise GDA kullanılmayan harç numunede ağırlık kaybı %5.06 iken %25 oranında GDA kullanılan harç numunesinde % 4.84 değerine düştüğü görülürken, GDA oranının %50, %75 ve %100 kullanılmasıyla sırasıyla %5.36, %6.11 ve %7.56 oranına yükseldiği görülmüştür.

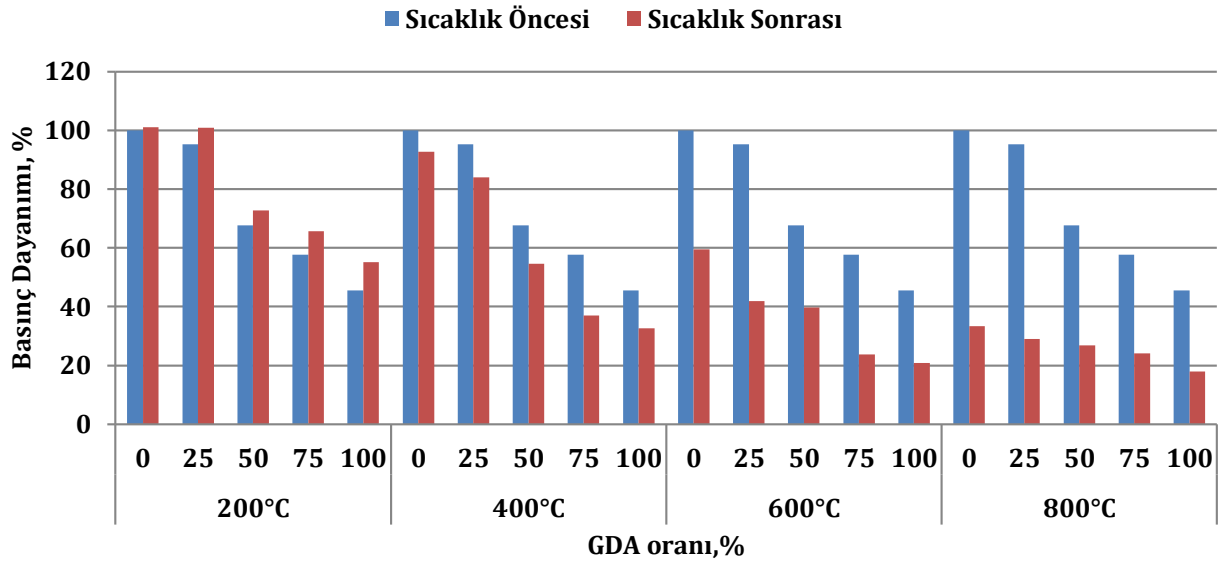


Şekil 3. Harç numunelerinin sıcaklık sonrası ağırlık kayıpları (Weight loss of mortar samples after temperature)

GDA içeren harç numunelerin sıcaklık öncesi ve sonrası basınç dayanımları Tablo 4'te bağıl olarak yüzdeleri Şekil 4'te verilmiştir. Sıcaklık öncesi değerler incelendiğinde, GDA kullanılmayan harç numunelerinde basınç dayanımı 44.5 MPa iken GDA'nın %25, %50, %75 ve %100 kullanılması durumunda basınç dayanımları sırasıyla 42.30 MPa, 30.11 MPa, 25.63 MPa ve 20.23 MPa olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla, GDA kullanımıyla harçların basınç dayanımları sırasıyla %4.5, %32, %42 ve %54.5 oranında azalma olmuştur. Bunun nedeni, GDA'nın kırılarak elde edilmesi sırasında GDA yüzeylerindeki matris fazın zayıflaması ve yeni hamur içerisinde bu bölgelerin nispeten daha kolay kırılması nedeniyle aderans dayanımını ve sonuçta harcın basınç dayanımını azaltmasıdır (Uygunoğlu vd., 2014). Harçlara yüksek sıcaklık uygulanması sonucunda da basınç dayanımlarında önemli derecede azalma görülmüştür. Bununla birlikte, sıcaklığın 200 °C'ye ulaşmasıyla birlikte harçların basınç dayanımlarında artış görülmüştür. Bu durum 200 °C civarında çimento hamurunun serbest suyun buharlaşmasından kaynaklı büzülmesi ve buna bağlı olarak da dayanımın bir miktar artmasını sağlamasından dolayı oluşmaktadır (Uysal, 2004). Sıcaklığın daha fazla artmasıyla jel suyunun kaybı ile oluşacak büzülme betonun dayanımını arttırdığı gibi beton içinde beliren buhar basıncı, beton örtüsünün çatlamasına ve parçalanarak kopmasına yol açabilir. GDA kullanımı ile boşluk oranı artışı nedeniyle 200 °C'de meydana gelen basınç dayanımlarında referansa oranla arttırdığı görülmüştür. Daha sonra sıcaklığın daha da artırılmasıyla basınç değerleri azalma eğilimine geçmiştir. Ortam sıcaklığındaki numunelerle karşılaştırıldığında; referans numunesinde 400 °C'de %7.33, 600 °C'de %40.61, ve 800 °C'de %66.77 oranında azalma meydana gelmiştir. %25 GDA içeren numunelerde 400 °C'de %11.75, 600 °C'de %56.04 ve 800 °C'de %69.59 oranında azalma meydana gelmiştir. %50 GDA içeren numunelerde 400 °C'de %17.17, 600 °C'de %41.43 ve 800 °C'de %62.47 oranında azalma meydana gelmiştir. %75 GDA içeren numunelerde 400 °C'de %36.83, 600 °C'de %42.09 ve 800 °C'de %58.51 oranında azalma meydana gelmiştir. %100 GDA içeren numunelerde 400 °C'de %47.10, 600 °C'de %53.63 ve 800 °C'de %40.52 oranında azalma meydana gelmiştir. Çimento hamurunda C-S-H yanında bulunan diğer bileşen de Ca(OH)<sub>2</sub> (kalsiyum hidroksit)'dir. C-S-H'in kimyasal suyu ve jel suyu 300 °C den itibaren kaybolmaya başlar ve 530 °C civarında Ca(OH)<sub>2</sub> suyunu kaybederek CaO'de dönüşür (Khoury, 1996). Bazı sıcaklıklarda ortaya çıkan hasarlar betonların dayanımlarının büyük oranda düşmesine sebep olurlar (Poon vd, 2001).

Tablo 4. Harç numunelerinin yüksek sıcaklıklarda basınç dayanımları (MPa)  
(Compressive strength of mortar samples at high temperatures (MPa))

GDA Oranı, %	Basınç Dayanımı, Mpa				
	20°C	200°C	400°C	600°C	800°C
0	44,5	45	41,255	26,5	14,85
25	42,36	44,89	37,38	18,62	12,88
50	30,11	32,38	24,29	17,635	11,9
75	25,63	29,23	16,5	10,6	10,71
100	20,23	24,5	14,54	9,28	7,98

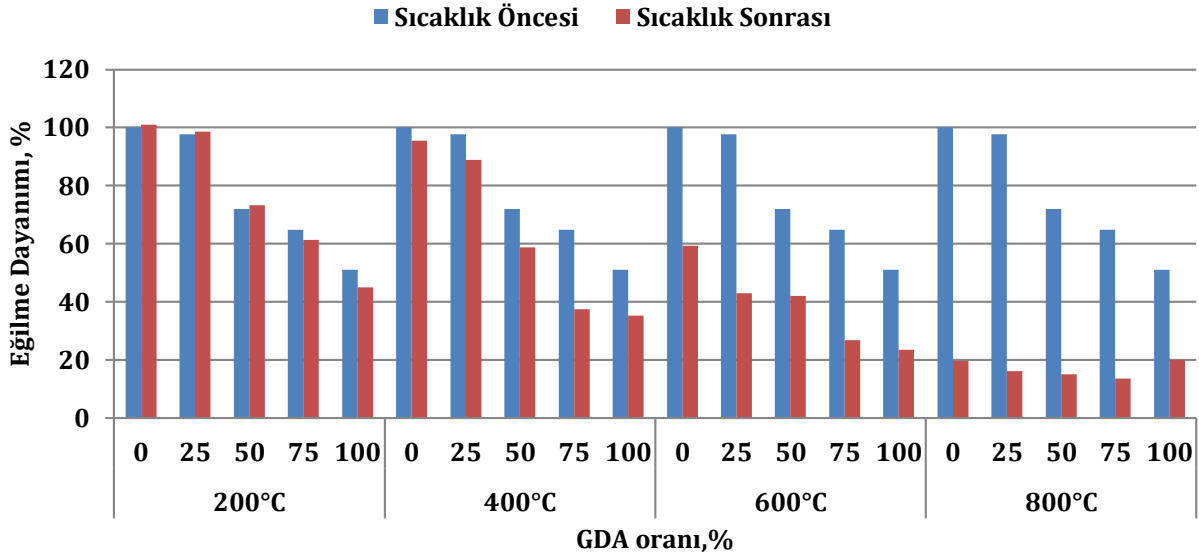


Şekil 4. Harç numunelerinin sıcaklık öncesi ve sonrası bağıl basınç dayanımı yüzdeleri (Relative compressive strength percentages of mortar samples before and after temperature)

GDA içeren harç numunelerinin sıcaklık öncesi ve sonrası eğilme dayanımları Tablo 5'te bağıl olarak yüzdeleri Şekil 5'te verilmiştir. GDA kullanılan harç numunelerinde eğilme dayanımlarında da basınç dayanımlarına benzer davranışlar gözlenmiştir. Sıcaklık öncesi eğilme dayanımı 7.43 MPa iken GDA'nın %25, %50, %75 ve %100 kullanılması durumunda basınç dayanımları sırasıyla 7.26 MPa, 5.35 MPa, 4.82 MPa ve 3.79 MPa olarak belirlenmiştir. Eğilme dayanımları da ortam sıcaklığındaki serilerin değerleriyle karşılaştırıldığında; referans numunesinde 200 °C'de eğilme dayanımında artış meydana gelirken, 400 °C'de %4.64, 600 °C'de %40.64, ve 800 °C'de %80.34 oranında azalma meydana gelmiştir. %25 GDA içeren numunelerde 200 °C'de eğilme dayanımında artış meydana gelirken, 400 °C'de %8.95, 600 °C'de %56.04 ve 800 °C'de %83.47 oranında azalma meydana gelmiştir. %50 GDA içeren numunelerde 200 °C'de eğilme dayanımında artış meydana gelirken, 400 °C'de %18.50, 600 °C'de %35.06 ve 800 °C'de %79.06 oranında azalma meydana gelmiştir. %75 GDA içeren numunelerde 200 °C'de %5.39, 400 °C'de %42.11, 600 °C'de %54.71 ve 800 °C'de %79.04 oranında azalma meydana gelmiştir. %100 GDA içeren numunelerde 200 °C'de %11.60, 400 °C'de %30.87, 600 °C'de %53.82 ve 800 °C'de %87.07 oranında azalma meydana gelmiştir.

Tablo 5. Harç numunelerinin yüksek sıcaklıklarda eğilme dayanımları (MPa)  
(Flexural strength of mortar samples at high temperatures (MPa))

GDA Oranı, %	Eğilme Dayanımı, Mpa				
	20°C	200°C	400°C	600°C	800°C
0	7,43	7,5	7,1	4,41	1,46
25	7,26	7,33	6,61	3,19	1,2
50	5,35	5,45	4,36	3,13	1,12
75	4,82	4,56	2,79	1,99	1,01
100	3,79	3,35	2,62	1,75	1,49



Şekil 5. Harç numunelerinin sıcaklık öncesi ve sonrası bağıl basınç dayanımı yüzdeleri (Relative flexural strength percentages of mortar samples before and after temperature)

#### 4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışma boyunca yürütülen deney ve analizlerden elde edilen bulgular aşağıda sunulmuştur.

- ✓ GDA oranının artmasıyla birlikte ultrases geçiş hızları azalmaktadır. GDA oranı ile birlikte boşluk oranının artması sesin boşlukta daha uzun sürede geçtiğinden kaynaklı hızlarda azalma meydana gelmiştir. Kırma kum ile kıyaslandığında da GDA'nın daha boşluklu yapıda olduğu ve ses geçiş süresini arttırarak hızı düşürdüğü görülmüştür.
- ✓ Tüm harç numunelerinde sıcaklığın artması ile birlikte ağırlık kayıplarında artışlar gözlemlenmiştir.
- ✓ Yüksek sıcaklık uygulamalarında GDA'nın %25 oranında kullanılması ile ağırlık kayıplarında azalma gözlemlenirken, GDA oranının artmasıyla birlikte ağırlık kayıplarının da arttığı gözlemlenmiştir.
- ✓ GDA kullanılmayan harç numunelerinde eğilme ve basınç dayanımları GDA oranının artmasıyla birlikte azalma göstermektedir. Ancak %25 oranında kullanıldığında eğilme dayanımında %2.29 oranında, basınç dayanımında ise %4.5 oranında dayanım kaybı meydana gelmektedir.
- ✓ Harçlara yüksek sıcaklık uygulanmasıyla birlikte tüm serilerde sıcaklığın etkisiyle hem basınç hem de eğilme dayanımlarında azalmalar görülmüştür. GDA'nın %25 ve %50 oranlarında kullanılması ile 200 °C'ye kadar dayanımlarda artış gözlemlenmiştir. GDA oranının %25 ve %50 kullanılması durumunda tüm sıcaklık değerlerinde sıcaklık öncesi dayanım değerlerine göre önemli bir dayanım kaybı oluşturmadıkları belirlenmiştir.

Sonuç olarak, GDA'nın çimento esaslı harçlarda agrega olarak %25-50 arasında dayanımları ihmal edilebilir derecede azaltmadığı görülmüştür. Ancak GDA oranının %25'in üzerine çıkması durumunda fiziksel ve mekanik özelliklerde kayıp yaşanmaktadır. Yüksek sıcaklık etkisinde ise bu oranın %50'nin üzerine çıkması durumunda dayanıklılığın azaldığı görülmüştür. Harç üretiminde %25 oranında GDA kullanımı ile mekanik dayanımında düşük kayıplar yaşansa da sıcaklık etkisi altında göstermiş olduğu performans nedeni ile yüksek sıcaklık dayanımı arttırmak için kullanılabilirliği gözlemlenmiştir. Harçlarda GDA kullanımı için hem fiziksel ve mekanik özellikler hem de yüksek sıcaklık etkisi göz önünde bulundurularak %25 oranı önerilmektedir. Böylece inşaat yıkıntı atıklarının çevreye vereceği kirlilik ve zarar da kullanım oranına bağlı olarak azaltılmış olacaktır.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

#### Kaynaklar (References)

- American Concrete Institute (ACI) Committee, ACI 555-R01, 2001. Removal and Reuse of Hardened Concrete, ACI, Farmington Hills (MI).
- Arioz, O., 2007, Effects of elevated temperatures on properties of concrete, Fire Saf. J. 42, 516-522.

- Biolzi, L., Cattaneo, S., Rosati, G., 2008. Evaluating residual properties of thermally damaged concrete, *Cement Concr. Compos.* 30, 907–916.
- Chan, Y.N., Luo, X., Sun, W., 2000. Compressive strength and pore structure of high performance concrete after exposure to high temperature up to 800 °C, *Cement Concr. Res.* 30, 247–251.
- Fathifazl, G., Razaqpur, A.G., Isgor, O.B., Abbas, A., Fournier, B. and Foo, S., 2011. Creep and drying shrinkage characteristics of concrete produced with coarse recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Composites*, 33(10), pp.1026-1037.
- Gaikwad, M.N., Gunjawate Shubham, A., Hole Gannesh, Y., Kadam Mangesh, M., Ghorpade Pratik, A., 2018. Experimental study on plastic waste as a coarse aggregate for structural concrete, *Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun.* 6, 63–67.
- Han, D., Yang, Y., Ying, C., Sierens, Z., Fan, H., Li, J., 2018. Efficient recycling and reuse of waste concrete on a construction site, *Int. Concr. Abstr. Portal* 326, 38.1–38.10.
- Kwan, W.H., Ramli, M., Kam, K.J., Sulieman, M.Z., 2012. Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties, *Constr. Build. Mater.* 26 (1) 565–573.
- Khoury, G. A., 1996. Performance of Heated Concrete - Mechanical Properties, Contract NUC/56/3604A with Nuclear Installations Inspectorate, Imperial College, London, United Kingdom, August.
- Medina, C., Zhu, W., Howind, T., de Rojas, M.I.S. and Frías, M., 2014. Influence of mixed recycled aggregate on the physico-mechanical properties of recycled concrete. *Journal of Cleaner Production*, 68, pp.216-225.
- Meng, Y., Ling, T.Ch., Hung Mo, K., 2018. Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: an overview, *Resour. Conserv. Recycl.* 138, 298–312.
- Mostofinejad, D., Hosseini, S. M., Nosouhian, F., Ozbakkaloglu, T., Tehrani, B.N., 2020. Durability of concrete containing recycled concrete coarse and fine aggregates and milled waste glass in magnesium sulfate environment, *J. Build. Eng.* 29, 101-182.
- Nagataki, S., Gokce, A., Saeki, T., Hisada, M., 2004. Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates, *Cement Concr. Res.* 34(6), 965–971.
- Jiang, Y., Ling, T.C., Shi, M., 2020. Strength enhancement of artificial aggregate prepared with waste concrete powder and its impact on concrete properties, *J. Clean. Prod.* 257.
- Poon, C.S., Azhar, S., Anson, M. and Wong, Y.L., 2001. Comparison of the strength and durability performance of normal- and high-strength pozzolanic concretes at elevated temperatures, *Cement and Concrete Research*, 31, 1291-1300.
- Teixeira, J.E.S.L., Schumacher, A.G., Pires, P.M., Castelo Branco, V.T.F., Martins, H.B., 2019. Expansion Level of Steel Slag Aggregate Effects on Both Material Properties and Asphalt Mixture Performance, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board.* 2673, 506–515.
- Topçu, I.B., Canbaz, M., 2004. Properties of concrete containing waste glass, *Cement Concr. Res.* 34, 267–274.
- TS EN 197-1, (2012), “Cement- Stage 1: General cements – component TSE”, Ankara, Türkiye.
- TS EN 1008, (2003), “Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları TSE”, Ankara, Türkiye.
- TS EN 196-1, (2016), “Çimento deney metotları-Bölüm 1: Dayanım tayini TSE”, Ankara, Türkiye.
- TS EN 12390-4, (2019), “Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 4: Basınç dayanım Deney makinelerinin özellikleri TSE”, Ankara, Türkiye.
- TS EN 1170-6, (1999), “Ön yapımlı beton mamuller-Cam elyaf takviyeli çimento (ctc) deney metodu-Bölüm 6: Suya daldırma yoluyla su emme ve kuru yoğunluk tayini TSE”, Ankara, Türkiye.
- TS EN 12504-4, (2012), “Beton Deneyleri-Bölüm 4:Ultrases Geçiş Hızının Tayini, TSE,” Ankara, Türkiye.
- Valadares, F., Bravo, M., de Brito, J., 2012. Concrete with used tire rubber aggregates: mechanical performance, *ACI Mater. J.* 109-M26, 283–292.
- Uygunoglu, T., Topçu, İB, Çelik, A.G., 2014, Use of waste marble and recycled aggregates in self-compacting concrete for environmental sustainability, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 84, 691-700.
- Wang, C., Xiao, J., 2018. Evaluation of the stress-strain behaviour of confined recycled aggregate concrete under monotonic dynamic loadings, *Cem. Concr. Compos.* 87, 149–163.
- Wang, Y., Geng, Y., Chang, Y. Zhou, C., 2018. Time-dependent behaviour of recycled concrete filled steel tubes using RCA from different parent waste material, *Constr. Build. Mater.* 193, 230–243.
- Xing, Z., Beaucour, A.-L., Hebert, R., 2011. Noumowe, A., Ledesert, B., Influence of the nature of aggregates on the behaviour of concrete subjected to elevated temperature, *Cement Concr. Res.* 41, 392–402.
- Xuan, D., Shui, Z., 2010. Temperature dependence of thermal induced mesocracks around limestone aggregate in normal concrete, *Fire Mater.: Int. J.* 34, 137–146.
- Yu, H., Zhu, Z., Zhang, Z., Yu, J., Oeser, M., Wang, D., 2019. Recycling waste packaging tape into bituminous mixtures towards enhanced mechanical properties and environmental benefits, *J. Clean. Prod.* 229, 22–31.
- Uysal, A., 2004. Yüksek Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.



## UYARLAMALI BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ TABANLI İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA)'NIN ROTA TAKİBİ VE FAYDALI YÜK TAŞIMA PERFORMANSI

Egemen BELGE, Aytaç ALTAN, Rıfat HACIOĞLU\*

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,  
Zonguldak, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

İnsansız Hava Aracı,  
Yük Taşıma Sistemi,  
Rota Takibi,  
Bulanık PID,  
Faydalı Yük.

### Öz

Otonom olarak hareket eden İnsansız Hava Araçlarında (İHA) yük taşıma sistemi sivil ve askeri alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Coğrafi koşulların elverişsiz olduğu operasyon bölgelerinde belirlenen konumdan alınan faydalı yükün belirli bir rota takip edilerek hedeflenen konuma minimum hata ile bırakılması büyük önem arz etmektedir. Bu tür görevlerin başarıyla gerçekleştirilebilmesi için İHA'nın belirlenen rotayı minimum hata ile takip etmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, yük alma bırakma sistemi kullanılarak belirlenen bölgedeki farklı renkli iki özdeş faydalı yükün dört pervaneli İHA tarafından sırasıyla alınarak belirlenen konuma bir rota üzerinden minimum hata ile bırakılabilmesi için bulanık PID denetleyicisi tasarlanmaktadır. Faydalı yük alma, taşıma ve bırakma görevi esnasında elde edilen sonuçlar PID denetleyici performansı ile kıyaslamalı olarak analiz edilmektedir.

## ROUTE TRACKING AND PAYLOAD TRANSPORTATION PERFORMANCE OF ADAPTIVE FUZZY LOGIC CONTROLLER BASED UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)

### Keywords

Unmanned Aerial Vehicle,  
Load Transportation System,  
Route Tracking,  
Fuzzy PID,  
Payload.

### Abstract

In autonomous unmanned aerial vehicles (UAV), the payload transporting system is frequently used in civil and military areas. It is very important that the payload taken from the predetermined location in the operational regions where the geographical conditions are unfavorable is left to the target location with minimum error by tracking a certain route. In order to perform such tasks successfully, the UAV must follow the specified route with minimum error. In this study, two identical payloads of different color in the predetermined region are taken by the UAV respectively, and transported to the target location with minimum error by tracking the defined route. A fuzzy PID controller is designed to perform this task. The results obtained during the payload hold, transport and release task are analyzed in comparison with PID controller performance.

### Alıntı / Cite

Belge, E., Altan, A., Hacıoğlu, R., (2021). Uyarlamalı Bulanık Mantık Denetleyici Tabanlı İnsansız Hava Aracı (İHA)'nın Rota Takibi ve Faydalı Yük Taşıma Performansı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 116-125.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Belge, 0000-0001-5852-1085  
A. Altan, 0000-0001-7923-4528  
R. Hacıoğlu, 0000-0002-2480-0729

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	06.05.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	21.12.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	14.01.2021
Yayın Tarihi / Published Date	30.03.2021

### 1. Giriş (Introduction)

Coğrafi koşulların elverişsiz ve insanlı uçuşun riskli olduğu bölgelerde bulunan hedeflere faydalı yüklerin taşınması günümüzde sivil ve askeri çalışmalar için büyük önem arz etmektedir (Lee, 2017). Faydalı yüklerin belirlenen koordinattan alınarak bir veya birden fazla hedef konuma bırakılmasında İnsansız Hava Araçları (İHA) ön plana çıkmaktadır (Altan, vd., 2018). Faydalı yüklerin belirlenen hedeflere minimum hata ile taşınabilmesi için İHA'ların etkin denetimi önemli bir mühendislik problemi olarak karşımıza çıkmaktadır (Altan, vd., 2018; Shirani,

\* İlgili yazar / Corresponding author: hacirif@beun.edu.tr, +90-372-291-2551



vd., 2019). Bu çalışmada, belirli bir rota takip edilerek yük alma ve bırakma problemi için yük taşıma sistemine sahip İHA'nın denetimi bulanık Propotional-Integral-Derivative (PID) denetleyici ile gerçekleştirilmektedir. Yük alma ve bırakma görevi için önerilen denetleyici ile PID denetleyicinin performansı kıyaslanmaktadır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, İHA'ların faydalı yük taşıma ve bu yükleri belirlenen bir rotayı takip ederek hedeflere bırakmaları konusunda son zamanlarda birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. İHA'ların rota takibi problemlerinin çözülmesinde çeşitli denetleyiciler önerilmektedir (Tavakol ve Binazadeh, 2017; Rego ve Raffo, 2019; Liu, vd., 2018). Dört pervaneli bir İHA'nın rota takibi probleminin çözümünde, ayrılmamış mekanik sistemler için doğrusal olmayan gürbüz bir kontrol algoritması önerilmektedir. Önerilen algoritmada, İHA'nın iç döngüdeki konumunun denetimi için altı serbestlik dereceli dinamik modele dayanan doğrusal olmayan  $\mathcal{H}$  denetleyicisi kullanılmaktadır. Referans yörüngenin takibi modele dayalı denetleyici ile gerçekleştirilmektedir (Raffo, vd., 2011). Dört pervaneli İHA'nın rota takibi için denetimi kazanç-zamanlama PID kontrol yaklaşımı ile gerçekleştirilmektedir. İnterpolasyon algoritması ile önerilen denetleyicinin parametreleri optimize edilerek belirlenmektedir. İHA'nın çalışma koşullarının büyük ölçüde ve hızlı bir şekilde değişebileceği durumlar için önerilen denetleyiciye bir dizi önceden ayarlanmış PID denetleyici kazanç katsayıları uygulanmaktadır (Qiao, vd., 2018). Faydalı yükler belirli rota takip edilerek İHA üzerine monte edilen yük alma-bırakma sistemiyle veya İHA gövdesine asılı kablolar ile taşınabilmektedir. Faydalı yüklerin İHA'nın gövdesine asılı kablo ile taşınması serbestlik derecesinin artmasına, İHA'nın gövdesine monte edilen yük alma-bırakma sistemi ile taşınması ise yük ataletinin artmasına neden olmaktadır (Villa, vd., 2019). Bu faydalı yük taşıma görevinin başarıyla gerçekleştirebilmesi hem İHA'nın hem de yük taşıma sisteminin denetleyici performansı ile doğrudan ilişkilidir (Altan ve Hacıoğlu, 2020). Dört pervaneli bir İHA'ya asılı yük taşıma sisteminin konum ve salınım hareketinin denetimi için enerji metodolojisine dayalı lineer olmayan uyarlamalı denetleyici stratejisi önerilmektedir. Kapalı devre sistemin kararlılığı, İHA'nın pozisyon hatasının asimptotik yakınsaması ve yük salınıminin azaltılması Lyapunov tabanlı kararlılık analizi ile ifade edilmektedir (Xian, vd., 2019).

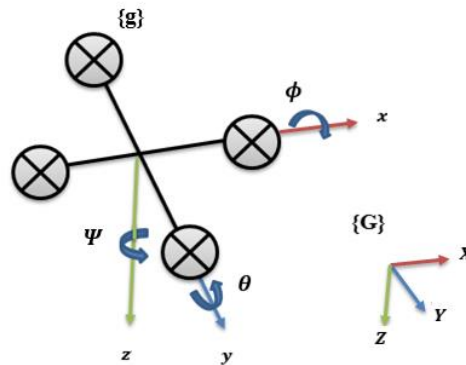
Bu çalışmada, dört pervaneli İHA'nın belirli bir rotayı takip ederek yük alma ve bırakma görevini minimum hata ile yerine getirebilmesi için bulanık PID denetleyici önerilmektedir. Önerilen denetleyicinin tasarımında dört pervaneli İHA'nın matematiksel modelinden faydalanılmaktadır. Önerilen denetleyicinin performansı PID performansı ile kıyaslanmaktadır. Çalışmada, dört pervaneli İHA'nın belirli bir rotayı takip ederek yük alma ve bırakma görevi için önerilen denetleyici algoritması II. bölümde açıklanmakta, önerilen bulanık PID denetleyicisi ile elde edilen benzetim sonuçları III. bölümde verilmekte ve önerilen denetleyici için elde edilen sonuçlar IV. bölümde tartışılmaktadır.

## 2. Dört Pervaneli İHA'nın Bulanık PID Denetimi (Fuzzy PID Control of UAV)

Bu çalışmada dört pervaneli İHA'nın iki farklı noktadan yük alma bırakma görevi için Bulanık PID denetleyicisi önerilmektedir. Bu bölümde İHA sistem modeli ile klasik PID denetleyicisi tasarımı ve önerilen bulanık denetleyicinin, referans rotayı takip edebilme hatası, bulanık mantık kuralları, giriş çıkış üyelik fonksiyonları ve bulanık PID katsayılarının matematiksel ifadeleri tanımlanmaktadır.

### 2.1. Dört Pervaneli İHA'nın Sistem Modeli (System Model of UAV)

Dört pervaneli İHA için, Euler yuvarlanma, yunuslama ve sapma açıları gövde  $\{g\}$  ve genel çerçeve  $\{G\}$  üzerinde durum denklemleri  $X, Y, Z$  (kuzey, doğu, aşağı) yönü,  $x, y, z$  gövde (kuzey, doğu, aşağı) yönü ve  $\phi, \theta, \psi$  (yuvarlanma, yunuslama ve sapma) açıları Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Dört pervaneli İHA'nın dönme hareketi (Rotational movement of quadrotor UAV)

Dört Pervaneli İHA'nın denetiminde kullanılan hareket eşitlikleri (1) ve (2)

$$\begin{bmatrix} \ddot{X} \\ \ddot{Y} \\ \ddot{Z} \end{bmatrix} = \frac{-1}{m} \begin{bmatrix} K_{dx} & 0 & 0 \\ 0 & K_{dy} & 0 \\ 0 & 0 & K_{dz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} - \frac{1}{m} \begin{bmatrix} c(\phi)s(\theta)c(\psi) + s(\phi)s(\psi) \\ c(\phi)s(\theta)s(\psi) - s(\phi)c(\psi) \\ c(\phi)c(\theta) \end{bmatrix} u_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & s(\phi)t(\theta) & t(\phi)t(\theta) \\ 0 & c(\phi) & -s(\phi) \\ 0 & s(\phi)/c(\theta) & c(\phi)/c(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(I_z - I_y)}{I_x} qr \\ \frac{(I_x - I_z)}{I_y} rp \\ \frac{(I_y - I_x)}{I_z} pq \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -J_{TP} \\ I_x \\ J_{TP} \\ I_y \\ 0 \end{bmatrix} q + \begin{bmatrix} \frac{l}{I_x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{l}{I_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{I_z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} \quad (3)$$

ile ifade edilmektedir (Ryll, vd., 2014). Eşitlik (1)'de  $u_1$ , motorların toplam itkisi;  $m$ , çok rotorlu İHA'nın kütlesine;  $\phi$ , yalpalama açısına;  $\theta$ , yunuslama açısına;  $\psi$ , sapma açısına;  $s$ , sinus fonksiyonuna;  $c$ , kosinüs fonksiyonuna ve  $g$  yerçekimi ivmesine karşılık gelmektedir. Eşitlik (2)'de  $p$ ,  $q$ ,  $r$  sırasıyla yalpalama, yunuslama ve sapma açısal hızlarını ifade etmekte olup  $t$ , tanjant fonksiyonunu belirtmektedir. Eşitlik (3)'de ise  $I_x$ ,  $I_y$  ve  $I_z$ , her bir eksen etrafındaki eylemsizlik momentine;  $J_{TP}$ , motorun dönmesinden kaynaklanan eylemsizlik momentine;  $u_2$ , yalpalama açısı girdisine;  $u_3$ , yunuslama açısı girdisine;  $u_4$ , sapma açısı girdisini ifade etmektedir. Bu benzetim çalışmasında, Eşitlik (1-3)'de çok rotorlu İHA'nın kütlesi ( $m$ ) ile eylemsizlik moment katsayıları yük alma ve bırakma sırasında değişim göstermektedir.

## 2.2. Rota Takibi (Route Tracking)

Çok rotorlu İHA'nın insansız olarak hareketini sağlamak, istenen rotaya en kısa sürede gitmesini ve yüksek enerji verimliliği amacıyla rota takibi yapması ve istenilen rotada hareketinin sağlanması büyük önem teşkil etmektedir. Rota takibinin yapılması için çok rotorlu İHA'nın belirtilen rotaya ilerlemesi veya kendi rotasını belirli algoritmalarla ve yöntemlerle oluşturması gerekmektedir. Çok rotorlu İHA'nın belirlenen rotayı takip etmesiyle ilgili literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır (Altan, vd., 2018; Rego ve Raffo, 2019; Raffo, vd., 2011). Tüm rota takip sistemlerinde referans noktaları belirlenmekte ve İHA'nın referansı takip etme oranı incelenmektedir. Buna göre rota takibinde  $x_d, y_d, z_d$  referans rotayı belirtecek olursa  $x, y, z$  İHA'nın rotasını göstermektedir. Bu durumda hata, Eşitlik (4) ile

$$e = \sqrt{(x_d - x)^2 + (y_d - y)^2 + (z_d - z)^2} \quad (4)$$

ifade edilmektedir.

## 2.3. Denetleyici Tasarımı (Controller Design)

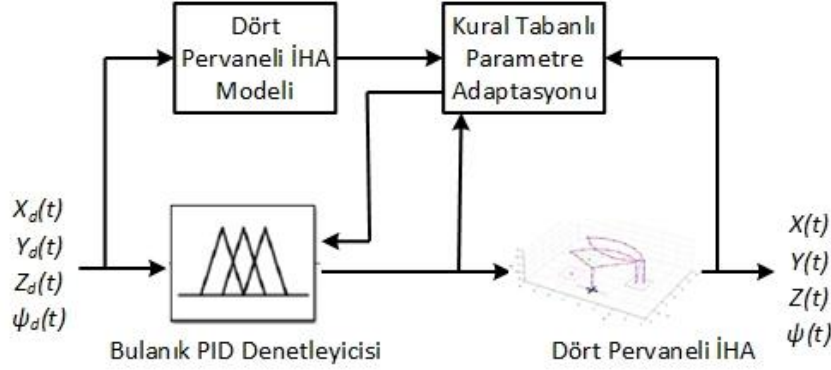
PID denetleyicisi kapalı döngü geri bildirim sistemi olarak bilinmektedir. Kontrol sistemi, gerçek ve istenen durum arasındaki farkı hesaplamak ve bir hata değeri üretmektedir. Çok rotorlu İHA üzerinde bulunan sensörden çıkan ölçüm değerleri, bu hata sinyalini hesaplamak için geri beslenerek istenen değer ile ölçülen değer arasındaki dengeyi sağlamaktadır (Pounds, vd., 2012). PID kontrol sisteminin çıkışı, sistemi istenen duruma yaklaştıracak bir kontrol değeridir. PID denetleyicisi, parametre kazançlarının kolay ayarlanması, tasarımı ve dayanımı açısından avantajlıdır; ancak matematiksel model ile ilişkilendirilen doğrusal olmayan ve kesin durumlar içermeyen çok rotorlu İHA modellerinde, İHA'nın hareketini ve performansını sınırlandırmaktadır. PID denetleyicisiyle denetlenen İHA'nın kontrol girişi  $u(t)$ ,  $K_p$ : oransal kontrol kazancı,  $K_i$ : integral kontrol kazancı,  $K_D$ : türevsel kontrol kazancı ve  $t$ : anlık zaman değişkeni Eşitlik (5)'de

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \dot{e}(t) \quad (5)$$

olduğu gibi ifade edilmektedir ki burada hata  $e(t)$  dir. PID denetleyici kazanç parametreleri  $K_p, K_i, K_D$ , İHA'nın dinamik modeline göre Ziegler-Nichols yaklaşımı ile elde edilmektedir. Öncelikle basamak cevabına oransal denetleyici kazancı kararlılık sınırında artırılarak  $K_u$  ve  $T_u$  değerleri elde edilmekte olup  $K_p = 0.6K_u$ ,  $K_i = 1.2K_u / T_u$ ,  $K_D = 0.075K_u T_u$  ilişkisi ile PID parametreleri hesaplanabilmektedir. Burada pozisyon  $X, Y, Z$  ve açısal hız  $p, q, r$  için PID kullanılırken yönelme açıları için P denetleyici kullanılmaktadır. En yüksek aşım %15 değerini aşmayacak şekilde kararlılık ve doğrusal olmayan system dinamiği değerlendirilerek yükselme  $Z$  için  $K_u = 11.76$  ve  $T_u = 2.73$  olarak bulunmakta ve  $K_p = 7.06$ ,  $K_i = 5.17$ ,  $K_D = 2.04$  kullanılmaktadır. Pozisyon  $X, Y$ , için  $K_u = 0.6$  ve  $T_u = 7$  olarak

bulunmakta ve  $K_P = 0.35, K_I = 0.1, K_D = 0.31$  kullanılmaktadır. Açısal hız  $p, q, r$  için ise  $K_u = 4.1$  ve  $T_u = 0.03$  olarak bulunmakta ve  $K_P = 2.7, K_I = 1, K_D = 0.01$  kullanılmaktadır.

Dört pervaneli İHA'nın bulanık PID denetimi Şekil 2'de blok şema ile gösterilmektedir. İHA'nın PID katsayıları belirlenen kural tabanına göre uyarlamalı olarak güncellenmektedir. İHA'nın istenilen  $X_d, Y_d, Z_d$  konumları ve elde edilen  $X, Y, Z$  konumları arasındaki hata ve hata değişiminin üyelik fonksiyonları bulanık mantık denetleyicisine giriş olarak verilmektedir.



Şekil 2. Dört pervaneli İHA'nın bulanık PID denetimi (Fuzzy PID control of quadrotor)

Bu çalışmada PID katsayılarının doğrudan hesaplanmasında önerilen bulanık PID yaklaşımında referans konum ve İHA'nın konumu arasındaki hata ( $e$ ) ve hata değişimine ( $de$ ) göre  $K_P, K_D$  değerlerini ve bağlı olarak  $K_I$  değerlerinin elde edilebildiği bulanık denetleyicisinin Şekil 3'te giriş ve Şekil 4'te çıkış üyelik fonksiyonları gösterilmektedir. Şekil 4'te  $N$  (Negatif),  $P$  (Pozitif),  $B$  (Büyük),  $M$  (Orta),  $S$  (Küçük),  $ZO$  (Sıfır) olarak belirtilirse, giriş üyelik fonksiyonları hız hatası ve hız hatasının değişimi için  $NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB$  olarak, çıkış üyelik fonksiyonları  $K_P, K_D$  ve  $\alpha$  ile ifade edilmektedir. Buna göre PID katsayıları Eşitlik (6-11)'e göre hesaplanmaktadır. Burada kullanılan  $K_{pmin}$  ve  $K_{pmaks}$  değerleri  $K_P$ 'nin,  $K_{dmin}$  ve  $K_{dmaks}$  değerleri  $K_D$ 'nin sırasıyla minimum ve maksimum değerlerini ifade etmektedir (Gao ve Liu, 2016).

$$K_P = K_{pmin} + (K_{pmaks} - K_{pmin}) * K'_P \quad (6)$$

$$K_D = K_{dmin} + (K_{dmaks} - K_{dmin}) * K'_D \quad (7)$$

$$K_I = \frac{K_P^2}{\alpha K_D} \quad (8)$$

$$K'_P = \sum_{i=1}^n \mu_i K_{P,i}' \quad (9)$$

$$K'_D = \sum_{i=1}^n \mu_i K_{D,i}' \quad (10)$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \mu_i \alpha_i \quad (11)$$

$K'_P, K'_D, \alpha$  parametrelerinin bulanık mantık kuralları sırasıyla Tablo 1, 2 ve 3'de verilmektedir.  $K'_P$  ve  $K'_D$  değerleri sırasıyla  $K_P$  ve  $K_D$  değerlerinin 0 ile 1 arasına normalize edilmiş halidir. Eşitlik (8)'de ifade edildiği gibi  $\alpha$  parametresi integral kazancının hesaplanmasında kullanılan bir katsayıdır. Kararlılık ve doğrusal olmayan system dinamiği değerlendirilerek yükselme  $Z$  için  $K_{pmin} = 6, K_{pmaks} = 8, K_{dmin} = 1.6, K_{dmaks} = 3.2$ , pozisyon  $X, Y$ , için  $K_{pmin} = 0.2, K_{pmaks} = 0.45, K_{dmin} = 0.2, K_{dmaks} = 0.45$ , ve açısal hız  $p, q, r$  için ise  $K_{pmin} = 2.2, K_{pmaks} = 3.2, K_{dmin} = 0, K_{dmaks} = 0.02$  olarak kullanılmaktadır.

Tablo 1.  $K'_P$  için bulanık mantık kuralları (Fuzzy logic rules for  $K'_P$ )

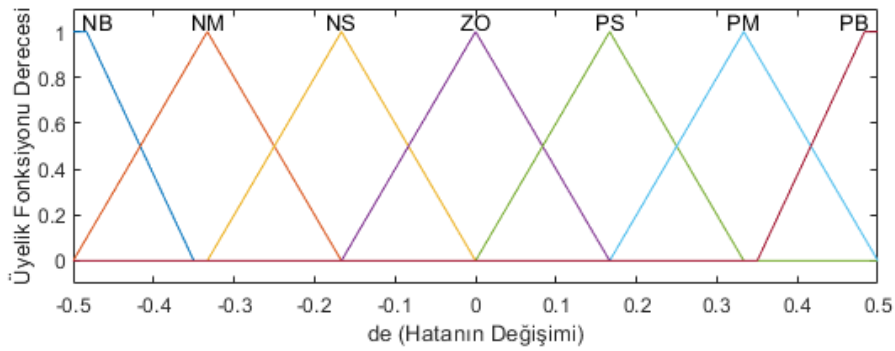
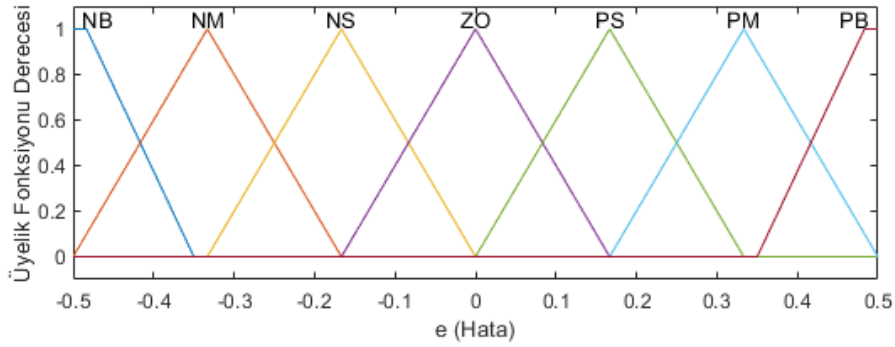
	<b>de (Hata Değişimi)</b>							
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	
<b>e (Hata)</b>	NB	B	B	B	B	B	B	B
	NM	S	B	B	B	B	B	S
	NS	S	S	B	B	B	S	S
	ZO	S	S	S	B	S	S	S
	PS	S	S	B	B	B	S	S
	PM	S	B	B	B	B	B	S
	PB	B	B	B	B	B	B	B

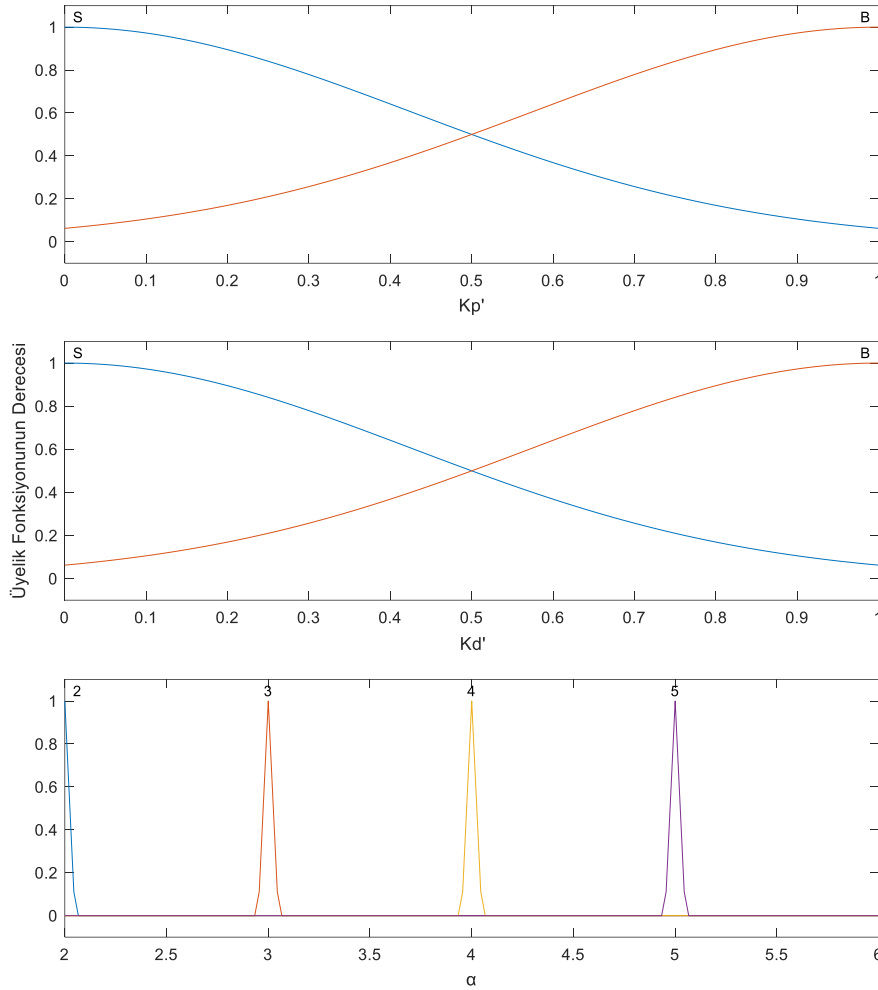
**Tablo 2.**  $K'_d$  için bulanık mantık kuralları (Fuzzy logic rules for  $K'_d$ )

		<b>de (Hata Değişimi)</b>						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
<b>e (Hata)</b>	NB	S	S	S	S	S	S	S
	NM	B	B	S	S	S	B	B
	NS	B	B	B	S	B	B	B
	ZO	B	B	B	B	B	B	B
	PS	B	B	B	S	B	B	B
	PM	B	B	S	S	S	B	B
	PB	S	S	S	S	S	S	S

**Tablo 3.**  $\alpha$  için bulanık mantık kuralları (Fuzzy logic rules for  $\alpha$ )

		<b>de (Hata Değişimi)</b>						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
<b>e (Hata)</b>	NB	2	2	2	2	2	2	2
	NM	3	3	2	2	2	3	3
	NS	4	3	3	2	3	3	4
	ZO	5	4	3	3	3	4	5
	PS	4	3	3	2	3	3	4
	PM	3	3	2	2	2	3	3
	PB	2	2	2	2	2	2	2

**Şekil 3.** Giriş üyelik fonksiyonları (Input membership functions)



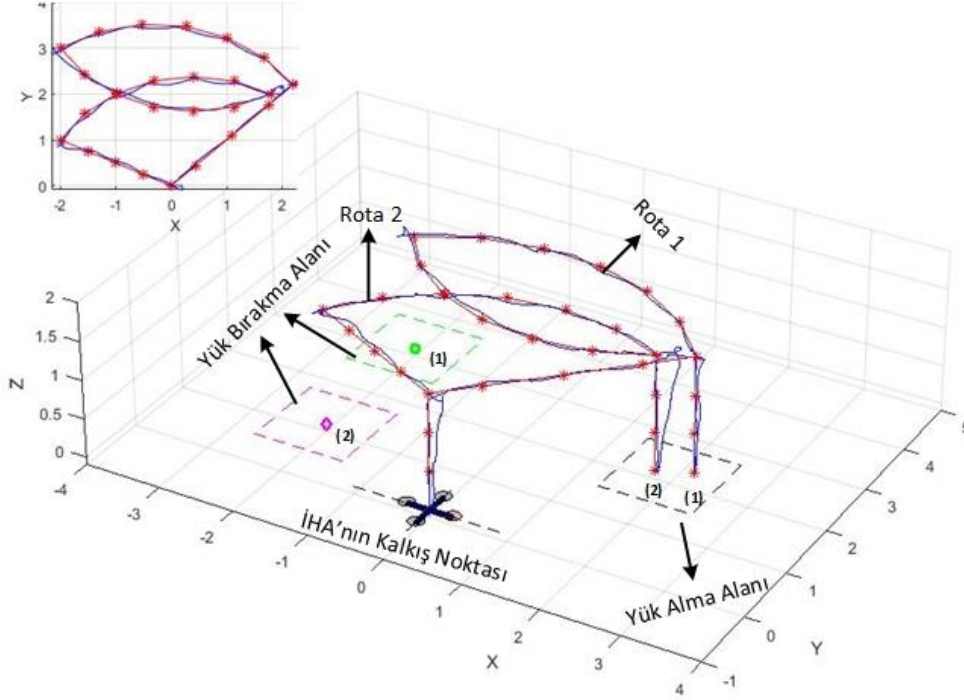
Şekil 4. Çıkış üyelik fonksiyonları (Output membership functions)

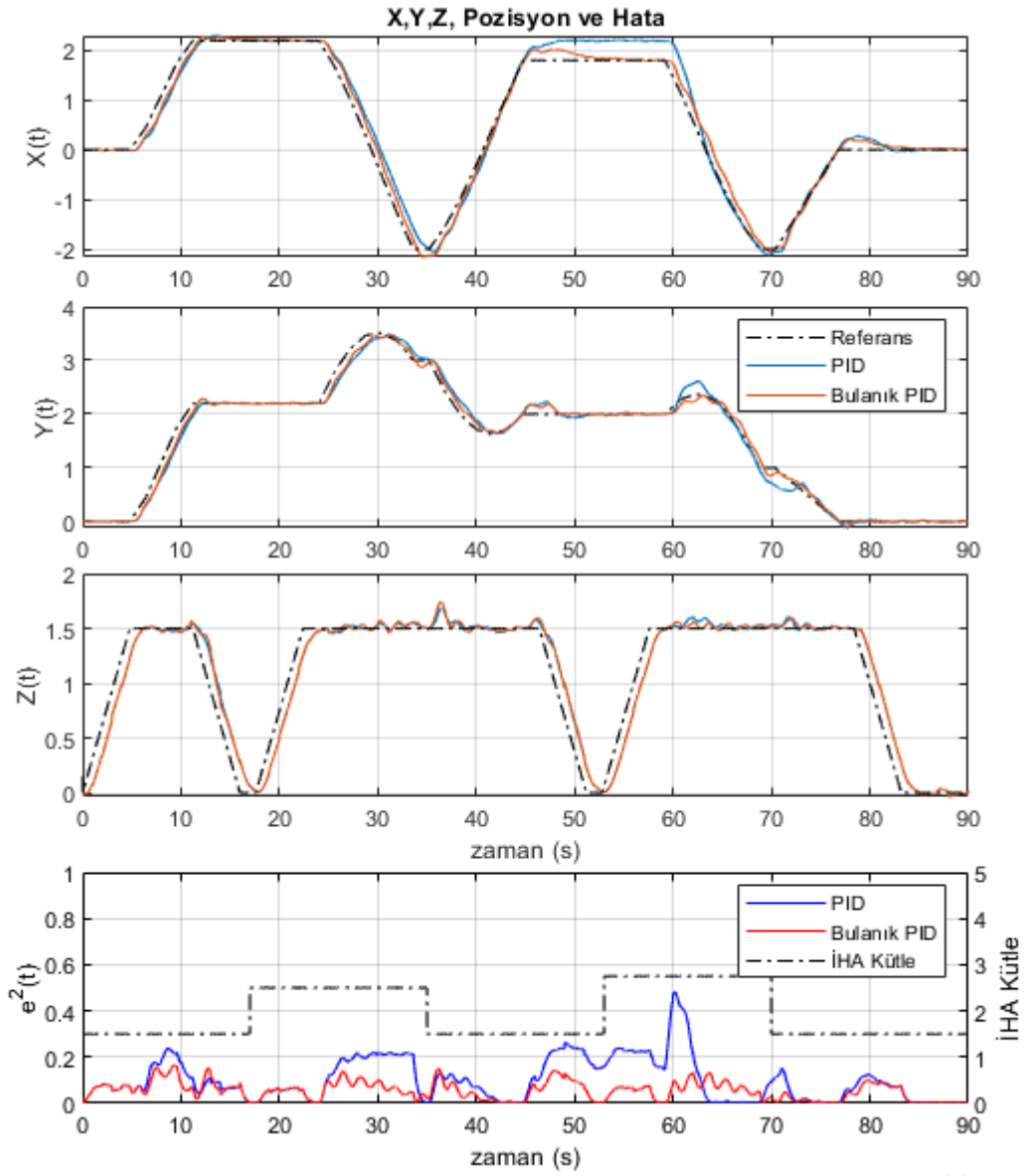
### 3. Rota Takibi Sonuçları (Route Tracking Results)

Kalkış noktasından kalkan İHA'nın yük alma alanındaki 1'inci yükü aldıktan sonra Rota 1'i takip ederek yükü yeşil alana bırakması, 1'inci yükü ilgili hedef noktasına bırakan İHA'nın yük alma alanındaki 2'nci yükü aldıktan sonra Rota 2'yi izleyerek pembe alana bırakması Şekil 5'te gösterilmektedir. Şekil 5'te İHA'nın takip ettiği güzergah noktaları kırmızı yıldız işaretleriyle gösterilmektedir. Bu çalışmada İHA'nın boş ağırlığı 1.5 kg, 1'inci yükün ağırlığı 1 kg ve 2'inci yükün ağırlığı 1.25 kg'dır. İHA'nın 1'inci yükü alması ve bırakması sırasıyla 17 ve 35'inci saniyelerde gerçekleşmektedir. İHA'nın 2'inci yükü alması ve bırakması sırasıyla 53 ve 69'uncu saniyelerde gerçekleşmektedir. İki konum arasında yük taşıma işlemi gerçekleştiren İHA kalkış yaptığı noktaya inerek görevini tamamlamaktadır. İHA'nın rota takibinde iki farklı denetleyici için aldığı toplam yol ve hata değerleri kıyaslamalı olarak Tablo 4'de verilmektedir. Sistemin örnekleme aralığı 0.01 s'dir. İHA'nın rota takibinde kullanılan PID ve bulanık PID denetleyicileri için toplam karesel hata 9.0849 m<sup>2</sup> ve 4.8798 m<sup>2</sup>, toplam alınan yol 31.5972 m ve 31.3844 m olarak sırasıyla elde edilmektedir. Şekil 6'da İHA'nın rota takibinde PID ve bulanık PID denetleyicilerinin X, Y, Z yönlerindeki referans pozisyona göre değişimleri ve karesel hata değerinin zamana göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 7'de İHA'nın yük alma bırakma süreçlerinde motor hızları (w1-w4), yükseklik kontrol değişkeni (U<sub>1</sub>) ve yönelim kontrol değişkenleri (U<sub>2</sub>-U<sub>4</sub>) gösterilmektedir. Motor hızları, yükseklik kontrol değişkenindeki değişimler incelendiğinde 1'inci yükün alınması ve bırakması sırasıyla 17 ve 35'inci saniyelerde, 2'inci yükün alınması ve bırakılması ise 53 ve 70'inci saniyelerde gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda önerilen bulanık PID denetleyicisinin, belirli bir rotayı takip ederek yük alma ve bırakma görevini gerçekleştiren dört pervaneli İHA'nın X, Y, Z yönlerindeki referans rotayı takip edebilme performansı klasik PID yöntemine göre yüksektir. Bu duruma bağlı olarak bulanık PID denetleyicisinin karesel hatası ve İHA'nın rota takibi süresince aldığı toplam yol PID denetleyicisine göre daha düşüktür.

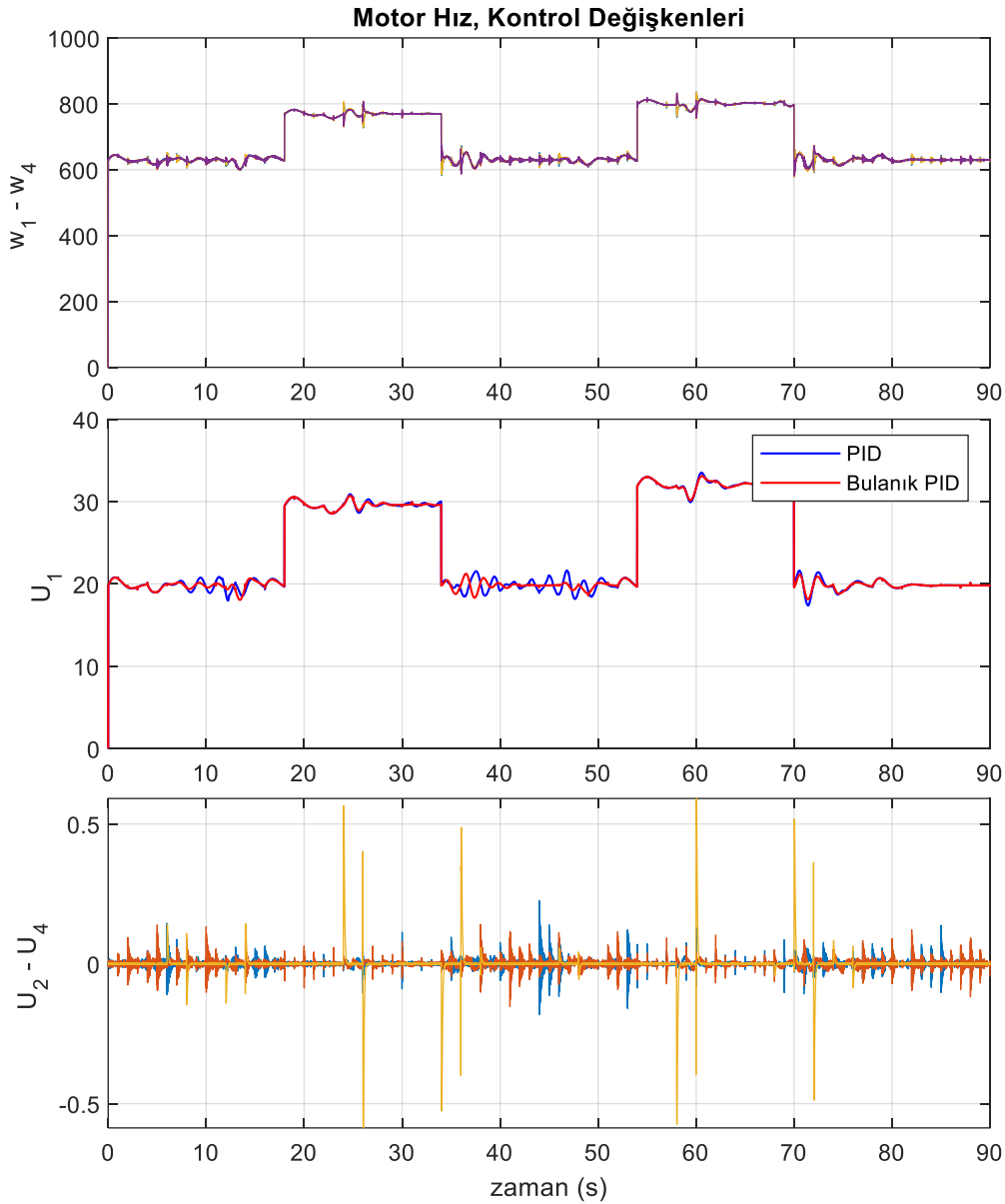
**Tablo 4.** Rota takibinde kullanılan denetleyicilerin performans analizi (Performance analysis of controllers used in route tracking)

Performas Kriteri	PID Denetleyicisi	Bulanık PID Denetleyicisi
Karesel Hata ( $m^2$ )	9.0849	4.8798
Toplam Yol ( $m$ ) (Referans Rota=27.93 $m$ )	31.5972	31.3844

**Şekil 5.** İHA'nın bulanık PID denetleyicisi ile rota takibi (Route tracking with fuzzy PID controller of UAV)



**Şekil 6.** İHA'nın faydalı yük etkisi ile rota takibinde X, Y, Z pozisyon ve karesel hata değişimi (X, Y, Z position and squared error change in the route tracking of UAV with payload effect)



**Şekil 7.** İHA'nın faydalı yük etkisi ile rota takibinde motor hız ve tork(kontrol değişkenleri) değişimi (Motor speed and torque (control variables) changes in the route tracking of UAV with payload effect)

#### 4. Sonuçlar (Conclusions)

Yük taşıma sistemine sahip dört pervaneli İHA'nın belirli bir rotayı takip ederek yük alma ve bırakma görevini minimum hata ile yerine getirebilmesi için bulanık PID denetleyici önerilmiştir. Önerilen bulanık PID denetleyicisinin rota takip performansı karesel hata, toplam yol ve referans  $x$ ,  $y$ ,  $z$  pozisyonundan sapma değerleri göz önünde bulundurularak analiz edilmiştir. Faydalı yük alma, taşıma ve bırakma görevi esnasında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, önerilen bulanık PID denetleyicisinin rota takip performansının PID denetleyici performansına göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada önerilen denetleyicinin, yükün alınması ve bırakılması sırasında ağırlık değişiminden minimum seviyede etkilendiği görülmektedir. Farklı ağırlıktaki iki yükün alınma ve taşınma işlemi bu çalışmanın literatürdeki özgünlük değerini ortaya koymaktadır. Yapılan bu çalışmanın sonuçları değerlendirilerek dört pervaneli İHA'nın bulanık PID denetleyicisiyle gerçek zamanlı rota takibi gerçekleştirilip, dış bozucu etkisi incelenebilecektir. Önerilen bulanık PID denetleyicisi, İHA'larda farklı yük taşıma uygulamalarına kolayca entegre edilebilecektir. Bu çalışmanın sonuçlarından yararlanılarak, yük taşıma sistemine sahip İHA'nın farklı dış bozucu etkiler altındaki denetim performansı incelenebilecektir.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.



**Kaynaklar (References)**

- Altan, A., Aslan, O., Hacıoğlu, R., 2018. Model Reference Adaptive Control of Load Transporting System on Unmanned Aerial Vehicle. 6th International Conference on Control Engineering and Information Technology, Oct 25-27, 2018, Istanbul, Turkey.
- Altan, A., Aslan, O., Hacıoğlu, R., 2018. Real-Time Control based on NARX Neural Network of Hexarotor UAV with Load Transporting System for Path Tracking. 6th International Conference on Control Engineering and Information Technology, Oct 25-27, 2018, Istanbul, Turkey.
- Altan, A., Hacıoğlu, R., 2020. Model Predictive Control of Three-Axis Gimbal System Mounted on UAV for Real-Time Target Tracking under External Disturbances. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 138, 106548.
- Gao, Y., Liu, Y. J., 2016. Adaptive Fuzzy Optimal Control using Direct Heuristic Dynamic Programming for Chaotic Discrete-Time System. *Journal of Vibration and Control*, 22 (2), 595-603.
- Lee, T., 2017. Geometric Control of Quadrotor UAVs Transporting a Cable-Suspended Rigid Body. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 26 (1), 255-264.
- Liu, Y., Wang, Q., Hu, H., He, Y., 2018. A Novel Real-Time Moving Target Tracking and Path Planning System for a Quadrotor UAV in Unknown Unstructured Outdoor Scenes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49 (11), 2362-2372.
- Pounds, P. E., Bersak, D. R., Dollar, A. M., 2012. Stability of Small-Scale UAV Helicopters and Quadrotors with Added Payload Mass under PID Control. *Autonomous Robots*, 33 (1-2), 129-142.
- Qiao, J., Liu, Z., Zhang, Y., 2018. Gain Scheduling Based PID Control Approaches for Path Tracking and Fault Tolerant Control of a Quadrotor UAV. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 7 (4), 401-408.
- Raffo, G. V., Ortega, M. G., Rubio, F. R., 2011. Path Tracking of a UAV via an Underactuated Control Strategy. *European Journal of Control*, 17 (2), 194-213.
- Rego, B. S., Raffo, G. V., 2019. Suspended Load Path Tracking Control using a Tilt-Rotor UAV based on Zonotopic State Estimation. *Journal of the Franklin Institute*, 356 (4), 1695-1729.
- Ryll, M., Bühlhoff, H. H., Giordano, P. R., 2014. A Novel Overactuated Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle: Modeling, Control, and Experimental Validation. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 23 (2), 540-556.
- Shirani, B., Najafi, M., Izadi, I., 2019. Cooperative Load Transportation using Multiple UAVs. *Aerospace Science and Technology*, 84, 158-169.
- Tavakol, F., Binazadeh, T., 2017. Robust Control Design for Path Tracking of Non-Affine UAV. *Systems Science and Control Engineering*, 5 (1), 474-480.
- Villa, D. K., Brandão, A. S., Sarcinelli-Filho, M., 2019. A Survey on Load Transportation Using Multirotor UAVs. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 1-30.
- Xian, B., Wang, S., Yang, S., 2019. Nonlinear Adaptive Control for an Unmanned Aerial Payload Transportation System: Theory and Experimental Validation. *Nonlinear Dynamics*, 98 (3), 1745-1760.



## ŞEFAATLİ (YOZGAT) DOĞUSU SU KAYNAKLARININ HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ

Şehnaz ŞENER<sup>1\*</sup>, Erhan ŞENER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Hidrojeoloji,  
Hidrojeokimya,  
Su Kaynakları,  
Şefaati.*

### Öz

Bu çalışmada, Yozgat ili, Şefaati ilçesi doğusu yüzey ve yeraltılarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Bölgede yüzeyleyen jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre Akifer-1, Akifer-2, Akitard ve Aküfj olmak üzere dört ayrı grupta incelenmiştir. Mayıs (2019) döneminde yapılan yeraltısını seviye ölçüm sonuçlarına göre bölgede yeraltısını derinlikleri 3,22 m ile 20 m arasında, yeraltısını seviye değerleri ise 945,25 m ile 1045,05 m arasındadır. Bölgede, yeraltısını akımının, güneydoğudan kuzeybatıya doğru olduğu belirlenmiştir. Aynı dönemde yeraltısını ve yüzeysularından alınan su örneklerinin hidrojeokimyasal özellikleri, su kalitesi ve kullanım özellikleri belirlenmiştir. Buna göre su örnekleri Na-Ca-HCO<sub>3</sub>, Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>'lı sular fasiyesinde yer almaktadır. Su örneklerin kimyasal analiz sonuçlarına göre yeraltılarının Al ve As parametreleri bakımından, yüzey sularının ise Al, As, Mn ve Fe parametreleri bakımından içme suyu olarak kullanıma uygun olmadığı belirlenmiştir. Su kaynaklarında söz konusu parametrelerin artışı kaya-su etkileşimi ile gelişmektedir. Ayrıca, bölgedeki tarımsal faaliyetler ile ilişkili olarak yeraltısını örneklerinin NO<sub>3</sub> değerlerinin içme suyu limit değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

## HYDROGEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THE WATER RESOURCES IN EAST OF THE ŞEFAATLİ (YOZGAT)

### Keywords

*Hydrogeology,  
Hydrogeochemistry,  
Water Resources,  
Şefaati.*

### Abstract

In this study, the hydrogeological and hydrogeochemical properties of surface and groundwater in the east of Şefaati district of Yozgat province were investigated. The geological units outcropping in the region were examined in four different groups, namely Akifer-1, Akifer-2, Akitard and Aküfj according to their hydrogeological characteristics. According to the groundwater level measurement results made in the period of May (2019), groundwater depths in the region are between 3,22 m and 20 m, and groundwater level values are between 945,25 m and 1045,05 m. It was determined that the groundwater flow in the region is from southeast to northwest. In the same period, hydrogeochemical properties, water quality and usage characteristics of water samples were determined. Accordingly, the waters in the region are Na-Ca-HCO<sub>3</sub>, Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> and Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> water type. According to the chemical analysis results, it was determined that the groundwater is not suitable for drinking water usage in terms of Al and As parameters and surface waters in terms of Al, As, Mn and Fe. The high values of the parameters in water resources the result of rock-water interaction in the region. In addition, it was determined that the NO<sub>3</sub> values of groundwater samples were above the drinking water limit values in relation to agricultural activities in the region.

### Alıntı / Cite

Şener, Ş., Erhan, Ş., (2021). Şefaati (Yozgat) Doğusu Su Kaynaklarının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelemesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 126-138.

\* İlgili yazar / Corresponding author: sehnazsener@sdu.edu.tr, +90-246-211-1324

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
Ş. Şener, 0000-0003-3191-2291	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	30.05.2020
E. Şener, 0000-0001-6263-8366	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	15.07.2020
	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	01.09.2020
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

## 1. Giriş (Introduction)

Nüfus artışı ve gelişen endüstri ile birlikte insanların suya olan ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Buna karşılık, bilinçsiz su kullanımları ve iklim değişikliğinin de etkisi ile gerek yüzeysuyu gerekse yeraltısularının miktarlarında ciddi azalmalar dikkati çekmektedir. Yüzeysularının tarımsal faaliyetler, endüstriyel atıklar, madencilik, evsel atıklar ve kanalizasyon deşarjları gibi antropojenik kirleticilerden kolaylıkla etkilenmesi sebebiyle özellikle içme suyu olarak kullanımda yeraltısuları daha çok tercih edilmektedir (Babiker vd., 2007; Şener vd., 2017). Bu nedenle, yeraltısuyu kimyası birçok araştırmacı tarafından kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Varol ve Davraz 2015; Subramani vd., 2010; Aghazadeh ve Mogaddam 2011; Su vd., 2013). Bir bölgenin yeraltısuyu kimyası genellikle homojen değildir ve iklim değişiklikleri, kaya-su etkileşimi, mineral türlerinin çözünmesi ve/veya çökmesi, iyon değişim reaksiyonları, kimyasal ayrışma, yeraltısuyu kaynaklarının aşırı kullanımı, tarım ve atık deşarjları gibi çeşitli faktörlerin etkisi altındadır (Hem 1985; Kumar vd. 2009; Subramani vd. 2005). Su kaynakları konusunda yapılan çalışmalar dünya genelinde jeojenik kirleticilerin yeraltısuyu kalitesinde bozulmalara sebep olduğunu göstermektedir. İçme suyunda sağlık açısından önemli olan yaygın jeojenik kimyasallar arasında arsenik, florür, krom, bor, baryum, selenyum ve uranyum bulunmaktadır (Amini vd., 2008; WHO, 2011). Bu kimyasalların arasında arsenik (As) ve florür (F) toksisiteleri nedeniyle son derece önemlidir ve özellikle içme suyu kullanımında dikkat edilmesi gereken parametrelerdir.

Bu çalışmada, Yozgat ili, Şefaattli ilçesi doğusunun hidrojeolojik özellikleri incelenerek yüzey ve yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri ve kullanılabilirlik durumu araştırılmıştır. Bölgede yakın zamanda su kaynaklarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerini ortaya koymaya yönelik bilimsel bir çalışma yapılmamıştır. Bu durum söz konusu çalışmayı bilimsel açıdan özgün, bölge halkı ve yerel yöneticiler bakımından önemli kılmaktadır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Kervankıran ve Kılıç, (2014) tarafından yapılan çalışmada Yozgat'ta tarihi ve turizm değerleri bakımından dikkat çeken en önemli unsurlar yeraltı madenleri, kaplıcaları ve tarihi ören yerleri olarak belirtilmektedir. Kırsal yaşam biçiminin hüküm sürdüğü bölgede öne çıkan sektörler; tarım ve hayvancılıktır. Bununla birlikte son yıllarda sanayi ve hizmet sektörü özelinde birçok girişimler gerçekleştirilmiş ve bölgenin turizm sektörünün ön plana çıkarılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Özellikle jeotermal kaynakların turizme kazandırılması yönünde araştırmalar yürütülmektedir (Kolay vd., 2017).

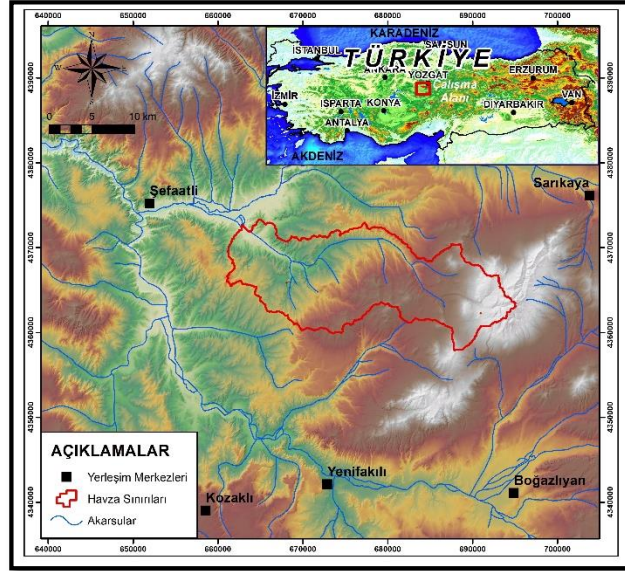
Çalışma alanını oluşturan Yozgat ili Şefaattli ilçesi ve çevresi Akın (2016) tarafından yapılan çalışmada jeotermal kaynaklar ve özellikleri bakımından incelenmiştir. Yapılan çalışmada bölgede bulunan Boğazlıyan jeotermal alanının yüksel potansiyele sahip olduğu ve bu alanın termal turizm ve seracılık için uygun olduğu belirtilmektedir. Bölgedeki sıcak su örneklerinin Na-Ca-Cl-HCO<sub>3</sub> su tipinde oldukları kimyasal analizi sonuçlarına göre belirlenmiştir. Şefaattli İlçesinde bulunan jeotermal alanın 2011 yılında ruhsatı alınmıştır. Çalışmada, bu bölgede hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal açıdan daha kapsamlı araştırmalar yapılarak bölgenin jeotermal potansiyelinin net olarak ortaya çıkarılması Yozgat'ın sosyoekonomik kalkınmasına katkı sağlayacağı belirtilmektedir. Yapılan çalışmalara göre, jeotermal kaynak potansiyelinin yüksek olduğu belirtilen çalışma alanının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin ortaya konulduğu bu çalışma bölge için büyük önem taşımaktadır.

## 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

### 3.1. Çalışma Alanı (The Study Area)

Çalışma alanı İç Anadolu Bölgesinde, Yozgat İli, Şefaattli İlçesi'nin doğusunda bulunmaktadır (Şekil 1). Bölge aynı zamanda Kızılıkoca yeraltısuyu alt havzası içerisinde yer almakta olup Güzelli, Eğlence ve Kumkuyu köyleri inceleme alanı içerisindedir. Bölgede en önemli yüzeysuyu Özdere'dir. Ayrıca, Kumkuyu Göleti, Yanıpazar Göleti ve Kanlıdere Göleti olmak üzere 3 adet gölet bulunmaktadır. 2012 yılı CORİNE (Coordination of Information on the Environment) Arazi Örtüsü verilerine göre çalışma alanının %62,96'lık bölümü kuru tarım, % 10.49'u Önemli Doğal Bitki Alanlarının Tarım Tarafından İşgal Edilen Alanlar ve %8,66'sı Doğal Çayırardan oluşmaktadır. Kuru tarım ve hayvancılık bölgenin en önemli geçim kaynaklarıdır.

Genel olarak karasal iklimin hakim olduğu çalışma alanında yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlıdır. Yozgat Devlet Meteoroloji İstasyonu verilerine göre bölgeye düşen ortalama yıllık yağış miktarı 564,3 mm olarak ölçülmüştür. Uzun yıllar aylık yağış verilerine göre ise aylık ortalama yağış 47,6 mm'dir. Ortalama sıcaklık 1950-2018 tarihleri arasındaki 68 yıllık aylık ölçülmüş sıcaklık değerlerine göre 9,2 °C'dir.



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası (Location map of the study area)

### 3.2. Çalışma Yöntemleri (Methods)

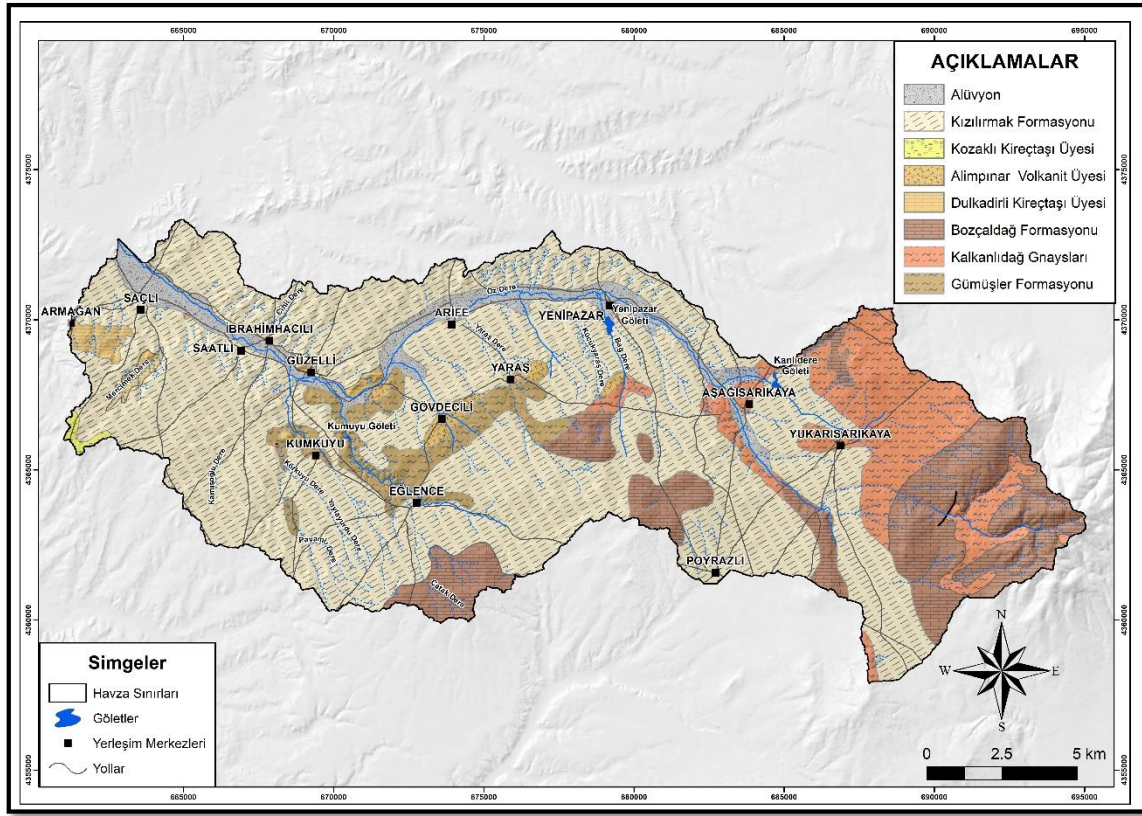
İnceleme alanın hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışma kapsamında ayrıntılı arazi ve büro çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanının jeolojik özelliklerini ortaya koyabilmek için ayrıntılı literatür ve arazi çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen literatür bilgileri arazi gözlemleri ile desteklenerek bölgenin 1/50.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Her bir litolojik birimin hidrojeolojik özellikleri değerlendirilerek çalışma alanının hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır. Bölgenin yeraltısuyu dinamiğini ortaya koymak amacıyla çalışma alanı çevresinde belirlenen sondaj kuyularında yeraltısuyu seviyeleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler kullanılarak bölgenin yeraltısuyu seviye haritası hazırlanmış ve yeraltısuyu akım yönü belirlenmiştir. Ayrıca, hidrojeokimyasal incelemeler kapsamında çalışma alanı ve çevresinde Mayıs-2019 döneminde yüzey ve yeraltısuyu örnekleri alınmıştır. Su örneklerinin saklanmasında sızdırmaz kapaklı polietilen şişeler kullanılmıştır. Numunelerin sıcaklık (°C), elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) değerleri WTW marka çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazı kullanılarak yerinde ölçümler yapılmıştır.

Su örneklerinin katyon içeriklerinin belirlenebilmesi için örnekler katyon analizleri, Bureau Veritas Mineral (Kanada) laboratuvarında analiz edilmiş, analizlerde ise ICP-MS cihazı kullanılmıştır. Anyon içerikleri ise SDÜ Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında belirlenmiştir. Analiz yöntemleri olarak spektrofotometrik ve titrimetrik yöntemler kullanılmıştır. Su örneklerinin hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesinde anyon ve katyon analiz sonuçları Schoeller yarı logaritmik, Piper (1944) ve Gibbs diyagramları üzerine yerleştirilerek yorumlanmıştır. Suların içme suyu ve sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi için ulusal ve uluslararası standartlar ile belirlenen limit değerler ile karşılaştırmanın yanı sıra Özgül Elektriksel İletkenlik (EC) değerleri ve ABD tuzluluk diyagramı kullanılmıştır.

## 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

### 4.1. Jeolojik Özellikler (Geological Properties)

Çalışma alanında Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı metamorfik birimlerden oluşan Kırşehir masifine ait Gümüşler Formasyonu, Kalkanlıdağ formasyonu ve Bozçaldağ formasyonu; Eosen yaşlı Çevirme formasyonuna ait Dulkadirlik kireçtaşı ve Alımpınar Volkanit üyeleri; Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızılırmak formasyonu ve Kozaklı kireçtaşı üyesi ile Kuvaterner yaşlı alüvyon birim yüzeylenmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanının genel jeoloji haritası (General geology map of the study area)

Paleozoyik yaşlı Gümüşler Formasyonu, Kırşehir masifinin, kalksilikatik gnays, gnays, kuvarsit, feldispatik şist, şist, mikaşist, amfibolşist ve az oranda mermerlerden oluşmaktadır (Göncüoğlu 1977; Kara, 1997) Gümüşler Formasyonu çalışma alanında Kumkuyu, Eğlence ve Yaras civarında gözlenmekte olup birim Bozçaldağ Formasyonunu oluşturan mermerlerle geçişlidir. Kırşehir Masifi'nin kalksilikatik gnays-gnays, kuvarsfeldispatik şistler, mikaşistler, amfibolşist-amfibolit, kuvarsşist ve çok az oranda da kalkşist katkılı mermerden (kalınlık < 10m) oluşan kesimleri Kara (1997) tarafından Kalkanlıdağ gnaysları olarak adlandırılmış olup birimin yaşı Paleozoyiktir. Birim, çalışma alanının doğusunda yüzeylenmektedir. Birim, birbirleriyle değişik oranlarda ardalanmalı pelitik, psammitik ve magmatik kökenli kayaların metamorfizması ile oluşmuştur. Doku, yapı ve mineral bileşimine göre gri, kahverengimsi gri, yeşilimsi gri ve kahverengi renklerde gözlenmektedir. Kırşehir Masifi içerisinde ayırtlanabilen mermer ve rekristalize kireçtaşları Seymen (1982) tarafından Bozçaldağ Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim, çalışma alanının doğu kesiminde, Poğrazlı'nın kuzeybatısında ve Eğlence'nin güneyinde dar alanlarda yüzeylenmektedir. Birim, beyaz- açık gri renkli, çoğunlukla iri kalsit kristalli, orta-kalın katmanlı ve masif mermerlerden oluşmaktadır. Toroslarla denestirilerek birime Geç Paleozoyik-Mezozoyik yaşı verilmiştir (Kara, 1997).

Kara (1991) tarafından adlandırılan ve kireçtaşlarından oluşan Dulkadirli kireçtaşı üyesi çalışma alanında Armağan'ın doğusunda ve Güzelli civarında dar alanlarda yüzeylenmektedir. Birim Çevirme Formasyonunun üyesi olarak tanımlanmış olup formasyonun üst düzeylerinde, önce çamurtaşlarıyla orta-kalın katmanlı ara katkılar şeklinde, daha üst seviyelerde ise masif ve orta-kalın katmanlı daha geniş yayımlı yüzeylenmeler şeklinde gözlenmektedir. Kireçtaşları, beyaz, bej ve gri renklerde olup bol nummulitlidir. Karbonatlar çamur-vake-istiftane-bağlamtaşı veya biyomikrit-biyosparit özelliktedir. Dulkadirli kireçtaşları uzun boyutta kıyıya paralel uzanımlı kısa boyutta ise havza içine doğru kamalanmalı yapıda, sığ deniz ve resifal koşullarda gelişmiştir. Kalınlık 5-50 metre arasındadır. Dulkadirli kireçtaşının yaşı bünyesinde bulunan fosil içeriklerine göre Orta-Geç Eosen olarak saptanmıştır (Kara, 1997). Çalışma alanında Gövdecili ve Yaras köyleri civarında dar alanlarda gözlenen volkanit birimler Çevirme formasyonu'nun üyesi olarak ayırtlanmıştır. Yeşil, koyu yeşil, siyahımsı renkli, amogdoidal yapılı olivin bazalt ve aglomeralardan oluşan bu volkanikler Kara (1997) tarafından Alimpınar Volkanit Üyesi olarak adlandırılmıştır. Birimin yaşı Çevirme Formasyonu ve Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi ile olan ilişkisi gözönüne alındığında Orta-Geç Eosen'dir (Kara, 1997).

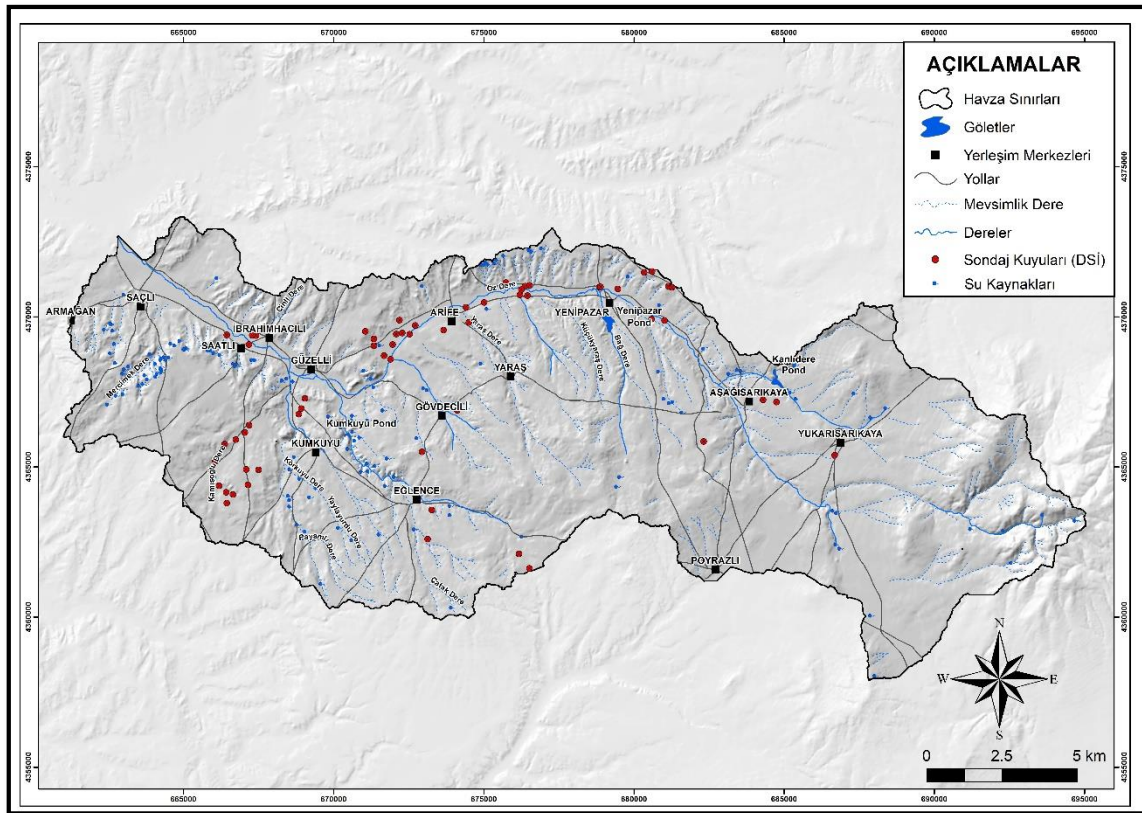
Çalışma alanının genelinde oldukça geniş yayılıma sahip olan ve genelde kızıl çamurtaşlarından oluşan Kızılırmak formasyonu, Bilgili vd., (1975) tarafından adlandırılmıştır. Kızılırmak formasyonu, kırmızı kahve, kahve ve gri renkli, katmansız, gevşek, çakıllı, kumlu, yer yer karbonat nodüllü, tuf, kireçtaşı, kumtaşı ve çakıltaşı bant ve

mercekleri içeren çamurtaşlarından meydana gelmiştir. Alt dokanağı daha yaşlı birimlerle uyumsuz olan Kızılırmak formasyonunun kalınlığı 150 metre kadardır. Sığ göl, akarsu ve yamaç molozu fasiyeslerinde gelişen birimin yaşı Üst Miyosen-Pliyosen olarak belirlenmiştir (Kara, 1997). Çalışma alanının batısında çok dar bir alanda mostra veren ve beyaz-bej renkli, masif, çok sert, yer yer mikritik yer yer kırıntılı, killi, boşluklu kireçtaşı düzeyleri Kara ve Dönmez (1990) tarafından Kozaklı kireçtaşı üyesi olarak adlandırılmıştır. Birimin kalınlığı yer yer 1-8 m arasında değişmektedir. Birimin yaşı Üst Miyosen olarak verilmektedir (Kara, 1997). Çalışma alanındaki en genç oluşumlar olan alüvyon Özdere yatağı boyunca haritalanmış olup birim başlıca çakıl, kum ve kil gibi tutturulmamış malzemeden oluşmaktadır ve kendisinden önce oluşmuş tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir. Birimin yaşı Kuvaternerdir.

## 4.2. Hidrojeolojik Özellikler (Hydrogeological Properties)

### 4.2.1. Su Noktaları (Water Points)

Çalışma alanında bulunan mevsimlik ve sürekli dereler, kaynaklar, göl/göletler ve sondaj kuyuları gibi tüm su noktalarını ayrıntılı olarak gösteren harita Şekil 3'de sunulmuştur. Bölgede en önemli ve sürekli akış gösteren yüzeysuyu doğu batı yönünde akan Özdere'dir. Özdere'yi İbrahimhacılı bölgesinden mevsimlik bir dere olan Cinli dere beslemektedir. Güney kesimden ise Mercimek dere, Kamışoğlu dere, Körkuyu dere, Payamlı dere, Yaylayurdu dere, Çatak dere, Yaraş dere, Küçükbaraş dere ve Bağdere gibi birçok mevsimlik dere Özdere'ye karışmaktadır. Çalışma alanında farklı litolojik birimlerden boşalan birçok kaynak haritalanmış ve Şekil 3'de verilmiştir. Bölgedeki kaynakların birçoğu düşük debili olup litolojik birimlerin kırık çatlaklarından boşalmaktadır. Aynı zamanda dokanak kaynağı özelliğinde olan kaynak boşalmaları da mevcuttur. Çalışma alanı içerisinde Kumkuyu Göleti, Yanıpazar Göleti ve Kanlıdere Göleti olmak üzere 3 adet gölet bulunmaktadır. Ruhsat sahasına en yakın gölet Kumkuyu göleti olup gölet Şefaattli ilçesine bağlı Kumkuyu Köyünün yaklaşık 1.5 km kuzeydoğusunda Kızılırmak Nehrinin ana kollarından olan Delice Irmağına mansaplanan Özderenin, Bağlar Deresi kolu üzerindedir.

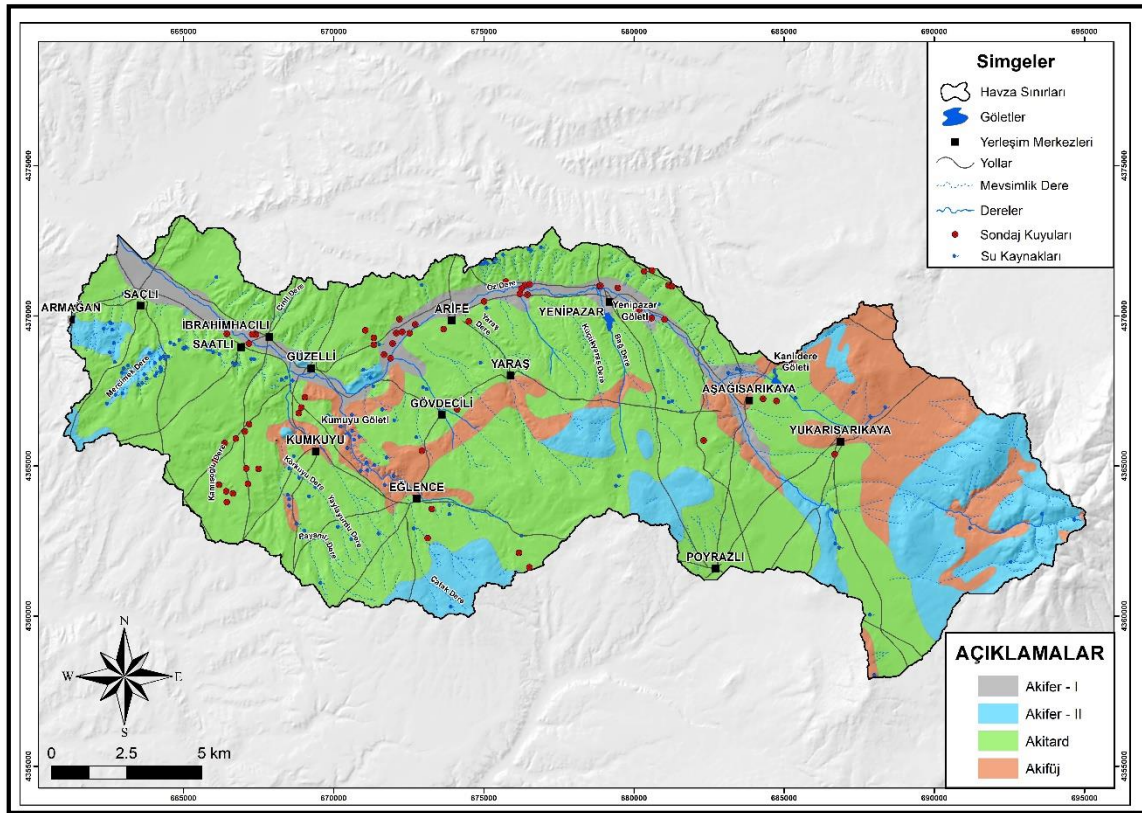


Şekil 3. Çalışma alanının su noktaları haritası (Water points map of the study area)

### 4.2.2. Litolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri (Hydrogeological properties of Lithological Units)

Çalışma alanında bulunan jeolojik birimler fiziksel ve hidrojeolojik özellikleri ile akifer olabilme potansiyelleri bakımından Akifer-1, Akifer-2, Akitard ve Aküfj olmak üzere dört ayrı grupta incelenmiştir. Bölgenin hidrojeoloji haritası yapılan hidrojeolojik sınıflamaya dayanarak hazırlanmış ve Şekil 4'de verilmiştir. Çalışma alanında, Özdere dere yatağı boyunca gözlenen ve genel olarak tutturulmamış birimlerden oluşan alüvyon gözenekli yapısı

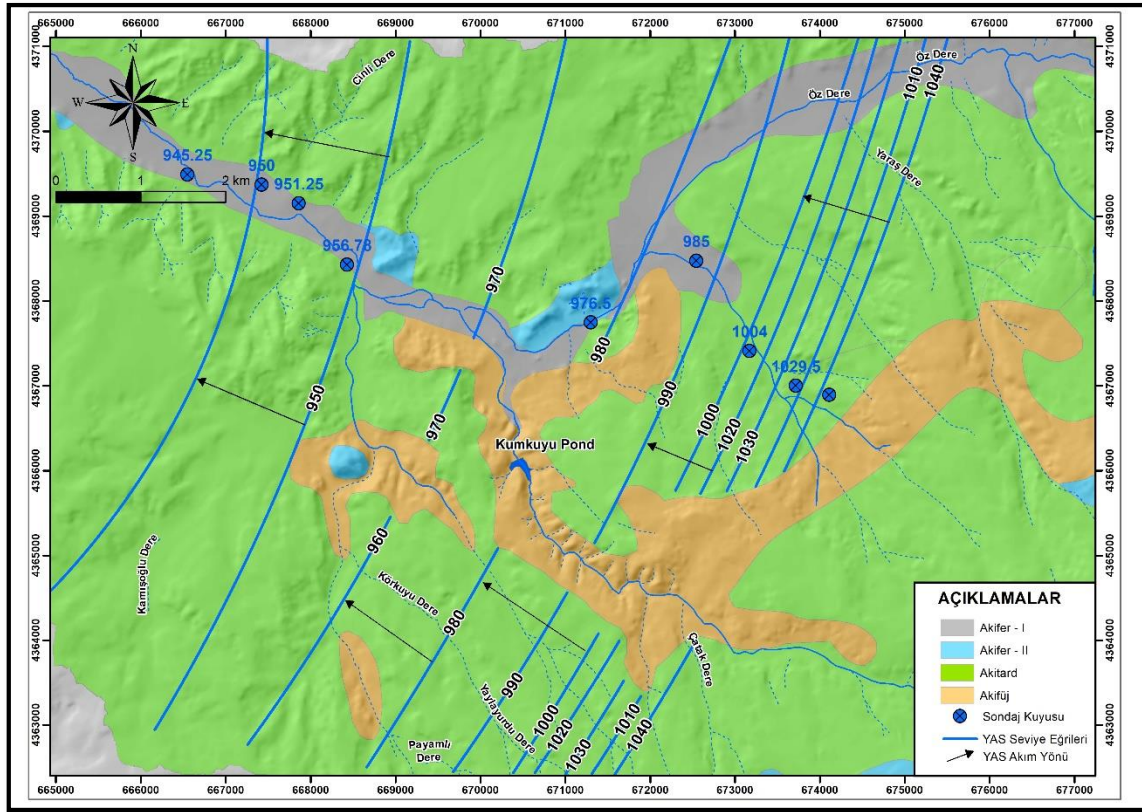
nedeniyle Akifer-1 olarak sınıflandırılmıştır. Ancak, çalışma alanında alüvyon birimin yayılımı sadece dere boyunca çok dar alanda gözlenmekte olup verimli akifer özelliği taşımamaktadır. Çalışma alanında yüzeyleyen Bozçaldağ kireçtaşı, Dulkadirli kireçtaşı üyesi ve Kozaklı kireçtaşı üyesi Erimeleli Çatlaklı Kaya Ortam Akiferi özelliğinde olup Akifer-2 olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanında yüzeyleyen Alimpınar volkanit üyesi tuf ve aglomeralardan oluşmaktadır. Bu litolojiler, geçirimli özelliğe sahip olmakla birlikte kısıtlı yayılımları nedeniyle akifer özelliği göstermezler. Ancak, bu birimlerden lokal olarak mevsimlik kaynak boşalımları gözlenmektedir. Çalışma alanında geniş bir alanda mostra veren Kızılırmak formasyonu çakıllı, kumlu, yer yer karbonat nodüllü, tuf, kireçtaşı, kumtaşı ve çakıltası bant ve mercekleri içeren çamurtaşı seviyeleri içermektedir. Bu birimin özellikle kumtaşı-konglomera seviyeleri yeraltısuyu bulundurabilirler. Çamurtaşı seviyeleri ise yeraltısuyu hareketini kısıtlamaktadır. Bu nedenle sözkonusu birimler yarı geçirimli birim olan Akitard birimler olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanında bünyesindeki suyu iletemeyen ve az geçirimli/geçirimsiz özelliğe sahip Gümüşler formasyonu ve Kalkanlıdağ formasyonu Akifüj ortam olarak tanımlanmıştır. Sözkonusu birimler içerisinde hakim olarak bulunan metamorfik birimler olan gnays, kuvarsfeldispatik şistler, mikaşistler vb. bünyelerinde yeraltısuyu bulundurmazlar. Ancak, bu birimler içerisinde kısıtlı olarak bulunan mermer seviyeleri az geçirimli özellik sunabilirler.



Şekil 4. Çalışma alanının hidrojeoloji haritası (Hydrogeology map of the study area)

#### 4.2.3. Yeraltısuyu Dinamiği (Groundwater Dynamics)

Çalışma alanında yeraltısuyu dinamiğini ortaya koymak amacıyla bölgede bulunan sondaj kuyularında Mayıs-2019 döneminde yapılan yeraltısuyu seviye ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Ölçüm yapılan sondaj kuyular alüvyon ve Kızılırmak formasyonu üzerinde açılmış olup bölgede yeraltısuyu derinlikleri 3,22 m ile 20 m arasında değişmektedir. Yeraltısuyu derinliklerine bağlı olarak hesaplanan yeraltısuyu seviye değerleri ise 945,25 m ile 1045,05 m arasındadır. Şekil 5'de verilen yeraltısuyu seviye haritasına göre, bölgede yeraltısuyu yüzeyi düzgün bir morfolojiye sahiptir. Seviye eğrilerinin birbirine paralel ve düzgün gidişli olduğu görülmektedir. Ayrıca, Kumkuyu göletinin doğusunda, Kızılırmak formasyonu üzerinde açılmış kuyuların bulunduğu alanlarda sık seviye eğrileri, göletin batısında, alüvyon ortamda açılmış kuyuların bulunduğu alanda ise seyrek seviye eğrileri gözlenmektedir. Sık seviye eğrileri akifer ortamın düşük permeabiliteye ve yüksek hidrolik eğime sahip olduğunu göstermektedir. Seyrek seviye eğrilerinin gözlemlendiği alanlarda ise permeabilite değerleri daha yüksek ve hidrolik eğim düşüktür. Çalışma alanındaki yeraltısuyu akım yönü, güneydoğudan kuzeybatıya doğrudur (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışma alanının yeraltısu seviye haritası (Groundwater level map of the study area)

### 4.3. Hidrojeokimyasal Özellikler (Hydrogeochemical Properties)

Çalışma alanında yüzey ve yeraltısu seviyelerinin hidrojeokimyasal özelliklerinin, kalitesinin, kullanım özelliklerinin değerlendirilmesi için belirlenen lokasyonlardan Mayıs-2019 döneminde yüzey (B1, B2, B3, B4) ve yeraltısu seviyelerinden (A1, A2, A3, A4, A5, A6) örneklemeler yapılmıştır. Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 2 ve 3'te verilmiştir. Suların kimyasal özelliklerini belirlemede alınan su numunelerinin kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılmıştır. Kimyasal analizlerde; katyonlar ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), anyonlar ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{CO}_3^{--}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ), hidrojen iyon konsantrasyonu (pH) ve özgül elektriksel iletkenlik (EC) gibi kimyasal özellikler değerlendirilmiştir. Çalışma alanında alınan su örneklerinin pH değerleri 7,6 ile 8,4 arasında değişmekte olup sular bazik karakterlidir. Su içerisindeki iyonların varlığı ve miktarı ile sıcaklık elektriksel iletkenlik değerlerini doğrudan etkileyen faktörlerdir (Şahinci, 1991). Çalışma alanındaki su numunelerinin özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 576-2370  $\mu\text{mho}/\text{cm}$  arasında değişmektedir. A1 ve B2 nolu su örneklerinin iyon ve kirlilik yükünün yüksek olması sebebiyle çok yüksek EC değerine sahip olduğu görülmektedir.

Çalışma alanından alınan su örneklerinin hidrojeokimyasal fasiyelerinin belirlenebilmesi için majör iyon içerikleri Piper diyagramı üzerinde yorumlanmıştır (Şekil 6). Buna göre su örnekleri Na-Ca- $\text{HCO}_3$ , Ca-Mg- $\text{HCO}_3$  ve Ca-Mg- $\text{HCO}_3$ - $\text{SO}_4$ 'lı sular fasiyesindedir. Çalışma alanındaki su kaynakları genel olarak kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşı gibi sedimanter kayalar ve yer yer volkanik kayalar ile etkileşim halindedir ve baskın su tiplerinin söz konusu kayalar ile su etkileşimi sonucunda geliştiği görülmektedir. Şekil 7'de verilen Schoeller yarı logaritmik diyagramına göre ise tüm sular Na ve Ca iyonlarının baskın katyonlar;  $\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{SO}_4^{--}$  iyonlarının ise baskın anyonlar olduğu görülmektedir.

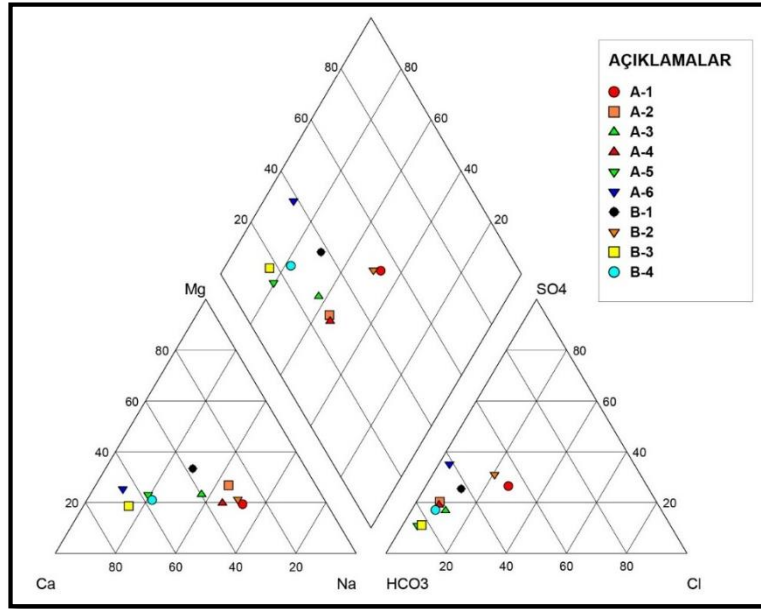


**Tablo 2.** Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları (Chemical analysis results of water samples)

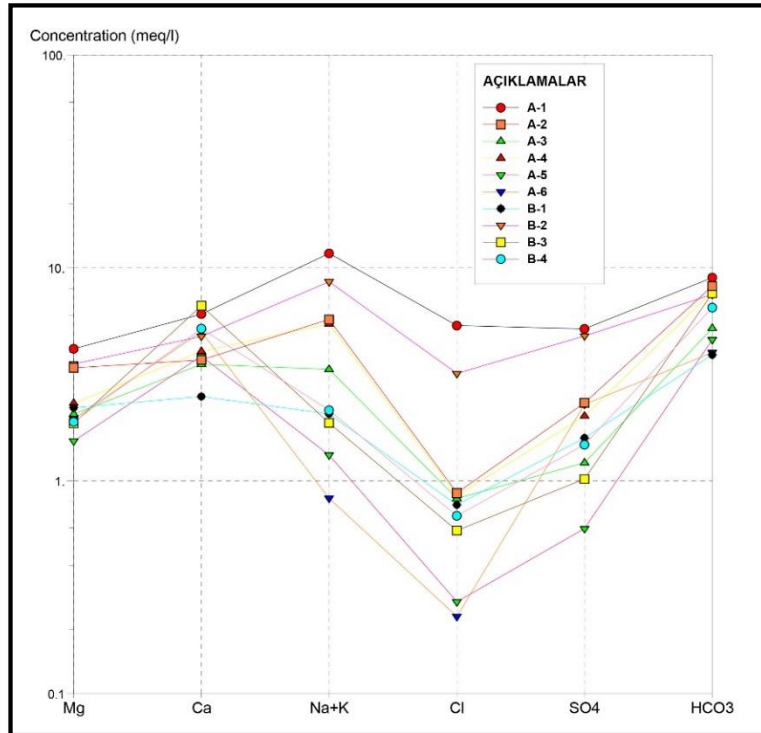
No	Su Tipi	x	y	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	EC µmho/cm	pH	Sıcaklık (°C)
A-1	Yeraltısuyu	667864,00	4369150,00	121,50	50,61	261,12	12,96	189,82	248,03	549,00	64,27	1752	8,40	15,20
A-2	Yeraltısuyu	666550,00	4369489,00	73,94	41,24	129,23	4,08	31,02	111,39	500,20	39,22	927	8,10	14,90
A-3	Yeraltısuyu	668141,00	4368578,00	70,55	24,97	75,33	2,24	29,23	58,27	317,20	64,25	736	7,80	16,10
A-4	Yeraltısuyu	671297,00	4367773,00	81,16	28,10	122,94	4,27	30,19	96,66	469,70	21,96	840	8,00	15,50
A-5	Yeraltısuyu	673507,00	4366748,00	77,20	18,65	29,67	1,11	9,55	28,59	280,60	53,39	802	7,90	16,20
A-6	Yeraltısuyu	673074,00	4365501,00	100,51	23,71	17,48	2,59	8,15	109,68	244,00	71,17	943	7,70	15,90
B-1	Yüzey suyu	665192,00	4370671,00	49,83	26,75	44,12	5,53	27,28	76,27	237,90	4,16	576	7,60	17,30
B-2	Yüzey suyu	669408,00	4368158,00	95,57	42,91	191,30	11,06	113,03	229,83	457,50	1,45	2370	8,10	16,90
B-3	Yüzey suyu	671916,00	4364598,00	132,97	22,61	34,72	13,89	20,67	48,89	463,60	33,88	868	8,20	17,10
B-4	Yüzey suyu	670341,00	4365965,00	103,77	22,97	45,10	7,11	24,24	70,85	396,50	6,44	795	8,10	17,50

**Tablo 3.** Su örneklerinin ağır metal analiz sonuçları (Heavy metal analysis results of water samples)

No	Su Tipi	x	y	Al (µg/l)	Mn (µg/l)	Cu (µg/l)	Zn (µg/l)	Pb (µg/l)	As (µg/l)	Fe (µg/l)	Cr (µg/l)	Ni (µg/l)
A-1	Yeraltısuyu	667864,00	4369150,00	33,00	3,50	3,00	8,80	<0.2	<b>16,00</b>	<10	10,40	<0.2
A-2	Yeraltısuyu	666550,00	4369489,00	<b>118,00</b>	2,28	2,00	1,30	<0.2	7,30	<10	6,70	<0.2
A-3	Yeraltısuyu	668141,00	4368578,00	<1	<0.05	0,80	0,50	<0.2	<b>13,10</b>	<10	8,40	<0.2
A-4	Yeraltısuyu	671297,00	4367773,00	9,00	2,42	7,40	7,40	0,60	<b>26,20</b>	<10	7,80	<0.2
A-5	Yeraltısuyu	673507,00	4366748,00	1,00	<0.05	1,10	0,70	<0.2	<b>32,30</b>	<10	3,00	<0.2
A-6	Yeraltısuyu	673074,00	4365501,00	<1	<0.05	11,20	96,80	0,40	9,00	<10	1,50	1,10
B-1	Yüzey suyu	665192,00	4370671,00	123,00	21,99	2,40	3,80	0,20	7,90	14,00	2,70	1,30
B-2	Yüzey suyu	669408,00	4368158,00	<b>367,00</b>	<b>513,24</b>	2,20	4,00	0,40	<b>26,50</b>	<b>206,00</b>	7,20	0,70
B-3	Yüzey suyu	671916,00	4364598,00	101,00	8,69	1,50	1,90	<0.2	<b>47,30</b>	<10	6,20	<0.2
B-4	Yüzey suyu	670341,00	4365965,00	35,00	45,89	1,90	1,20	<0.2	<b>19,40</b>	<10	4,70	<0.2
<b>TS266 (2005) mg/l</b>				<b>0,2</b>	<b>0,05</b>	<b>2</b>	-	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,2</b>	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>
<b>WHO (2008) mg/l</b>					<b>0.4</b>	<b>2</b>	-	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	-	<b>0.05</b>	<b>0.07</b>

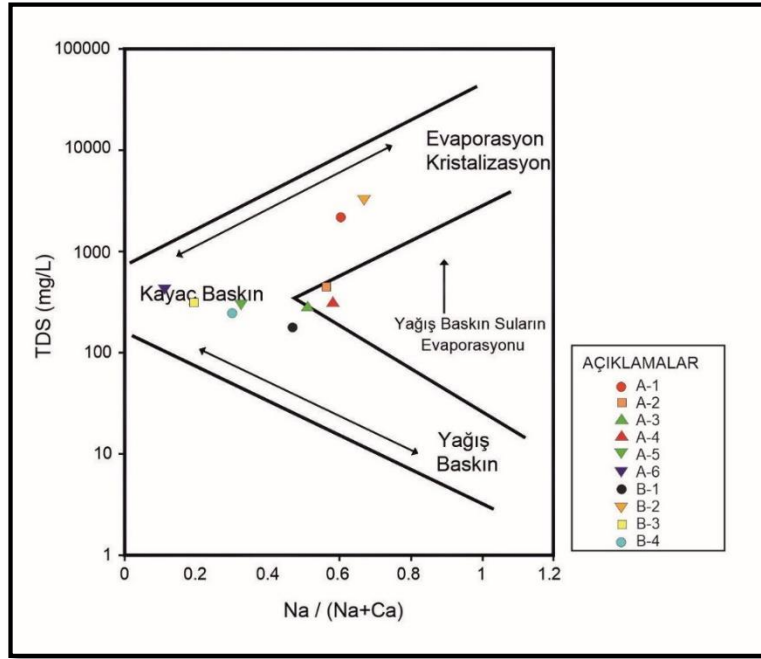


Şekil 6. Piper diyagramı (Piper diagram)



Şekil 7. Schoeller yarı logaritmik diyagramı (Schoeller semi-logarithmic diagram)

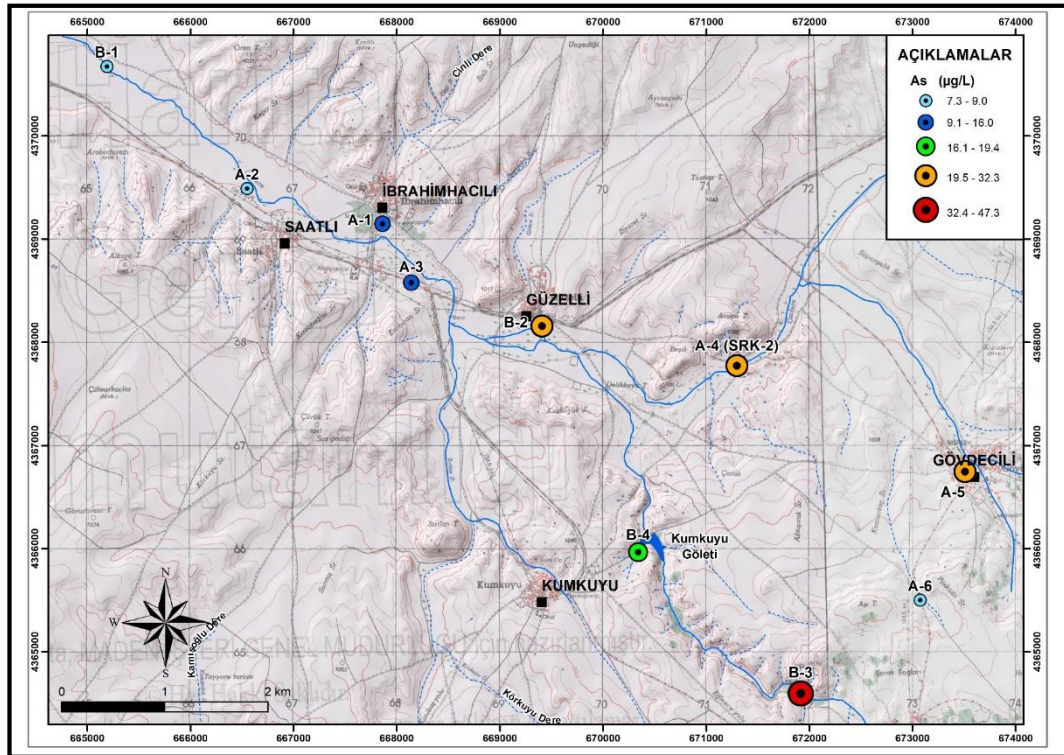
Bölgeden alınan su örneklerinin su tipinin hangi proses veya mekanizma sonucu değiştiğini belirlemek için alınan su numunelerinin iyonik oranları Gibbs Diyagramı üzerine yerleştirilmiştir. Gibbs Diyagramına yerleştirilen, su numunelerinin bir kısmı “Kayaç Baskın” alanına düşmektedir (Şekil 8). Bu örneklerde su kimyasını kontrol eden ana mekanizma, kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması olduğu görülmektedir. Bazı su örnekleri ise su tipinin şekillenmesinde “yağış sularının etkin olduğu suların evaporasyonu” ve “evaporasyon-kristalizasyon” bölgelerine düşmektedir.



Şekil 8. Gibbs diyaqramı (Gibbs diagram)

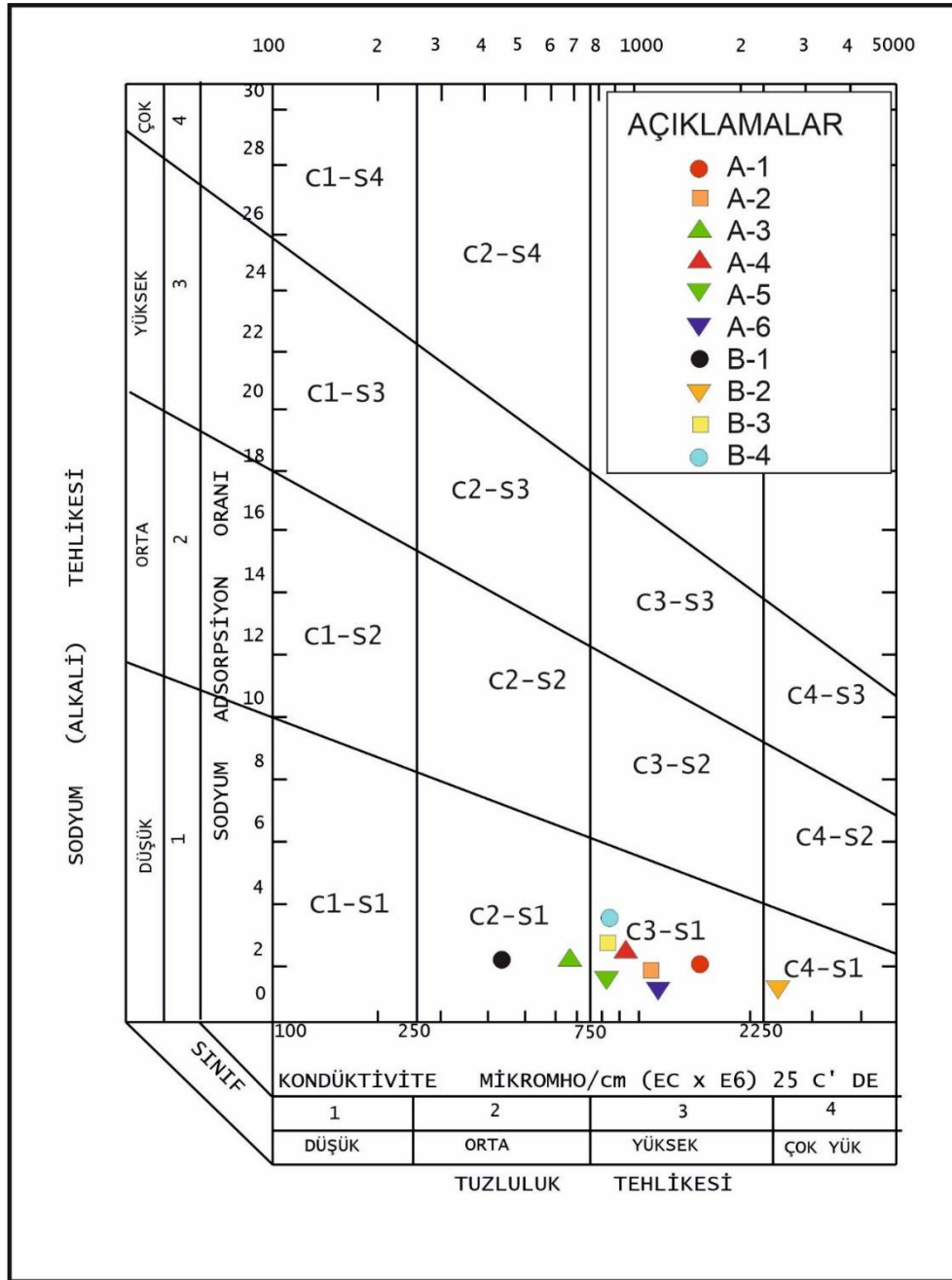
#### 4.3.1. Suların Kullanım Ve Kalite Özellikleri (Usage and Quality Properties of Water)

Çalışma alanından alınan su örneklerinin kullanım özelliklerini değerlendirilmesinde öncelikle analiz sonuçları TSE-266 (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2008) tarafından belirtilen içme suyu limit değerleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, B2 nolu yüzeysuyu örneği Al, Fe, Mn, ve As bakımından; A1 nolu yeraltısuyu örneği Na, As ve  $\text{NO}_3$  bakımından içme suyu limit değerlerin üzerindedir. Ayrıca, A3, A4, A5, B3, ve B4 nolu su örneklerinin As değerleri ve A3, A5, ve A6 nolu su örneklerinin  $\text{NO}_3$  değerleri limit değerlerin üzerinde ölçülmüş olup içme suyu olarak kullanıma uygun değildir. Su örneklerinin As konsantrasyonlarının dağılım haritası Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Su örneklerinin As dağılım haritası (As distribution map of water samples)

Suların sulamada kullanılabilirliğini belirleyebilmek için su örneklerinin Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) ve EC değerleri kullanılarak ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı hazırlanmıştır (Şekil 10). Çalışma bölgesinden alınan su numunelerinden B1 ve A3 nolu örnekler C2S1 sınıfında; B2 nolu su örneği C4S1 sınıfında olup, diğer numuneler ise C3S1 sınıfında olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre sular genel olarak fazla tuzlu az sodyumlu sular özelliğindedir.

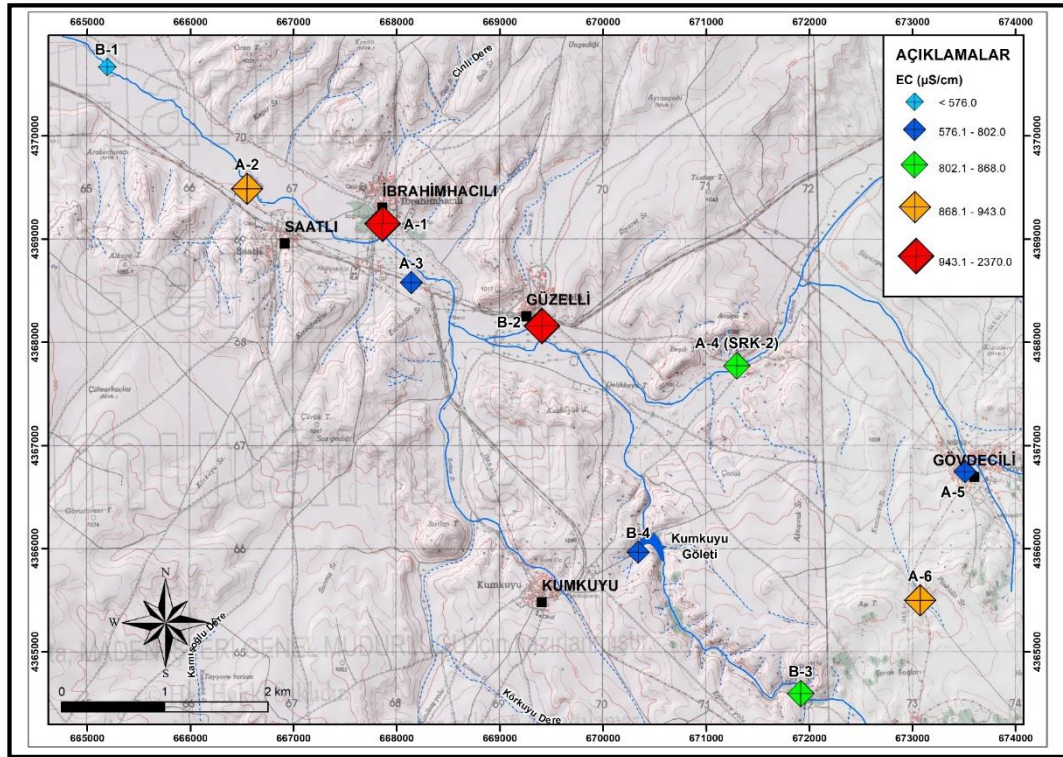


Şekil 10. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (Salinity Laboratory Diagram)

Sulama sularının kalitesinin belirlenmesinde, suların içerisindeki çözünebilir tuzların toplam konsantrasyonları dikkate alınarak sular özgül elektriksel iletkenliği (EC) açısından sınıflandırılmıştır. Suların toplam tuz içeriğine göre sınıflaması aşağıdaki Tablo 3'de verilmiştir. Su numunelerinin EC değerleri 576-2370 µmho/cm arasında değişmektedir. Buna göre su numunelerinden B1 ve A3 nolu örnekler "orta tuzlu sular" sınıfında; B2 nolu su örneği "çok yüksek tuzlu sular" sınıfında olup, diğer numuneler ise "yüksek tuzlu sular" sınıfında olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerlendirmeye göre sular genel olarak tuza dayanıklı bitki yetiştirmede kullanılabilir özelliktedir. Su örneklerinin EC konsantrasyonlarının dağılım haritası Şekil 11'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Suların toplam tuz içeriğine göre sınıflaması (Classification of waters according to total salt content) (Ayers ve Westcot 1989)

Sınıf	EC	Açıklama
Düşük Tuzlu Sular	< 250	Sulamada kullanılmaya en uygun sular
Orta Tuzlu Sular	250-750	Yıkama ile sulamada kullanılabilir
Yüksek Tuzlu Sular	750-2250	Tuza dayanıklı bitki yetiştirmede kullanılabilir
Çok yüksek Tuzlu Sular	>2250	Sulamada kullanılamaz

**Şekil 11.** Su örneklerinin EC dağılım haritası (EC distribution map of water samples)

30.11.2012 tarih ve 28483 sayılı resmi gazetede yayınlanan ve 10.8.2016 tarih ve 29797 sayılı resmi gazetede değişikliği yapılan "Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği" ne göre çalışma alanındaki yüzey suları EC bakımından II. ve III. su kalite sınıfında;  $\text{NH}_4$  bakımından I. Su kalite sınıfında,  $\text{NO}_3$  bakımından ise genel olarak I. ve II. su kalite sınıfında iken B4 nolu su örneği IV. Su kalite sınıfında yer almaktadır. Flor parametresi bakımından B3 ve B4 nolu su örnekleri I. Su kalite sınıfında, B2 nolu su örneği II. su kalite sınıfında, B1 nolu su örneği ise IV. Su kalite sınıfındadır. Mn parametresi bakımından B2 nolu su örneği III. su kalite sınıfında iken diğer tüm örnekler I. Su kalite sınıfındadır.

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışma alanında bulunan jeolojik birimler fiziksel ve hidrojeolojik özellikleri ile akifer olabilme potansiyelleri bakımından Alüvyon birim Akifer-1, Bozçaldağ kireçtaşı, Dulkadirli kireçtaşı üyesi ve Kozaklı kireçtaşı üyesi Erimeli Çatlaklı Kaya Ortam Akiferi özelliğinde olup Akifer-2, Alımpınar volkanit üyesi ve Kızılırmak formasyonu akitard, Gümüşler formasyonu ve Kalkanlıdağ formasyonu ise akifüj ortam olarak ayırtlanmıştır. Bölgede yeraltı suyu derinlikleri 3,22 m ile 20 m arasında değişmektedir. Yeraltı suyu derinliklerine bağlı olarak hesaplanan yeraltı suyu seviye değerleri 945,25 m ile 1045,05 m arasında olup yeraltı suyu akımı güneydoğudan kuzeybatıya doğrudur. Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltı suyu örnekleri Na-Ca-HCO<sub>3</sub>, Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> tip sular fasiyesinde yer almaktadırlar. Su örneklerinin bir kısmında su kimyasını kontrol eden ana mekanizma, kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması olduğu görülmektedir. Bazı su örnekleri ise su tipinin şekillenmesinde "yağış sularının etkin olduğu suların evaporasyonu" ve "evaporasyon-kristalizasyon" bölgelerine düşmektedir. TSE-266 (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2008) tarafından belirtilen içme suyu limit değerlerine göre, B2 nolu yüzey suyu örneği Al, Fe, Mn, ve As bakımından; A1 nolu yeraltı suyu örneği Na, As ve  $\text{NO}_3$  bakımından içme

suju limit değerlerin üzerindedir. Ayrıca A3, A4, A5, B3, ve B4 nolu su örneklerinin As değerleri ve A3, A5, ve A6 nolu su örneklerinin NO<sub>3</sub> değerleri limit değerlerin üzerinde ölçülmüş olup içme suyu olarak kullanıma uygun değildir. Ayrıca sular genel olarak tuza dayanıklı bitki yetiştirmede kullanılabilir özelliktedir.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar (References)

- Aghazadeh, N., Mogaddam, A.A. 2011. Investigation of hydrochemical characteristics of groundwater in the Harzandat aquifer, Northwest of Iran, Environmental Monitoring Assessment, 176-183.
- Akın, A. 2016. Yozgat İlinin Jeotermal Kaynakları ve Özellikleri. Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, 37: 100-112.
- Amini, M., Mueller, K., Abbaspour, K.C., Rosenberg, T., Afyuni, M., Moller, K.N., Sarr, M., Johnson, C.A. 2008. Statistical modelling of global geogenic fluoride contamination in groundwater, Environmental Science Technology, Vol. 42: 3667-3668.
- Ayers, R.S., Westcot, D.W. 1989. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage, 29 Rev. 1, ISBN 92-5-102263-1.
- Babiker S.I., Mohamed A.A. & Mohamed T.H. 2007. Assessing groundwater quality using GIS. Water Resources Management, 21: 699-715.
- Birgili, A.Z., Yoldaş, R., Ünalın, G. 1975. Çankırı-Çorum havzasının jeolojisi ve petrol olanakları, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No:562, Ankara (yayınlanmamış)
- Göncüoğlu, M.C. 1977. Geologic des Westhichen Niğde massivs, Bonn University, Doktora Tezi, 181.
- Hem, J.D. 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, 3rd edn. U.S. Geological Survey Water Supply Paper, 2254: 263
- Kara, H., Dönmez, M. 1990. 1/100,000 Ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kırşehir-G17 paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Kara, H. 1991. 1/100,000 Ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kırşehir-G18 paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Kara, H. 1997. 1/100,000 Ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Yozgat-G19 paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Kervankıran, İ., Kılıç, M. 2014. Yozgat İli'nde Jeotermal Kaynakların Kullanımı ve Turizm Açısından Önemi. Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi, Muğla.
- Kolay, E., Koçak, İ., Temiz, U. 2017. Jeotermal sahalarda karşılaşılan sorunlara Yozgat'tan örnekler. II. Uluslararası Bozok Sempozyumu, Bildiri Kitabı, 04-06 MAYIS 2017, 51.
- Kumar, M., Kumari, K., Singh, U.K., Ramanathan, A.L. 2009. Hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Muktsar, Punjab: conventional graphical and multivariate statistical approach. Environ Geol 57:873-884.
- Piper, A.M. 1944. A Graphic Procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses, American Geophysical Union Transactions 25: 914-923.
- Seymen, İ. 1982. Kaman dolayında Kırşehir masifinin jeolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Doçentlik Tezi, 164s, İstanbul (yayınlanmamış)
- Su, C., Wang, Y., Pan, Y. 2013. Hydrogeochemical and isotopic evidences of the groundwater regime in Datong Basin, Northern China. Environmental Earth Sciences, 70(2): 877-885.
- Subramani, T., Elango, L., Damodarasamy, S.R. 2005. Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Chithar River Basin, Tamil Nadu, India. Environ Geol 47:1099-1110
- Subramani, T., Rajmohan, N., Elango, L. 2010. Groundwater geochemistry and identification of hydrogeochemical processes in a hard rock region, Southern India. Environmental Monitoring and Assessment, 162(1-4): 123-137.
- Şahinci, A. 1991. Doğal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası, 548 s, İzmir.
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A. 2017. Assessment of groundwater quality and health risk in drinking water basin using GIS. Journal of Water and Health, 15(1): 112-132.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, 2012. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 30.11.2012 tarih ve 28483 sayılı resmi gazete, (Değişik: RG-10/8/2016-29797), Ankara
- TS-266, 2005. Sular - İnsani tüketim amaçlı sular, TS-266, Türk Standartları Enstitüsü, 25 s, Ankara.
- WHO 2008. World Health Organisation Guidelines for Drinking-water Quality, Third Edition Incorporating The First and Second Addenda, WHO Publication, Geneva, 668 p. 2008.
- WHO 2011. Guidelines for Drinking Water Quality, 4th ed., World Health Organisation, Geneva.
- Varol, S., Davraz, A. 2015. Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). Environmental Earth Sciences, 73: 1725-1744.



## TÜRKİYE'DE YAŞANAN KIYI KENAR ÇİZGİSİ-MÜLKİYET SORUNLARININ ÖRNEK OLAYLARLA DEĞERLENDİRİLMESİ

Halil Burak AKDENİZ, Şaban İNAM\*

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Kıyı Alanları,  
Kıyı Kenar Çizgisi,  
Mülkiyet Hakkı,  
Kıyı Yönetimi.*

### Öz

Deniz, göl ve akarsu kıyıları; sahip oldukları doğal, sosyal, kültürel ve ekonomik potansiyeller ile bugüne kadar yaşayan tüm toplumlar için talep edilen alanlar olmuştur. Böylesine ilgi odağında olan kıyılar, sunduğu olanaklar nedeniyle sürekli toplumsal baskı altındadır. Kıyı alanlarının kullanımı ve planlamasında sürdürülebilirliğe yönelik kurumsal çalışmalar, üç tarafı denizlerle çevrili olan, zengin göl ve akarsu yataklarına sahip Türkiye için büyük önem arz etmektedir. Ancak, bir taraftan yürürlükte olan kıyı mevzuatındaki yetersizlikler ve sıkça yapılan değişiklikler, diğer taraftan idari denetim ve hukuki yaptırımlardaki yetersizlikler, yaşanan sorunların başlıca kaynağını oluşturmaktadır. Bu sebeple, kıyı yönetiminde 'karar alma, planlama yapma ve uygulamaya koyma' konusunda kıyı alanlarının iyi yönetildiğini söylemek zordur. Türkiye'de mülkiyet hukuku yönünden kıyılar; Türkiye Cumhuriyeti Anayasası'nın 43. maddesi ve Türk Medeni Kanunu'nun 715. maddesine göre 'devletin hüküm ve tasarrufu altındaki' yerlerdendir. Böylesi alanların belirli bir zümre veya kişi mülkiyetine konu olması mümkün değildir. Kıyıların, toplumun her kesimi için eşit, karşılıksız ve serbestçe yararlanmasına ayrılan ortak kullanım alanları olması gerekmektedir. Ancak bu durum, geçmişte hukuka uygun olarak kazanılmış kıyı alanlarındaki taşınmazlara ait tapuların, daha sonra kamu yararı sağlamak amacıyla yargıya konu edilmesi ile fiili kullanımda hala önemli bir mülkiyet sorunu olmaya devam etmekte ve yargıyı meşgul etmektedir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye coğrafyasından farklı örnekler eşliğinde ekolojik, ekonomik ve toplumsal değerlere sahip deniz, göl ve akarsu kıyılarında yaşanan kıyı kenar çizgisi-mülkiyet sorunlarını ortaya koyup, çözüm önerileri geliştirmektir.

## SHORE EDGE LINE & OWNERSHIP PROBLEMS IN TURKEY: CASE STUDIES EVALUATION

### Keywords

*Coastal Areas,  
Shore Edge Line,  
Property Right,  
Coastal Management.*

### Abstract

Sea, lake and stream shores; with their natural, social, cultural and economic potentials, they have been demanded areas for all societies living so far. Coasts that are such a focus of attention, are constantly under social pressure due to the opportunities they offer. Turkey have substantial sea, lakes and rivers beds, is of great importance for studies on the use and planning of coastal areas. However, on the one hand, the inadequacies and frequent changes in the current coastal legislation, on the other hand, the inadequacies in administrative supervise and legal sanction constitute the main source of the problems. For this reason, it is difficult to say that coastal areas are managed in 'decision making, planning and implementation' well. Coasts in terms of ownership law in Turkey; by Article 43 of the Constitution of the Republic of Turkey and by the Turkish Civil Code Article 715. 'fully owned by the state' is one of the places. It is not possible for the coasts to be the property of a certain coterie or private ownership. Coasts should be common areas use of all segments of society equally and freely, but this situation couldn't realize in actual use. The purpose of study, Turkey's different ecological, economic and social value the sea, lake and river coasts put forth shore edge line-ownership problem and is to develop analytical advice.

\* İlgili yazar / Corresponding author: sinam@ktun.edu.tr, +90-332-223-1675

**Alıntı / Cite**

Akdeniz, H.B., İnam, Ş., (2021). Türkiye’de Yaşanan Kıyı Kenar Çizgisi – Mülkiyet Sorunlarının Örnek Olaylarla Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 139-149.

**Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)**

H.B. Akdeniz, 0000-0002-9504-051X  
Ş. İnam, 0000-0002-9101-6109

**Makale Süreci / Article Process**

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	24.08.2020
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	11.01.2021
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	04.02.2021
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

**1. Giriş (Introduction)**

İnsanlığın yaşamında ilk sırada yer alan zorunlu ihtiyaçlarından birisi de sudur. Bu ihtiyacın temin isteğinden dolayı ilk yerleşim yerlerinin belirlenmesi su kaynaklarına göre şekillenmiştir. Kara ve denizin kesişim bölgesi olan kıyı alanları, zengin doğal kaynakları ve biyolojik çeşitliliği ile eski çağlardan beri dünyanın en yoğun ve en önemli kullanım alanları olmuştur (Gary ve Klee, 1999). ‘Medeniyetlerin Beşiği’ olarak adlandırılan Mezopotamya gibi kullanılabilir su kaynaklarının bulunduğu bölgeler (deniz, göl ve nehir kıyıları gibi) çoğunlukla yerleşimin odak noktalarını oluşturmuştur. Sadece su kaynağı olarak değil; besin ihtiyacının karşılanması, ulaşım ve savunmada kolaylık sağlaması, doğal güzellikleri ile sağlık, huzur ve rahatlatıcı etki oluşturması, kıyı alanlarını tercih etmede önemli etkenler olmuştur. Dünyada sanayi devrimi sonrasında yaşanan toplumsal gelişmeler, kıyı alanlarının ekonomik amaçlı kullanımını da şekillendirmiş; turizm, sanayi, ulaşım, konut, ticaret gibi toplumun tüm ihtiyaçlarına cevap veren etkinliklerin kıyı alanlarında yoğunlaşmasına neden olmuştur. Böylesi nedenlerle kıyı alanlarında yığılan nüfus, hızlı ve kontrolsüz bir toplumsal yaşam ve kentleşme sürecini başlatmıştır (Derici, 2018). Kıyı kullanımı birçok etkene bağlı olarak her geçen gün ihtiyaçlara cevap veremeyecek şekilde azalmakta, ve kullanımı sınırlanmaktadır (Şener vd., 2020). Doğal kaynakların yapay kullanımlara dönüştüğü bu süreç, kıyı alanlarının erozyona uğramasına yol açmış, insanın etkisiyle ortaya çıkan bu ikincil ekosistemler, birçok türün doğal dengesini etkilemiştir (Özçelik, 2017). Böylesi olumsuzlukların önüne geçilebilmesi için kıyı alanlarının koruma-kullanma dengesi içerisinde sürekliliğini sağlayacak planlamalar yaparak, koruma içerikli kurumsal politikalar geliştirilmesi gerekmektedir.

Dünya nüfusunun yaklaşık üçte ikisi yaşamını kıyı bölgelerinde sürdürmektedir (Agenda 21, 1992). Birleşmiş Milletler Örgütü’nün kestirimlerine göre 30 yıl içinde dünya nüfusunun dörtte üçü, yani yaklaşık 6.3 milyar kişinin kıyılarda yaşayacağı tahmin edilmektedir (Cicin-Sain ve Knecht, 1998). TÜİK verilerine göre Türkiye’de denize kıyısı olan 28 ilin nüfusu 2019 yılında 45.769.617 kişiye ulaşarak, 83.154.997 kişi olan ülke nüfusunun %55’ini oluşturmuştur. Bütün bu veriler değerlendirildiğinde, günümüzde gerek dünya gerekse Türkiye nüfusunun önemli bir kısmı kıyı alanlarında yaşamaktadır. Etkileşimi bu denli yüksek ama sınırlı bir kaynak olan kıyılarımız, yürürlükte olan TC Anayasası ve diğer yasal mevzuatlar ile hukuken koruma altına alınmıştır. Kıyı alanlarının, Anayasada öngörülen ‘kamu yararı’ amaçlı kullanıma açılması için önce kıyı, kıyı kenar çizgisi ve kıyı alanı kullanımının belirlenmesi; sonrasında Kıyı Alanları Yönetim Planı kapsamında sürdürülebilir kılınması gerekmektedir. Kıyı ve kıyı kenar çizgisinin (KKÇ) belirlenmesi, bu çalışmayı yapacak teknik komisyonun doğru bir şekilde önce tespit sonra da uygulama yapması ile mümkündür. Bu teknik çalışma, hem kıyıların (kıyı çizgisi, kıyı kenar çizgisi ve kıyı alanı olarak) belirlenmesi hem de kıyı ile özel ya da kamu mülkiyetinde bulunan yerlerin sınırlarını kayıt altına alması bakımından önemlidir. Dolayısıyla, kıyı kenar çizgisi - mülkiyet ilişkilerinin belirlenmesi için kıyı kenar çizgisinin bilimsel veri ve tekniklere göre belirlenmesi önem arz etmektedir (Solmaz, 2017).

Kıyı kullanımında öncelik, kamu yararının gözetilmesidir. Ancak, Türkiye’de kıyıların kamu yararına kullanımı konusunda yaşanan sorunlar vardır. Yaşanan süreçte;

- kıyı mevzuatının ilgili kişi ya da kurumların menfaatlerine göre yorumlanmasından kaynaklı kıyı yönetiminin yeterli düzeyde sağlanamaması;
- Türkiye’nin jeolojik olarak her türden kıyı yapısına sahip olmasına karşın, çalışmadan sorumlu teknik komisyonların benzer özelliğe sahip kıyılarda farklı KKÇ tespitleri yapması;
- yönetmeliklerin güncel kıyı kenar çizgisine sahip halihazır haritalara sahip olmaması, bu haritaları altlık olarak kullanan fiziki planlamaların ve uygulamaların hatalı olması;
- kıyı kenar çizgisi tespit komisyonunda görev alan sorumlu personelin ve kurumsal yetkililerin yeterli bilgi ve donanıma sahip olmaması;

kıyı kenar çizgisi - mülkiyet ilişkisi sorunlarına sebep oluşturmaktadır.

Türkiye’de kıyı kenar çizgisi tespitlerinin zamanında ve nitelikli olarak yapılmamış olması nedeniyle, kadaströ tespitleri sırasında bilimsel esaslara göre kıyıda kalan taşınmazlar özel mülkiyet konusu edilerek tapu sicilinde tescilli yapılmış ve sahibi adına mülkiyet hakkı oluşturmuştur. Fakat daha sonrasında ‘kamu yararı amaçlı kullanım’ sağlamak amacıyla tapularının iptal edilmesi yoluna gidilmiştir (Sağ ve Yıldırım, 2011). Böylesi alanlarda



“kıyılarda özel mülkiyet hakkı tesis edilip edilmeyeceği” ya da “daha önceden kıyı alanlarında hukuk düzeni tarafından tanınmış mülkiyet hakkının tapu iptal davaları aracılığıyla kamu gücü tarafından ortadan kaldırılmasının kamu yararı ve bireysel yarar arasında ne türden çatışmalar çıkarabileceği ve iki menfaat arasında nasıl bir uzlaştırma sağlanacağı” şeklindeki sorular, günümüzde halen yaşanan sorunlara temel oluşturmaktadır (Aşan ve Akkaya 2014, Akça 2004). Zira,

-Osmanlı Devleti döneminde ve Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluşundan 1972 yılına (24.07.1972 tarih ve K:1972/18 sayılı Anayasa Mahkemesinin kararı gereğince 1961 Anayasası değişikliği ve 11.07.1972 tarih ve 1605 sayılı 6785 sayılı İmar Kanununda Bazı Değişiklikler Yapılması Hakkında Kanunun kabul edilmesine) kadar olan dönemde yürürlükte olan mevzuata göre kıyıların özel mülkiyete konu olabilmesi mümkün kılınmış ve devlet güvencesinde tapu kaydı oluşturulmuştur.

-günümüzde böylesi yerlerin 'kamulaştırma yapılmak suretiyle kamu mülkiyetine geçirilmesi' yerine tapu kayıtlarının iptali için TC Maliye Hazinesi tarafından 'tapu iptali davası' açılması tercih edilmektedir.

Nitekim tapu kayıtlarının kamulaştırma yapılmadan iptal edilmesi işlemi Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi (AİHM) tarafından da mülkiyet hakkına aykırı bulunmuş; Yargıtay 1. ve 4. Hukuk Daireleri de içtihatlarını bu karar yönünde değiştirerek “kıyıda kalması nedeniyle kullanımı iptal edilen taşınmazlar için taşınmaz maliklerinin tazminat davası açabileceğine” karar vermişlerdir (Şimşek, 2010).

Türk Hukuk Sisteminde yerini bulan mevzuat hükümleri, kıyı alanlarının kullanımı konusunda yeterli anayasal ve yasal altlık oluşturmaktadır. Kıyı alanlarına ilişkin, 1982 Anayasası'nın 43. maddesi “Kıyıların Devletin hüküm ve tasarrufu altında olduğunu, deniz, göl ve akarsu kıyılarıyla, deniz ve göllerin kıyılarını çevreleyen sahil şeritlerinden yararlanmada öncelikle kamu yararı gözetileceğini”; 22.11.2001 tarih ve 4721 sayılı Türk Medeni Kanununun 715. maddesi “Sahipsiz yerler ile yararı kamuya ait malların Devletin hüküm ve tasarrufu altında olup hiçbir şekilde özel mülkiyete konu olamayacağını” ifade ederken; kıyı alanlarında uygulamayı yönlendiren 3402 sayılı Kadastro Kanunu (16/c maddesi), 5393 sayılı Belediye Kanunu (79. maddesi), 3621 sayılı Kıyı Kanunu (5 ve 6. maddeleri) ve Kıyı Kanununun Uygulanmasına Dair Yönetmelik (5. maddesi) “Kıyılarda özel mülkiyetin söz konusu olamayacağını ve bu yerlerin tescil edilmek suretiyle özel kullanıma konu edilemeyeceğini” belirtmektedir. Buna rağmen mekânsal kullanımda muhtelif mülkiyet sorunları hala yaşanmaya devam etmektedir (Turoğlu, 2009).

Bu çalışmada; Muğla ili, Bodrum İlçesine bağlı kentsel/planlı alanlar ile Akşehir Gölü ve Sakarya Nehri'nin kırsaldaki kıyı alanları örneklem olarak belirlenmiş, bu alanlarda yaşanan kıyı kenar çizgisi-mülkiyet ilişkisi ve taşınmaz kıyıda kalan mülk sahiplerinin açtığı davalarda mahkeme tarafından verilmiş yargı kararları irdelenmiştir. İlgili harita altlıkları, mühendislik programları ve web tabanlı uygulamalar kullanılarak konumsal analiz ve sorgulamalar yapılmış, sonuçlar yorumlanarak kıyıda yaşanan mülkiyet sorunlarına çözüm önerileri geliştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

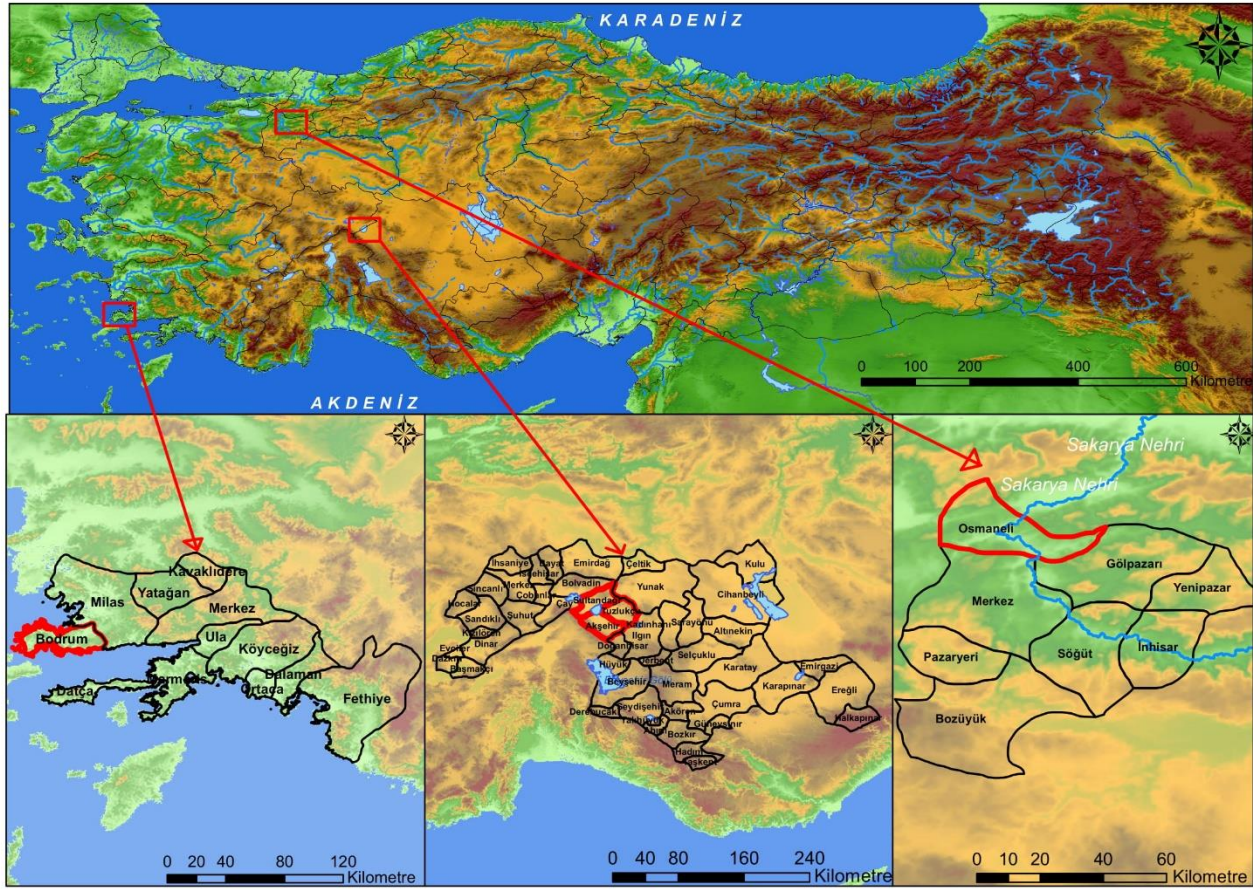
Dört ayrı denize kıyısı bulunan Türkiye, 8333 km uzunluğunda deniz kıyısına sahiptir. Buna irili ufaklı 120'den fazla göl ve zengin akarsu kıyılarının da eklenmesiyle Türkiye kıyıları; uzunluğu, doğal, ekonomik ve turistik zenginliği bakımından dünyanın sayılı ülkeleri arasında yer almaktadır. Birbirinden farklı karakteristik özelliklere sahip Türkiye kıyılarında yaşanan kıyı kenar çizgisi ihlalleri ve kıyı kenar çizgisi-mülkiyet ilişkisi sorunlarını örnek olay tespitleri ile ortaya çıkarmak bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Bu bağlamda (Şekil 1),

-açık denize kıyısı olan ve Türkiye'nin 1480 kilometre ile en uzun kıyı şeridine sahip Muğla İline bağlı Bodrum İlçesi, Geriş Mahallesi'nde kıyı kenar çizgisi-mülkiyet ilişkisi ve var olan kadastro sorunları irdelenmiş,

-göl kıyılarında yaşanan kıyı kenar çizgisi-mülkiyet ilişkisi örneği olarak, İç Anadolu Bölgesi'nde bulunup idari olarak Konya ve Afyonkarahisar il sınırları içerisinde yer alan Akşehir Gölü incelenmiştir. 1992 yılında '1. Derece Doğal Sit Alanı' olarak ilan edilip 2018 tarih ve 301 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı ile "Doğal Sit-Kesin Korunacak Hassas Alan" olarak tescil edilen Akşehir Gölü kıyı kenar çizgisi/sit alanı sınırından kaynaklı mülkiyet sorunları irdelenmiş,

-akarsu yatağında yaşanan kıyı kenar çizgisi-mülkiyet ilişkisi örneği olarak, Türkiye'nin en uzun üçüncü akarsuyu olan Sakarya Nehri'nin Bilecik/Osmaneli ilçe sınırı içerisindeki kıyı alanında yaşanan kıyı kenar çizgisi-mülkiyet ilişkisi sorunları irdelenmiş,

-örnek uygulama alanlarında inceleme ve değerlendirme yapabilmek için öncelikle büyük ölçekli kadastro haritaları Kadastro Müdürlüğünden, taşınmazlara ilişkin mülkiyet bilgileri Tapu Müdürlüğünden, kıyı kenar çizgisi tespitine ilişkin veriler Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünden temin edilmiş; mahallinde pafta-zemin uyumu sorgulanmış ve güncel fotoğrafları çekilmiştir. Kıyı kenar çizgisi-mülkiyet ilişkilerinin sorgulanması ve zamansal değişimlerinin incelenmesi amacıyla bir açık kaynak olan Google Earth Pro programı üzerinden uydu görüntüleri yorumlanmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanları ( Study fields)

Türkiye kıyılarında yaşanan mülkiyet sorunlarına alternatif çözümler üretebilmek için, yürürlükte olan 2709 sayılı TC Anayasası, 4721 sayılı Türk Medeni Kanunu, 3621 sayılı Kıyı Kanunu, 3402 sayılı Kadastro Kanunu, Kıyı Kanununun Uygulanmasına Dair Yönetmelik hükümleriyle Bütünlük Kıyı Alanları Yönetimi (BKAY) yükümlülükleri ve Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi (AİHM) kararları dikkate alınarak öneriler getirilmiştir.

### 3. Bulgular (Research Findings)

Kıyı kenar çizgisi-mülkiyet ilişkilerinde, Türkiye'nin farklı coğrafyalarında ve kendi özelinde yaşanan çeşitli sorunların olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'nin deniz kıyı alanlarında yaşanan sorunlar için Muğla İli, Bodrum ilçesi kıyıları; göl kıyı alanlarında yaşanan sorunlar için Akşehir Gölü kıyıları; akarsu kıyı alanlarında yaşanan sorunlar içinde Sakarya Nehri kıyıları örneklem alınarak değerlendirmeler yapılacaktır.

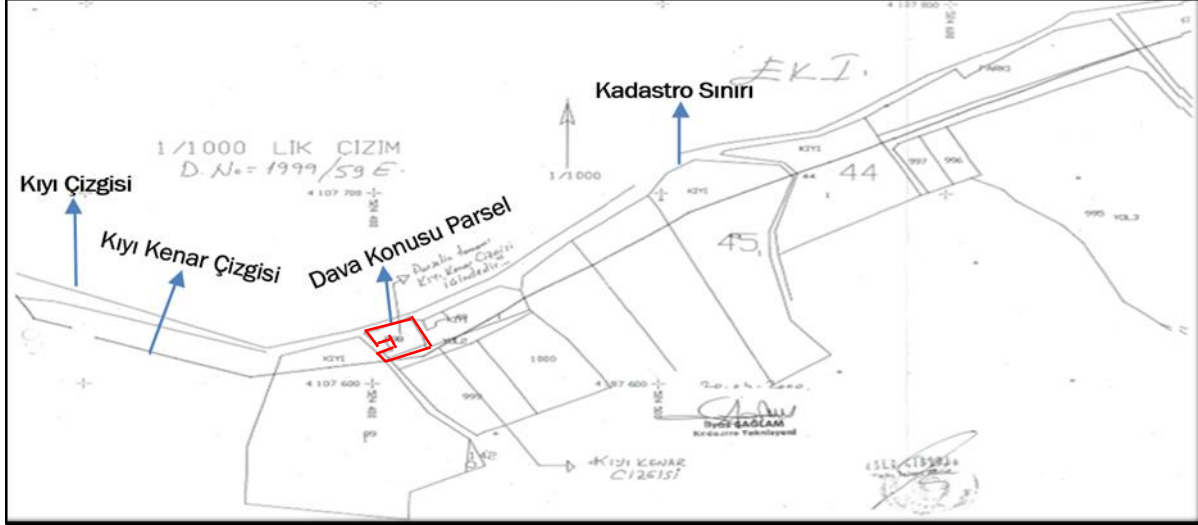
#### 3.1. Muğla İli, Bodrum İlçesi, Geriş Mahallesi, Yaka Mevkiinde Yer Alıp Kıyı Kenar Çizgisi İçinde Kalan Parselin 'Kumsal Alan Olarak Tescil Harici Bırakılması' Konusunun Değerlendirilmesi (Evaluation of the Parcel That Within the Shore Edge Line in the Yaka Location, Geriş Neighborhood, Bodrum District, Muğla Province)

Muğla İli, Bodrum İlçesi, Geriş Mahallesi, Yaka Mevkii adresinde bulunup, tapu sicilinde '4 pafta - 998 parsel' olarak özel mülkiyet adına kayıtlı taşınmaz "taşınmazın kıyı kenar çizgisi içinde kalması nedeniyle tapu kaydının iptal edilmesi, kumsal/kıyusal alan olarak tescil harici bırakılması" istemiyle yargılamaya konu edilmiştir.

Tapu sicilinde yapılan incelemede, '53 numaralı kök/ana parselin ifraz edilmesi' neticesinde 998, 999 ve 1000 numaralı parsellerin oluşturulduğu ve 13.12.1990 tarih - 4677 yevmiye numarası ile tapuya tescil edildiği görülmüştür. Bunlardan 1000 numaralı parsel imar planı uygulamasına konu edilerek 106 ada - 4 parsel dönüşürken (Şekil 3), 998 numaralı parselin '09.01.1987 tarihinde onanan kıyı kenar çizgisi' içerisinde kaldığı gerekçesiyle 'tapu iptali' davasına konu edildiği, yargılama sürecinde alınan teknik bilirkişi raporunda da mülkiyet sorununun konumsal olarak ifade edilmiştir. Kaldı ki, yalnızca davaya konu olan 998 numaralı parselin değil bölgedeki birçok parselin 'bir kısmının veya tamamının kıyı alanında kaldığı görülmüştür (Şekil 2, Şekil 3).

Bilirkişi raporunda ortaya konulan teknik değerlendirmeler eşliğinde verilen yargı kararı neticesinde 998

numaralı parselin kamulaştırma bedeli ödentisi mülk sahibine yapılarak tapusu iptal edilmiş, devletin hüküm ve tasarrufu altına alınmıştır. Taşınmaz sahibi yargının bu kararına “kıyı kenar çizgisi tespit komisyonunun hiçbir doğal ve bilimsel verileri dikkate almadan ve sonradan açılan karayoluna dayalı bir kıyı kenar çizgisi tespiti yapıldığını, dava konusu yerde mülkiyetlerinde olan 80 yıllık ‘yağhane’ binasının bulunduğunu” ifade ederek itiraz etmiştir. Bu çalışma kapsamında yerinde yapılan tespitlerde “yağhane binası ile birlikte komşuluk ilişkisindeki diğer yapıların da hala kıyı alanında varlığını koruduğu ve eski mülkiyeti kullanım şekillerinin devam ettiği, yargı kararının zemine uygulanmadığı ve kıyı alanının boşaltılmadığı” görülmüştür (Şekil 2).



Şekil 2. Dava konusu 998 nolu parsel ve kıyı kenar çizgisinin 1/1000 ölçekli mülkiyet haritasında gösterimi (Display of the parcel no 998 and the shore edge line in the property map scaled 1/1000)



Şekil 3. Uygulama sahasındaki 1000 nolu parsel (yeni 106 ada- 4 parsel) ve komşuluğunda olup kıyı alanında (karayolunun deniz tarafında) kalan taşınmazların uydu haritası (a) (TKGM-Parsel Sorgu Sistemi) ile kıyı alanında kalan 998 nolu parsel üzerindeki yapı ve tesislerden bir görüntü (b) (2019) (Satellite map of parcel no 1000 (new block 106 - parcel 4) in the implementation area and the immovables in the neighboring area (on the sea side of the highway) (a) (TKGM-Parcel Inquiry System) and a view of the buildings and facilities on the parcel no. 998 in the coastal area (b) (2019) )

Yapılan değerlendirmelerde, burada yaşanan asıl sorunun bir ‘kıyı alanı planlama ve yönetimi sorunu’ olduğu görülmüştür. Hukuk sistemine göre kıyı alanlarından yararlanmada, kamu yararı önceliklidir. Dolayısıyla kamu yararına olmayan herhangi bir kullanımın kıyıda yer alması mümkün değildir. Yağhane binası, konunun özelinde bir detaydır. Tarihi bir geçmişi ve korunmaya değer niteliği tespiti durumunda, 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu uyarınca ‘tescil edilmek’ ve Kültür Varlıkları Koruma Kurulu tarafından ‘kullanım şekli’ belirlenmek suretiyle, -örneğin- Kültür ve Turizm Bakanlığı’na tahsisli bir müzeye dönüştürülerek ‘kamu yararı amaçlı kullanım sürekliliği’ sağlanabilir. Nitekim yerelden alınan bilgiler de, “bu yerin 2012 yılında sanat galerisine dönüştürülmesinin gündeme gelmiş olmasına rağmen henüz somut bir gelişme olmadığı” yönündedir.

Bu bağlamda, yağhane binasının hala kıyıda bulunmasının teknik ve kültürel anlamda sakınca oluşturmadığı, ancak diğer taşınmazlar için yargı kararının mutlak uygulanması ve kıyı alanının kamu yararı amaçlı boşaltılması gerektiği; bu sürecin takibinin yerelde yürütmeden sorumlu idarelerin ‘kurumlar arası diyalog’ halinde yapmasının şart olduğu söylenebilir.

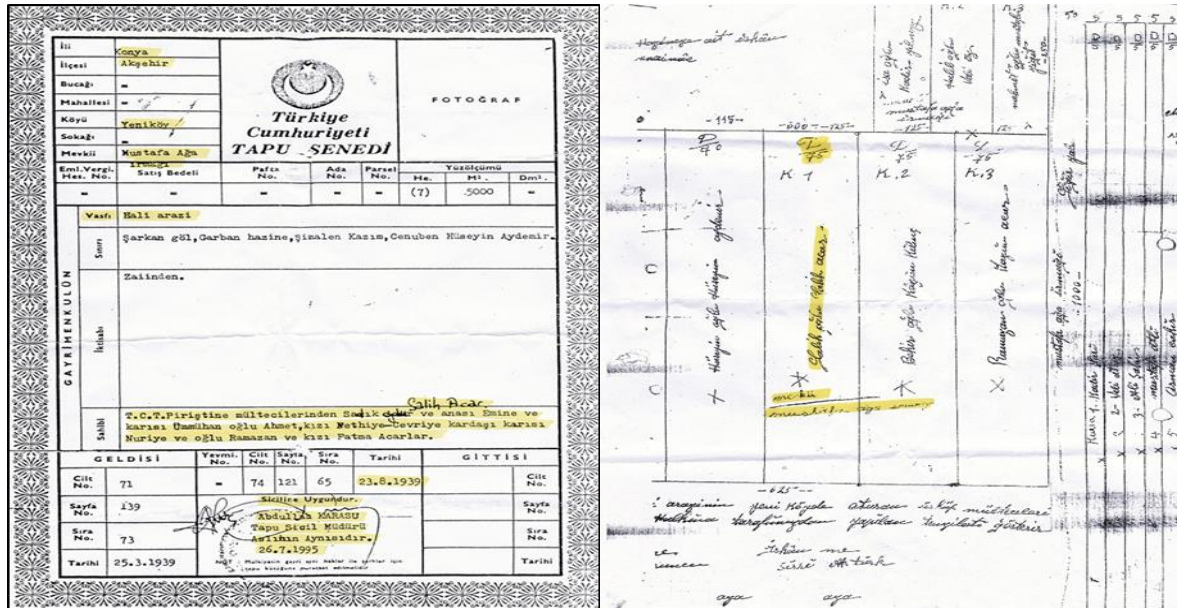
### 3.2. Akşehir Gölü'nde Kıyı Kenar Çizgisi - Mülkiyet İlişkinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Shore Edge Line - Ownership Relationship in Lake Akşehir)

Konya ili, Akşehir ilçesi, Yeniköy Mahallesi, Çiftlikaltı Mevkii adresinde bulunup, özel mülkiyete ait tapu kaydı eşliğinde tarımsal üretime konu edilen parsel "Akşehir Gölü havzasında suyun çekildiği bölümde, kıyı kenar çizgisi içerisinde, usulsüz sürülüp üzerinde tarımsal üretim yapılan 84.162,00m<sup>2</sup> yerin kullanıldığı, bu yerin kadastro paftasında yer almadığı, parsel sınırlandırılması ve tescil işlemlerine konu edilmediğinin tespit edilmesi üzerine idari yaptırım" istemiyle yargılamaya konu edilmiştir.

Tarım ve Orman Bakanlığı (Doğa Koruma ve Milli Parklar 8. Bölge Müdürlüğü)'nün 10.07.2014 tarih ve 2014/12 (2872) sayılı idari işlemi sonucunda "korunması ve kontrol altında tutulması gereken sulak alanı doldurarak ve kurutarak tarla açtığı" iddiasıyla taşınmaz sahibine para cezası kesilmiştir. Taşınmaz sahibi, söz konusu taşınmazın sahibi olduğunu iddia ederek 'idari işlemin iptali' için dava açmıştır. Dava konusu taşınmaza ait belgelerin zemine uygulanması, yerinde yapılan zemin ölçmeleri, mekânsal veri tespiti ve değerlendirmeleri neticesinde;

-örnek parselin, 1930'lu yıllarda Üsküp-Piriştine Bölgesinden bir grup soydaşımız ile birlikte mülteci sıfatıyla Türkiye'ye gelip 14.04.1938 tarihinde TC vatandaşlığına kabul edilerek nüfus belgesi tanzim edilen kişinin mülkiyetinde tarım parseli olarak kullanıldığı (Şekil 5),

-örnek parselin, 2510 sayılı İskân Kanunu kapsamında ailesi ile birlikte Konya ili, Akşehir ilçesi, Yeniköy Köyü'ne yerleştirilen bu kişi adına tahsis ve tescil edildiği, Toprak Dağıtımına Esas Yer Teslim Krokisi ve 23.08.1939 tarihli Tapu Belgesi düzenlendiği (Şekil 4),



Şekil 4. Örnek parsel için Tapu Belgesi ve Toprak Dağıtımına Esas Yer Teslim Krokisi belgeleri (Land registration certificate and documents of place delivery plan for land distribution)

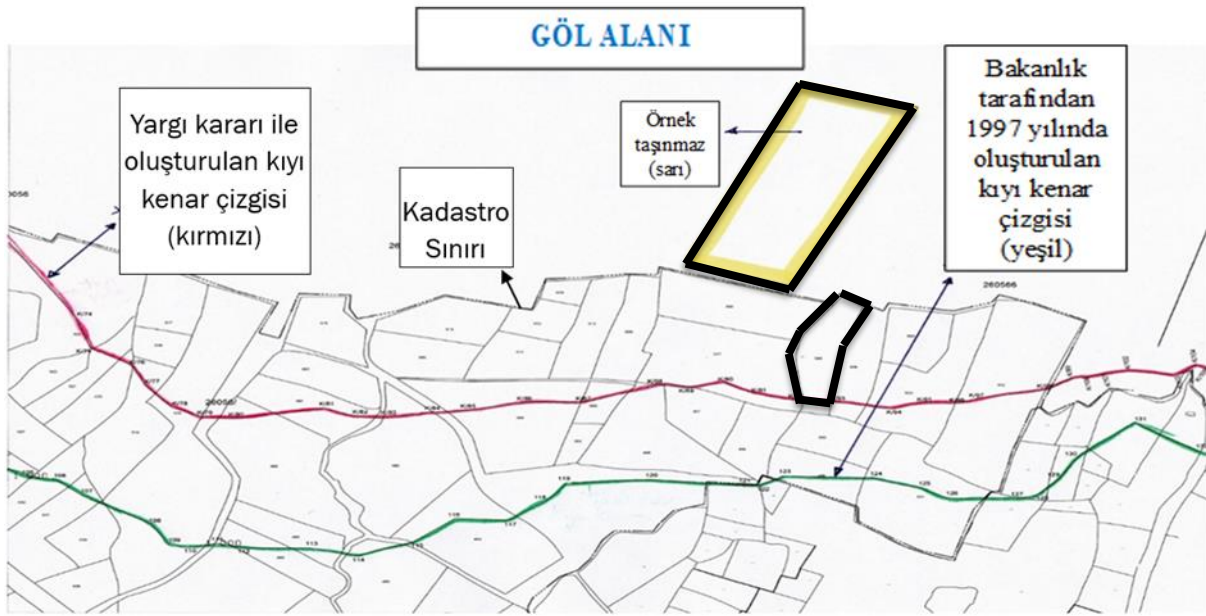


Şekil 5. Örnek parselin mekânsal kullanımı (a) ve uydu haritasından (b) görüntüleri (Spatial use of the sample parcel (a) and

images from the satellite map (b))

-Akşehir Gölü Havzası yıllık yağış rejimindeki değişikliklerden kaynaklı olarak bazı komşu parseller ile birlikte göl suyu altında kaldığı (URL 1, 2, 3), tesis kadastro çalışmaları sırasında göl suyu çizgisinin esas alındığı, 506 numaralı parsel kadastro tespitine konu edilirken komşuluğundaki örnek parselin “çalışması sırasında göl suyu altında kalan alanlarda sınırlandırma ve tespit çalışmaları yapılmadığı” gerekçesiyle bu ve benzeri parsellerin kadastro çalışmaları yapılmadığı (Şekil 5.b), bu sebeple de tapu sicilinde kayıtlı olan örnek parselin kadastro çalışma alanı dışında tutulup haritada yer almadığı ve tescile konu edilmediği (Şekil 6),

-örnek parselin, Yeniköy Kadastro/Tapulama sınırı dışındaki tescil harici alanda gösterilip gerek Bakanlık gerekse Yargı Kararı ile geçirilen Akşehir Gölü Kıyı Kenar Çizgisi ve göl havzası içerisinde yer aldığı (Şekil 6’da, örnek parselin hem Bakanlık tarafından 12.03.1997 tarihinde onanan (yeşil renkli) hem de sonrasında Akşehir Asliye Hukuk Mahkemesi kararıyla 958,65m kotu esas alınarak geçirilen (kırmızı renkli kıyı kenar çizgileri ile olan konumsal ilişkisi gösterilmiştir), tespit edilmiştir.



Şekil 6. Örnek parselin kadastro sınırı ve kıyı-kenar çizgileri ilişkisini gösterir kadastro haritası (Cadastral boundary of the sample parcel and the relationship between shore edge line)

Örnek parselin, sahip olduğu konumsal/mekânsal değerleri ve kayıtlı/yürürlükteki haritalar-belgeler-mevzuatlar ilişkisinde “kıyı kenar çizgisi içerisinde, devletin hüküm ve tasarrufu altındaki alanda” yer aldığı açıktır. Ancak buradaki sorun, örnek parsel sahibinden kaynaklanmayıp; zaman içerisinde ve coğrafi-yönelimsel şartlar gerçeğinde oluşan bir durumdur. Aynı biçimde, örnek parsel üzerinde sorumlu idareler tarafından yapılan çalışmalar incelendiğinde;

-Akşehir ilçesinde, Akşehir Gölüne kıyısı bulunan birimlerde ilk tesis (kuruluş) kadastro çalışmaları, Şekil 6’da tesis kadastro sınırı olarak gösterilen ve kadastro çalışmalarında fiili kıyı kenar çizgisi olarak da kabul edilen sınırın dışındaki arazide 1970-1980 yılları arasında yapıldığı, göl suyu içerisinde kalan parseller üzerinde sınırlandırma ve tespit çalışmalarının yapılmadığı, parselin “toprak dağıtımı çalışmalarına esas sicil kaydına ‘göl suyu içerisinde kalmıştır’ bilgisinin” yazıldığı,

-1997 yılında “DSİ Genel Müdürlüğüne 960,25m olarak belirlenen maksimum su kotu esas alınarak geçirilen” Akşehir Gölü Kıyı Kenar Çizgisinin Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından onanarak yürürlüğe girdiği; onaylı bu kıyı kenar çizgisinin 2000 yılında Konya İdare Mahkemesinin kararları gereğince iptal edilmesi neticesinde Akşehir Gölünde mevcutta onaylı bir kıyı kenar çizgisinin kalmadığı; Akşehir Gölü kıyı kenar çizgisinin, Akşehir Asliye Hukuk Mahkemesinin kararıyla maksimum su kotu 958,65m esas alınarak yeniden belirlendiği (Şekil 6’da kırmızı çizgi ile gösterilen);

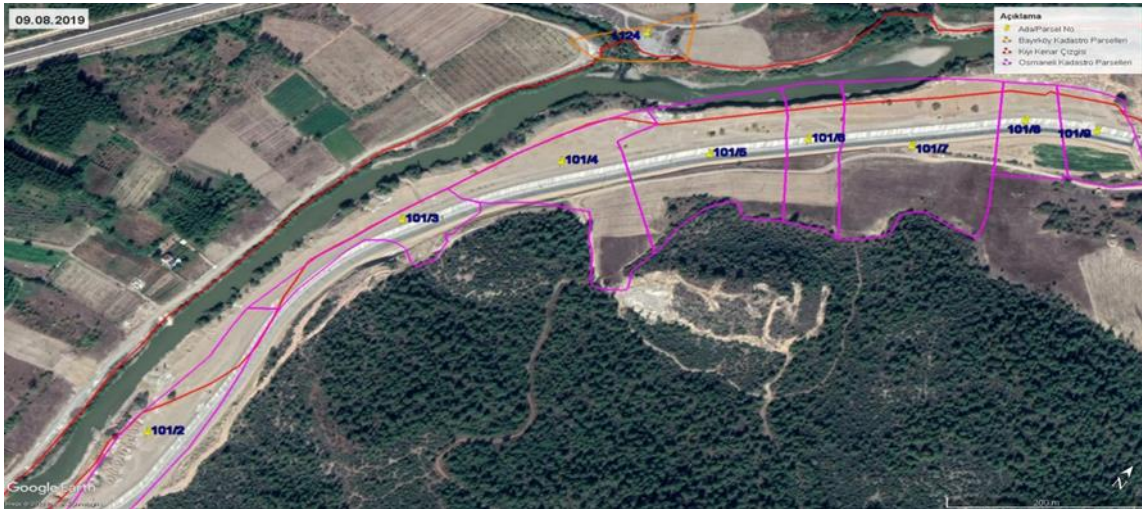
-Akşehir Belediye Başkanlığının “Akşehir Gölünün taşması nedeniyle göl altında kalıp tespit ve tescilinin yapılmadığı, söz konusu taşınmaz kayıtlarının revizyon görmediği, tapu kayıtlarının kapatılmadığı ve Akşehir Gölü kıyı kenar çizgisinin iptal edilmesi nedeniyle hukuken kıyı kenar çizgisinin mevcut olmadığı nedenleriyle, tapu kaydı bulunan taşınmazların kadastroya tabi tutulması” istemli yazısına cevaben, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü - Konya V. Bölge Müdürlüğü’nün “... Bakanlıkça onaylı kıyı kenar çizgisinin idari yargı mercilerince iptal edilmesi sonucu Bakanlıkça da iptal edildiği, 1/1000 ölçekli halihazır haritaları üzerinde yapılan yeni tespitlerin ise henüz onaylanmadığı, Bakanlıkça belirlenen eksikliklerin giderilmesi çalışmalarının devam ettiği, bu itibarla, Akşehir Gölü kıyı kenar çizgisinin tespit çalışmalarının tamamlanmasını müteakip kesinleşen

kıyı kenar çizgisine ait bilgi ve belgeler kadastro müdürlüğüne intikal ettiğinde kıyı kenar çizgisi dışında kalan ve kadastro görmemiş taşınmazların bulunması durumunda, bu taşınmazların kadastroya tabi tutulabilmeleri için yürürlükteki kadastro mevzuatı çerçevesinde ve Genel Müdürlüğün vereceği talimat doğrultusunda çalışmalara başlanabileceği” bilgisinin paylaşıldığı, tespitleri yapılmıştır.

Örnek parselin de bulunduğu sahada yaşanan mülkiyet sorununun bir idari işlem sorunu olduğu; böylesi yerlerde mülkiyet hakkının geçerli olduğu kabul edilerek, ilgili idarelerin önce “Akşehir Gölü Kıyı Kenar Çizgisini belirleyip, kıyı kenar çizgisi dışında kalan ve kadastrusu yapılmayan taşınmazların kayıt altına alınarak tescil edilmesi” işlemini yapması, sonrasında da “kıyı kenar çizgisi (göl havzası) içerisinde kalan tapulu parsellerin kamulaştırma, hazine parselleriyle takas vb. yöntemler içerisinde değerlendirilmesi” gerektiği söylenebilir.

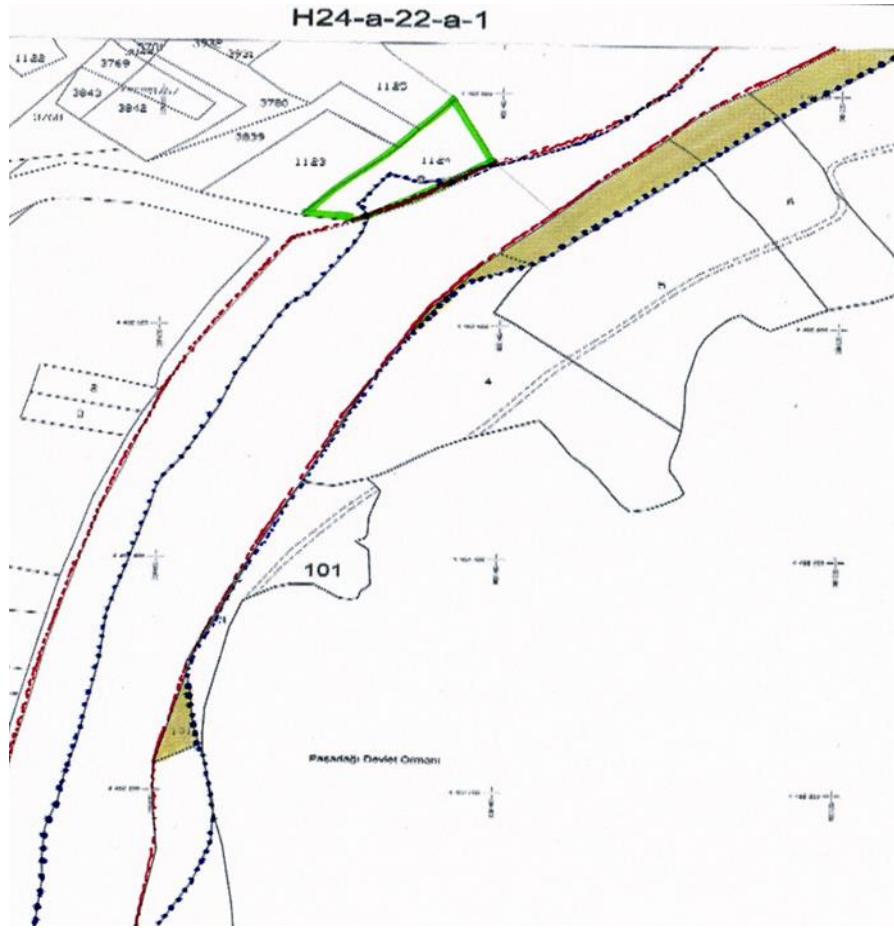
### 3.3. Sakarya Nehri’nde Kıyı Kenar Çizgisi - Mülkiyet İlişkisinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Shore Edge Line - Ownership Relationship in Sakarya River)

Sakarya Nehri’nin üzerinden geçtiği illerden birisi olan Bilecik İline bağlı olup tapu sicilinde “Merkez İlçesi, Bayırköy Köyü, Akkaya Mevkii, 1124 parsel” ile “Osmaneli İlçesi, Medetli Köyü, Paşalar Mevkii, 101 ada - 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 numaralı parseller” adreslerinde özel ve kamu mülkiyeti adına kayıtlı taşınmazların kıyı kenar çizgisi - mülkiyet ilişkisinin değerlendirildiği bu çalışmada, sahaya ait 1/2000 ölçekli ve H24-a-22-a-1 pafta numaralı hâlihazır haritası Bilecik Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünden, tamamı ya da bir kısmı kıyı kenar çizgisi içerisinde kalan örnek parsellerin tescile esas bilgiler Bilecik Tapu Müdürlüğünden temin edilmiştir. Uygulama sahasındaki örnek parsellerin (mor ve turuncu renkli); Sakarya Nehri yatağı ve kıyı kenar çizgisi (kırmızı renkli) ile ilişkisinin uydu görüntüsü Şekil 7’de, Bakanlık tarafından geçirilmiş eski (kırmızı renkli verilen) ve yeni (mavi renkli verilen) kıyı kenar çizgileriyle ilişkileri ve nehir yatağında kalan parsel parçaları Şekil 8’de verilmiştir.



**Şekil 7.** Bilecik İli, Osmaneli İlçesine ait uydu görüntüsünün Sakarya Nehri kıyı alanı kullanımı, parseller (mor ve turuncu renkli) ve kıyı kenar çizgisi (kırmızı renkli) ilişkisinden bir kesit (TKGM-Parsel Sorgu Sistemi, 2020) (A section from the relationship between the use of the Sakarya River coastal area, parcels (purple and orange colors) and the shore edge line (red color) of the satellite image of Osmaneli District of Bilecik Province (TKGM-Parcel Query System, 2020))

İlgili kurumlardan alınan bilgi ve belgelerin saha uygulanması ve pafta-zemin ilişkilerinin sorgulaması neticesinde, kıyı kenar çizgisi mülkiyet ilişkisinin güncel uydu görüntüleri de kullanılarak mülkiyet sorunları değerlendirilmiş; Bayırköy Köyü 1124 parsel ile Medetli Köyü 101 ada- 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 numaralı parsellerin bir kısmının nehir yatağındaki değişim sebebiyle yeni kıyı kenar çizgisi içerisinde kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. 1/2000 ölçekli hâlihazır harita üzerinde kıyı kenar çizgisi gösterimi (Shore edge line representation on the existing 1/2000 scale base map)



Şekil 9. 1124 numaralı parselin kıyı kenar çizgisi-mülkiyet ilişkisi ve tapu kayıt örneği (Relationship between shore edge line and ownership of 1124 parcel, land register of parcel no 1124)

Bilecik ili, Merkez İlçesi, Bayırköy Köyü adresinde bulunan 1124 numaralı örnek parselin tapu sicilinde 4625,00m<sup>2</sup> yüzölçümü ve 'tarla' niteliğinde Maliye Hazinesi adına kayıtlı olduğu, 1147,35m<sup>2</sup>'lik kısmının kıyı kenar çizgisi içerisinde kaldığı; diğer örnek alınan ve tamamı özel mülkiyet adına tescilli olan Medetli Köyü 101 ada - 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 numaralı parsellerde olduğu gibi, ilgili Tapu Müdürlüğü tarafından tapu kayıtları beyanlar hanesine 'kısmen kıyı kenar çizgisi içerisinde kalmaktadır' ibaresinin düşüldüğü; ancak Kıyı Kanununun Uygulanmasına Dair Yönetmeliğin 10. maddesinde yer alan "KKÇ tespiti sonucunda kıyıda kalan özel mülkiyete konu arazilerle ilgili tapu iptal işlemleri ilgili defterdarlıkça yürütülür" hükmü gereğince kıyı kenar çizgisi içerisinde kalan özel mülkiyete ait parseller için Defterdarlık tarafından herhangi bir 'tapu iptal davası' açılmadığı tespit edilmiştir. Şekil 9'da, kıyı kenar çizgisi - mülkiyet ilişkisi verilen 1124 numaralı parsel için uydu görüntüsü ve tapu kayıt örneği verilmiştir.

Mülkiyeti Maliye Hazinesine ait olan 1124 numaralı parselin KKÇ içerisinde kalan kısmının kamu yararına bırakılması; özel mülkiyete ait olan 101 ada - 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 numaralı parsellerin KKÇ içerisinde kalan kısımlarının kamulaştırma, hazine parselleriyle takas vb. yöntemler içerisinde işlem yapılmak suretiyle kamu yararına bırakılması gerekmektedir.

#### 4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Dört ayrı denize ve iç topraklarında da zengin göl ve akarsu kıyılarına sahip olan Türkiye, bu doğal güzelliği ile geçmişten günümüze kadar insanoğluna ve birçok canlıya ev sahipliği yapmıştır. Kıt kaynaklardan olduğu kabul edilen kıyılar, sadece doğal kaynaklarının zenginliği bakımından değil; aynı zamanda sanayi, ulaşım, kentleşme, tarım, turizm gibi sektörlerin gelişmesiyle birlikte daha fazla etkileşim altına girmiştir. Bu etkileşimlerin sonucu olarak kıyılar üzerinde nedenleri ve dozu her geçen gün artan baskılar oluşmuş, kıyı kenar çizgisi ihlalleri artmıştır. Kıyı alanlarının kamu yararı amaçlı kullanımını sağlama ve denetlemesinden sorumlu olan idarelerin bu görevlerini sağlıklı bir şekilde yerine getiremediği; bu yetersizliklerin kimi zaman kıyı mevzuatından, kimi zaman da uygulama/yorumlama aşamasında liyakatli personel eksikliği ve kurumsal koordinasyon zayıflığından kaynaklandığı söylenebilir.

Kıyı alanlarında yaşanan planlama, uygulama ve yönetsel sorunları aşmak amacıyla zaman içerisinde çeşitli yasal düzenlemeler ya da mevcutlarda yasal iyileştirmeler yapılmıştır. Ancak, toplumsal yaşamın beklentileri içerisinde her yeni düzenlemede farklı yan/etkileşimli uygulamalara gidildiği, sorunlara köklü çözümler getirmek yerine mevcut sorunlara yenilerinin eklendiği görülmüştür. Gerekli toplumsal bilinç ve sağduyuya erişim sağlanmadığı takdirde, kıyıların tamamen kamu yararı amaçlı kullanımdan çıkıp, bireysel amaçlara hizmet eden sağlıklı mekânlara dönüşeceği açıktır.

Kıyı alanları yönetiminde bilimsel temelli uygulamalara ihtiyaç vardır. Bu yapılmadığı takdirde, mekânsal kullanımda toplumsal eşitsizlik baş göstererek kıyıları belli bir kesime hitap etmeye başlayacaktır. Bu durum da ayrı bir sosyolojik soruna neden olacaktır. Kıyı alanlarının kullanımında bütüncül bakış açısı altında, farklı bilim ve disiplinlerle çalışma ortamları oluşturulmak üzere;

-Kıyıların özellikleri ve hangi kullanımlara uygun olduğu tespit edilerek üst ölçekli planlar üretilmelidir. Planlama çalışmaları için gerekli olan güncel harita ve bilgilerin ilgili kurumların ulaşabilecekleri bir bilgi sisteminde tutulması sağlanmalıdır.

-KKÇ ile kadastro/tapulama sınırı ilişkilendirmesi sağlanmalı, uyumsuzluğun olduğu yerlerde kurumlar arası çalışma programları oluşturulmak suretiyle sorun giderilmelidir. Daha öncesi tarihte ve o anda yürürlükte olan mevzuata uygun olarak kazanılmış mülkiyet hakkı sebebiyle kıyıda taşınmazı kalan mülk sahiplerine tapu iptal davası açılması yerine, ilgili kurumlar tarafından bu yerlerin kamulaştırma/trampa çalışmalarına konu edilmesi sağlanmalıdır.

-Yargılamaya konu edilen kıyı alanlarında 'yargı kararı ile KKÇ geçirme' işlemine son verilip, böylesi mülkiyet sorunu olan yerlerde Bakanlığın KKÇ geçirme ya da yenileme çalışması yapması sağlanmalıdır.

-Kıyılarda mevzuata aykırı kullanımların ecrimisil veya kira uygulamalarıyla devamına izin verilmemeli, caydırıcılığı arttıracak idari yaptırımlar uygulanmalıdır.

-Kıyıların kullanımı ve sahiplenilmesinde yetki karmaşasını gidermek adına 'sürdürülebilir bütünleşik kıyı alanları yönetimi (BKAY)' görevinden sorumlu idari bir birim oluşturulmalı; bu birim altında ilgili bütün kurumların işbirliği ve koordinasyonu sağlanmalı; bu birimin sorumluluğunda ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojilerinden yararlanılmak suretiyle "kıyı alanları ile ilgili verilerin toplanması, saklanması, mekânsal analizlerin yapılması ve kullanıcıya sunulması" sağlanmalıdır (Sesli ve Akyol, 2006).

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

#### Kaynaklar (References)

- Agenda 21, 1992. Programme of action for sustainable development, "Rio declaration on environment and development", Report of the UN Conference on Environment and Development, Rio De Janeiro.
- Akça, N., 2004. Kıyı kenar çizgisinin belirlenmesi ve uygulama sorunları. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Teknik Araştırma ve Uygulama Genel Müdürlüğü.
- Anayasa, 1982. 2709 Sayılı Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, Kabul Tarihi: 18.10.1982, Yayımlandığı Resmi Gazetenin Tarihi: 09.11.1982, Sayısı: 17863, Yayımlandığı Düsturun Tertibi: 5, Cildi: 22, Sayfası: 3.
- Aşan, C., Akkaya, M.A., 2014. Kıyı alanlarındaki kentsel rantın " kamu yararı" amaçlı kullanımına ilişkin değerlendirmeler. 8. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, ss.413-422.



- Belediye, K., 2005. 5393 Sayılı Belediye Kanunu, Kabul Tarihi: 03.07.2005, Yayımlandığı Resmi Gazetenin Tarihi: 13.07.2005, Sayısı: 25874, Yayımlandığı Düsturun Tertibi: 5, Cildi: 44.
- Cicin-Sain, B., Knecht, R.W., 1998. Integrated coastal and ocean management. Island Press, Washington.
- Derici, B., 2018. Bütünleşik kıyı Alanları Yönetiminin (BKAY) göl kıyılarında uygulanabilirliği: Eğirdir Gölü örneği. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2018.
- Gary, A., Klee, A., 1999. The coastal environment: toward integrated coastal and marine sanctuary development, Prentice Hall, New Jersey.
- Kadaastro, K., 1987. 3402 Sayılı Kadaastro Kanunu, Kabul Tarihi: 21.06.1987, Yayımlandığı Resmi Gazetenin Tarihi: 09.07.1987, Sayısı: 19512, Yayımlandığı Düsturun Tertibi: 5, Cildi: 26, Sayfası: 229.
- Kıyı, K., 1990. 3621 Sayılı Kıyı Kanunu, Kabul Tarihi: 04.04.1990, Yayımlandığı Resmi Gazetenin Tarihi: 17.04.1990, Sayısı: 20495, Yayımlandığı Düsturun Tertibi: 5 Cildi: 29, Sayfası: 76.
- Kıyı Kanununun Uygulanmasına Dair, Y., 2018. Kıyı Kanununun Uygulanmasına Dair Yönetmelik, Dayandığı Kanunun Tarihi: 04.04.1990, No: 3621, Yayımlandığı Resmi Gazetenin Tarihi: 29.06.2018, Sayısı: 30463.
- Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma, K., 1983. 2863 Sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu, Kabul Tarihi: 21.07.1983, Yayımlandığı Resmi Gazetenin Tarihi: 23.07.1983, Sayısı: 18113, Yayımlandığı Düsturun Tertibi: 5, Cildi: 22, Sayfası: 444.
- Medeni, K., 2001. 4721 Sayılı Medeni Kanun, Kabul Tarihi: 22.11.2001, Yayımlandığı Resmi Gazetenin Tarihi: 08.12.2001, Sayısı: 24607, Yayımlandığı Düsturun Tertibi: 5, Cildi: 41.
- 6785 Sayılı İmar Kanununda Bazı Değişiklikler Yapılması Hakkında, K., 1972. 1605 Sayılı, 6785 Sayılı İmar Kanununda Bazı Değişiklikler Yapılması Hakkında Kanun, Kabul Tarihi: 11.07.1992, Yayımlandığı Resmi Gazetenin Tarihi: 20.07.1992, Sayısı: 14251.
- Özçelik, M., 2017. Kıyı alanlarının kullanılmasında kıyı kenar çizgisinin önemi: Eğirdir yerleşim alanı örneği. Mühendislik Bilimleri ve Tasarımı Dergisi, 5(3): 595-600.
- Sağ, N., Yıldırım, H.H., 2011. Kıyı mevzuatında kamu yararı kavramının değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(2): 38-54.
- Sesli, F.A., Akyol, N., 2006. Kıyı alanlarında kamu yararı ve kullanım ilişkileri. Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları VI. Ulusal Konferansı, Türkiye Kıyıları 6: 13-22.
- Solmaz, S., 2017. Geçmişten günümüze Türkiye kıyı politikaları ve Türkiye kıyılarında yaşanan mülkiyet sorunları. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Uzmanlık Tezi, Ankara.
- Şener, Ş., Şener, E., Varol, S., (2020). Kaş (Antalya) kıyı bölgesinin mikrobiyolojik kirlilik değerlendirmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3): 753-765.
- Şimşek, S., 2010. Kıyılarda mülkiyet sorunu: Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi iptal kararları ışığında bir çözüm önerisi. Sayıştay Dergisi, 77: 77-118.
- Turoğlu, H., 2009. 3621 sayılı Kıyı Kanunu ve onun uygulanma problemleri. Türk Coğrafya Dergisi, 53: 31-40.
- URL-1, <http://www.turkiyesulakalanlari.com/aksehir-ve-eber-golleri/> (Erişim Tarihi: 17.05.2020).
- URL-2, <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/yagislar-aksehir-golune-can-suyu-oldu-370325.html> (Erişim Tarihi: 17.05.2020).
- URL-3, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Aksehir\\_Gölu](https://tr.wikipedia.org/wiki/Aksehir_Gölu) (Erişim Tarihi: 17.05.2020).



## GİRESUN-PIRAZİZ ARASINDA KARADENİZ SAHİL YOLUNA BAĞLI KIYI ÇİZGİSİ DEĞİŞİMİ VE GÜNCEL PLAJ OLUŞUMLARI

Ahmet APAYDIN<sup>1\*</sup>, Murat DURMAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 28200 Giresun, Türkiye

<sup>2</sup> Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Karadeniz Sahil Yolu (KSY),  
Kıyı çizgisi,  
Plaj oluşumu,  
Dalgakıran,  
Giresun.

### Öz

2007 yılında hizmete giren ve Samsun'dan Sarp sınır kapısına kadar uzanan Karadeniz Sahil Yolu (KSY), Giresun-Piraziz arasındaki bölgede bazı yerlerde karadan, bazı yerlerde deniz doldurularak inşa edilmiştir. KSY bazı yerlerde plajları daraltırken, yol kapsamında inşa edilen mahmuz şeklindeki dalgakıranların etkisiyle mevcut plajlar deniz yönünde genişlemiş, hatta yeni plajlar oluşmuştur. Mahmuz bulunmasına rağmen bazı yerlerde plaj oluşumu gerçekleşmemiş veya diğer yerlere göre daha yavaş bir oluşum söz konusudur. Kıyı boyunca farklı durumların gelişmesinde T mahmuz şeklindeki dalgakıranların ve balıkçı barınaklarının etkisi ile birlikte akarsularla sediment taşınımı, akarsu ağzlarında akarsu ile dalga etkileşimi ve özellikle deniz batimetrisi önemli parametrelerdir. Batimetrinin derin olduğu yerlerde (örneğin Piraziz sahili) ve büyük akarsu (Batlama ve Pazar Suyu) ağzlarında mahmuzlara rağmen plaj oluşumunun gerçekleşmemesi veya oluşum hızının çok yavaş olması bu iki faktörün etkisindedir. Plaj oluşum hızının en yüksek olduğu Giresun şehir plajları 2006 yılından 2020 yılına kadar alansal olarak iki buçuk kat genişlemiş ve kıyı çizgisi 60-85 m ilerlemiştir. Bu süre içinde yıllık ortalama ilerleme hızı 4,3 m ile 6 m arasında değişmektedir. Bu plajın tamamında kıyı çizgisindeki ilerleme hızı son üç-beş yıldaki gibi devam ederse en geç 2028 yılında kıyı çizgisinin mahmuz uçlarına ulaşacağı tahmin edilmektedir.

## COASTLINE CHANGES AND RECENT BEACH FORMATIONS BETWEEN GİRESUN AND PIRAZİZ CONNECTED WITH THE BLACK SEA COASTAL ROAD

### Keywords

Black Sea Coastal Road,  
Coastline,  
Beach formation,  
Groynes,  
Giresun.

### Abstract

Having put in service in 2007, the Black Sea Coastal Road (KSY) ranging from Samsun to the Sarp border gate was constructed over land and by filling the coast in some places between Giresun and Piraziz. Although KSY narrowed the beaches in some places, some of them expanded towards the sea and even new beaches have been formed as a result of the T-shaped groynes, constructed within the scope of the road. In some places, any new beach has not occurred or the formation is slower although groynes. Together with the effect of T-shaped groynes and fishermen shelters, sediment transport by rivers, interaction between waves and rivers flow and particularly bathymetry are important parameters for varying situations along the coast. The lack or very slow speed of formation in places where bathymetry is deep (for example Piraziz beach) and in the mouths of large rivers (Batlama and Pazar Suyu) is the effect of the last two factors. Having the highest rate, Giresun city beaches have expanded two and a half times and coastline has advanced 60-85 m from year 2006 to 2020. During this period, the annual average advance rate varies between 4.3 m and 6 m. If the advance rate continues with the same rate as in the last 3-5 years, it is estimated that the coastline will reach the groyne ends at the latest by 2028.

\* İlgili yazar / Corresponding author: ahmet.apaydin@giresun.edu.tr, +90-454-310-4166

**Alıntı / Cite**

Apaydın, A., Durmaz, M., (2021). Giresun-Piraziz Arasında Karadeniz Sahil Yoluna Bağlı Kıyı Çizgisi Değişimi Ve Güncel Plaj Oluşumları, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 150-166.

**Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)**

A. Apaydın, 0000-0002-6437-7208  
M. Durmaz, 0000-0002-6565-6639

**Makale Süreci / Article Process**

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	28.10.2020
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	18.12.2020
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	07.01.2021
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

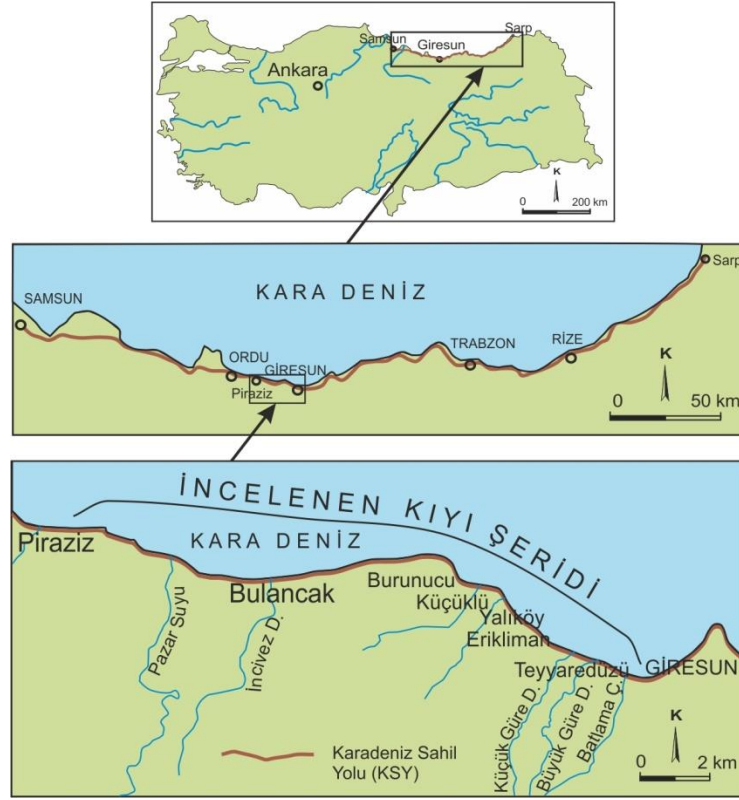
**1. Giriş (Introduction)**

Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde kıyılar turizm başta olmak üzere (Güney ve Polat, 2015) değişik amaçlarla yapılaşma, karayolu inşaatı (Akyol vd., 1997), rekreasyon amaçlı dolgu yapılarak yer kazanma (Kadioğlu 2004), malzeme dökülmesi, kıyılardan kum-çakıl malzeme alınması ve yanlış imar uygulaması (Aykut vd. 2005) vb. nedenlerle baskı altındadır (Akça, 2004). Bunun sonucunda birçok yerde kıyıların doğal yapısı bozulmakta (Sesli vd. 2002; Şimşek ve Korkut, 2009; Özçelik 2017), ekolojik koşullar değişmekte, taşkın ve deniz basması gibi olumsuz sonuçlar meydana gelmektedir. Kıyılarda önemli olumsuzluklardan biri de plajlarda küçülme ve hatta tamamen yok olmasıdır. Bunun ana nedeni otel, pansiyon veya benzeri dinlenme-eğlenme amaçlı yapıların ve bu yapılar arası yolların plajları işgal etmesi, kıyı boyunca inşa edilen karayollarının yer yer plajlardan geçmesidir. Plajları olumsuz etkileyen diğer bir antropojenik unsur ise kıyı dinamiğini dengeleyen ve plajların dalga ve akıntı etkisiyle aşınmasına engel olan akarsulardan malzeme alınması (Dipova 2016; Apaydın vd. 2019), sediment tutucu yapılar, barajlar (Yılmaz, 2005), HES'ler inşa edilmesi gibi nedenlerle denize taşınan sediment yükünün azalmasıdır.

Yukarıda değinilen olumsuzlukların hemen hemen tamamı Karadeniz Sahil Yolu (KSY) güzergahı boyunca yer yer görülmektedir. İlk büyük ihalesi 1987 yılında yapılan ve 1990'lı yılların sonlarında inşaatı hızlanan Karadeniz sahil yolu resmi olarak 2007 yılında hizmete açılmıştır. Samsun'dan Sarp'a kadar çoğunlukla kıyı boyunca inşa edilen söz konusu yol, ulaşımda sağladığı rahatlığa rağmen birçok yönden tartışma konusu olmuştur. Eleştirilerden en önemlisi kıyı tahribatıdır (Uzun 1998, 2000; Duru, 2003; Arslan ve Özalp, 2018). Bu tahribat bazı yerlerde denizin doldurulması, bazı yerlerde ise karada doğal topoğrafyanın değiştirilmesi ve bitki örüsünün zarar görmesi şeklindedir. Sahil boyunca sıralanmış irili-ufaklı kentlerin deniz ile bağlantısının kesilmesi ve kıyı estetiğinin bozulması da ayrı bir eleştiri konusu olmuştur. KSY'nun bir diğer olumsuz özelliği de, arkasındaki topoğrafyaya göre daha yüksek bir dolgu niteliğinde olduğundan yüzeysel drenaja karşı bir bariyer gibi davranmasıdır. 2019 yılı Ağustos ayında gerçekleşen aşırı yağışlarda Terme sanayi sitesi bölgesi ve doğusunda yüzeysel suların Karadeniz sahil yolu arkasında göllenmesi bunun en somut ve güncel örneğidir.

Karadeniz sahil yolunun yukarıda kısaca değinilen ve artık geri dönüşü olmayan çevresel etkileriyle birlikte, nispeten olumlu sayılabilecek iki husus vardır. Bunlardan birincisi, sahil boyunca yer yer mahmuz şeklinde dalgakıranlar inşa edilerek plajların zamanla genişlemesi ve hatta yeni plajların oluşması, ikincisi de bölgenin iklimi sayesinde doğanın bitki örtüsü yönüyle kısa zamanda kendini yenileyebilmesidir. Öyle ki, yol kenarları, yol dolgusu yamaçları, balıkçı barınakları ve mahmuzlar için yapılan dolgular ağaç ve otsu bitkilerle kaplanmıştır.

Çalışma alanı, Giresun ile Piraziz arasındaki kıyı bölgesidir (Şekil 1). KSY inşaatı kapsamında kıyı boyunca yol dolgusunu korumak ve plaj oluşumunu sağlamak amacıyla yer yer mahmuzlar inşa edilmiştir. Bazı bölgelerde mahmuzların etkisiyle yeni plajlar oluşmuş, bazı yerlerde mevcut plajlar deniz yönünde genişlemiştir. Bazı balıkçı barınaklarının giriş yerleri istenmemesine rağmen malzeme ile dolarken, mahmuzlar inşa edilen bazı yerlerde plaj oluşumu gerçekleşmemiştir. Bu çalışmada, Giresun-Piraziz arasındaki bölgede güncel plaj oluşumları ve buna bağlı olarak kıyı çizgisi değişimleri incelenmiştir. KSY'nun büyük ölçüde tamamlandığı tarihten (2006) bu yana değişim hızları, seçilen bazı bölgelere göre analiz edilmiş ve plaj oluşumlarına etki eden ana unsurlar incelenmiştir.

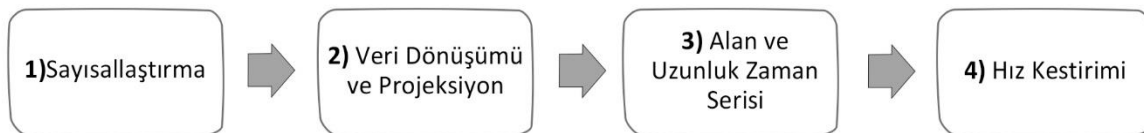


Şekil 1. İnceleme alanının bulduru haritası (Location map of the study area)

## 2. İnceleme ve Analiz Yöntemi (Investigation and Analysis Method)

Çalışma alanında detaylı analizlerinden önce iki günlük bir arazi çalışması ile çalışma alanının doğu ve batı sınırları belirlenmiş, KSY ile balıkçı barınakları, dalgakıranlar ve plajların genel durumu incelenmiştir. KSY öncesi durum 1956 tarihli askeri hava fotoğrafları (DSİ arşivinden alınmıştır) ve G40 paftası içindeki 1/25000 ölçekli topografya paftalarından faydalanılmıştır. KSY inşaatından sonra zamana bağlı değişimler ise uydu görüntülerinden faydalanılarak analiz edilmiştir.

Alansal değişim ve plaj genişleme (kıyı çizgisi ilerleme) hızlarının kestirilmesi için kullanılan akış Şekil 2’de verilmiştir. Birinci adımda hızların kestirilmesi için gerekli zaman serileri Google Earth Timelapse yeteneği (Google Earth Pro, 2020) kullanılarak 2006 yılından bu yana belli aralıklarla güncellenmiş uydu görüntülerinden sayısallaştırma tekniği ile elde edilmiştir. Sayısallaştırma CNES/Airbus ve Maxar Technologies tarafından sağlanan 2006-2020 arası uydu görüntüleri üzerinde Google Earth Pro çizim araçları kullanılarak yapılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen bölgeler Bölüm 5.2’de tanımlanmıştır. Her bir bölge için 10 ile 16 arasında değişen sayıda farklı tarihli uydu görüntüsü sayısallaştırmada kullanılmıştır. Sahil yolu ve mahmuz gövdelerinde yıllara göre uydu görüntülerinde değişmeyen noktalar (tabela, bina, köprü v.b.) belirlenmiştir. Bu noktalara dayalı olarak denizin kara ile temas ettiği noktalar ile kıyı sayısallaştırmaları tamamlanmış ve KML formatında kaydedilmiştir. İkinci adımda sayısallaştırma ile elde edilen poligonlar ogr2ogr (GDAL, 2020) yazılımı ile her bir mahmuz arası için ayrı ESRI Shape formatında dosyaya dönüştürülmüştür. Her ara için oluşturulan ve WGS84 datumundaki (EPSG:4326) dosyalar alan ve uzunluk hesapları için GeoPandas kütüphanesi (GeoPandas, 2020) kullanılarak WGS84 UTM 37 dilimine (EPSG:32637) projekte edilmiştir. Üçüncü adımda mahmuz aralarının yıllara göre alan ve plaj genişlikleri Python programlama dilinde yazılmış bir betik ile hesaplanıp, zaman serisi olarak MS Excel dosyalarına aktarılmıştır. Dördüncü ve son adımda lineer regresyon yöntemiyle  $m^2/yıl$  cinsinden alansal değişim, belirli hatlarda  $m/yıl$  cinsinden plaj genişleme (kıyı çizgisi ilerleme) hızı kestirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, görsel olarak ve Google Earth Pro analizi ile örneklem yapılarak doğrulanmıştır.



Şekil 2. Veri işleme akış şeması (Flow chart of the data proces)

### 3. Deniz Kıyılarında Aşınma ve Birikme Mekanizması (Erosion and Sedimentation Processes along the Coastline)

Kara ile su ortamı arasında geçişi temsil eden kıyılar (Cirirtci ve Türk, 2019) kendine özgü birçok dinamik sürece sahne olmaktadır (Mahboob and Atif, 2016; Kadioğlu vd. 2019). Deniz veya okyanus kıyılarında dalga ve akıntı etkisiyle aşınma (erozyon) ve bunun tersi bir mekanizma olan birikme söz konusudur. Aşınma, karadan (araziden) kayıp, birikme ise kazanç olarak kabul edilebilir. Başka bir ifadeyle aşınma, kıyı çizgisinde karaya doğru gerileme, birikme ise denize doğru ilerleme ile sonuçlanmaktadır. Ancak kıyı dinamiği bu kadar basite indirilecek bir husus olmayıp, doğal ve yapay unsurların etkilerinin birlikte ele alınması gereken çok yönlü bir olaydır.

Deniz kıyılarında aşınma rüzgara bağlı olan akıntı ve dalga etkisiyle oluşmakta ve bu süreçte kıyı topoğrafyası ve morfolojisi ile jeolojisi ana faktör olarak bilinmektedir. Örneğin kıyı boyunca dik falezler, aşınmaya duyarlı ayrılmış kayalar ve özellikle kireçtaşı ve dolomit gibi kolay çözünebilen karbonatlı kayaların bulunması kıyı erozyonunu hızlandırmaktadır (Dipova 2005). Kıyılarda plajların oluşmasında denize dökülen akarsuların taşıdığı malzemenin etkisi önemlidir. Akarsuların denize malzeme taşınması aynı zamanda var olan plajların aşınmaya karşı sürdürülebilir bir şekilde korunması için vazgeçilmezdir. Örneğin, Antalya'nın batısında denize dökülen Boğaçay vadisinden kum-çakıl ocakları vasıtasıyla malzeme alınması Konyaaltı plajında kayıplara neden olmuştur (Dipova 2016; Apaydın vd. 2019). Akarsuların taşıdığı sedimentin denizde çökmesi ve dinamiği akıntı yönünün yanı sıra dalga dinamiğine de bağlıdır. Buna göre sediment taşınımı kıyının ön ve yakın kesimlerinde farklılıklar gösterir. Nitekim yakın kıyıda daha çok sürüntü halinde taşınım görülürken, ön kıyıda sürüntü ve askı hareketi biçiminde olmaktadır (Kırkgöz, 2002).

Akarsular tarafından denize taşınan malzemenin çökmesinde kıyı batimetrisi de belirleyicidir. Sığ sularda çökelim kıyıya yakın gerçekleşmekte, derin ve eğimli batimetriye sahip sularda malzeme taşınımı kıyıya nispeten daha uzak bölgelere kadar gidebilmektedir. Kıyılarda plaj oluşumunda veya mevcut plajların aşınmaya karşı korunmasında denize taşınan malzeme miktarı, niteliği ve sürekliliği, kıyı batimetrisi ile birlikte dalga ve akıntı dinamiğinin etkisi ana unsurlardır. Bu ana faktörlere ek olarak, doğal dalgakıran şeklindeki sık aralıklı iki burun arası küçük koylar, plajların oluşumu için uygun yerlerdir. Kıyı şeridinde yukarıdaki öğelerden biri veya birkaçının oluşmaması plajların yetersiz kalması veya yeterli konforda oluşmaması demektir (Gökçe ve Özcan, 2014).

Plaj oluşumunu sağlamak veya mevcutların aşınarak yok olmasını önlemek için bazı yapay yöntemler de uygulanmaktadır. Bunlardan biri, kıyıda inşa edilen mahmuz şeklindeki dalgakıranlardır. Çoğunlukla T şekilli olan mahmuzlar kıyı boyunca belirli aralıklarla kıyı çizgisine dik olarak çoğunlukla kaya bloklarıyla inşa edilirler. KSY boyunca inşa edilen 350 civarındaki mahmuzlar (çoğunlukla T ve bazen L şekilli) karayolu ve plajların korunması veya yeni plaj oluşumlarında önemli rol oynamaktadır (Süme, 2007; Kadioğlu ve Güner, 2018).

### 4. Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri (Location and General Features of the Study Area)

Çalışma alanı, KSY'nun Giresun limanı ile Piraziz arasındaki 21 km'lik kısmıdır. Bu kesimde KSY bazı yerlerde kara üzerinde, bazı yerlerde kıyı boyunca, bazı kesimlerde ise deniz doldurularak inşa edilmiştir (Şekil 3). KSY boyunca doğudan batıya doğru Giresun merkez (Çıtlakkale, Teyyaredüzü, Güre, Erikliman, Yalıköy mahalleleri), Küçükklü, Talipli, Burunucu köyleri, Bulancak, ve Piraziz yerleşimleri bulunmaktadır. Kıyı boyunca irili ufaklı 5 adet balıkçı barınağı, 40 adet "T" mahmuz bulunmaktadır.

1981-2010 iklim periyodu verilerine göre Giresun kıyı bölgesinde Aydeniz, Thonrthwaite ve De Martonne'a göre "nemli", Erinç'e göre "çok nemli", Köppen-Trawertha göre "kışı ılık, yazı çok sıcak ve her mevsim yağışlı iklim" hüküm sürer. Giresun meteoroloji istasyonunda 1929-2019 yılları arasında kaydedilen verilere göre Giresun'da yıllık ortalama yağış 1287,8 mm, yıllık ortalama sıcaklık 14,1 °C, yağışlı gün sayısı 160, en yağışlı ay Ekim (163,7 mm), en kurak ay Mayıs (67,7 mm) dir (www.mgm.gov.tr, erişim tarihi: 19 Eylül 2020).

Bölgedeki akarsular, Doğu Karadeniz Dağları'nın kuzeye bakan yamaçlarından doğarak birbirine çok yakın mesafelerden (2-7 km. aralarla) Karadeniz'e dökülmektedir. Çoğunlukla dar ve derin vadiler boyunca uzanan akarsuların bazılarının yatağı sahile yakın bölgelerde kısmen genişlemektedir. Piraziz-Giresun arasında her mevsim akışı olan akarsular batıdan doğuya doğru Piraziz Deresi, Domuz Deresi, Pazar Suyu, İncivez Deresi, Karadere, Bulancak Deresi, Erikliman Deresi, Küçükgüre Deresi, Büyükgüre Deresi ve Batlama Çayı'dır. Bunların en önemlileri olan Pazar Suyu 64 km, Batlama Çayı 33 km, Büyükgüre 20 km ve Küçükgüre 15 km uzunluğa sahiptir. Bu akarsuların debisi, bahar ve yaz aylarında artan yağış ve eriyen kar sularıyla yükselmektedir. En büyük iki akarsudan Pazarsuyu'nun ortalama debisi 21,4 m<sup>3</sup>/s, Batlama Çayı'nın ise 4,4 m<sup>3</sup>/s'dir (Giresun Valiliği, 2012). Kıyı boyunca devam eden kara yolu tarafından köprülerle geçilmiş olan söz konusu akarsular, özellikle şiddetli veya uzun süreli sağanaklardan sonra taşmakta, bazen de üzerlerindeki köprüleri tahrip ederek ulaşımın

aksamasına neden olmaktadır (Uzun, 2000). Bu akarsular sık sık meydana gelen sellerle (Avcı ve Sunkar, 2015, 2018; s Yurt, 2013) denize bolca malzeme getirmektedirler.

Giresun-Piraziz arasındaki 21 km KSY'nun Giresun, Bulancak ve Piraziz şehir içlerindeki kısımları eski sahil yolunun deniz tarafı doldurulmak suretiyle ayrı bir yol olarak, şehir dışındaki kısımlar ise eski yolun genişletilmesi ve kısmen yükseltilmesi şeklinde inşa edilmiştir. Bu yolun yaklaşık 8 km'si kara üzerinde, 13 km'si deniz içindeki dolgu üzerindedir. Kara üzerinden geçtiği yerler falez gerisi veya falez üstleridir. Yol, Giresun kenti batısında şehir plajları üzerinden geçirilmiştir. Bu bölgede KSY boyunca hakim bitki örtüsü fındık ve diğer meyve ağaçları ile kışın yapraklarını döken kızılâğaç, akçaağaç gibi ağaçlardan ibarettir. KSY kenarında ve bölünmüş yol arasındaki boşlukta dikilmiş ağaçlar ile kendiliğinden büyüyen ağaçlar ve otsu-dikenimsi bitkiler hakim olmuştur.



Şekil 3. Piraziz-Giresun arasında KSY'nun karada, deniz içinde ve plajlardan geçtiği kısımlar (The parts of Piraziz-Giresun where the KSY passes on land, sea and beaches)

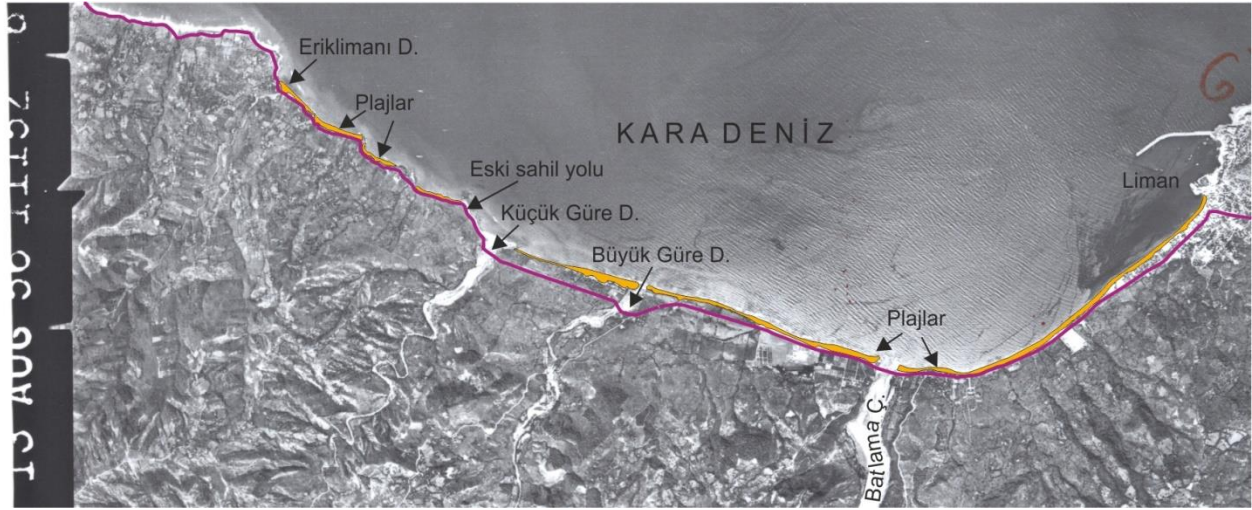
## 5. Elde Edilen Bulgular (Findings)

### 5.1. KSY'nun Kıyı Çizgisi ve Kıyı Dinamiğine Etkisi (Effects of the KSY on the Coastline and Dynamics)

Ülkemizde, yürürlükte olan 3621 sayılı ve bu kanunun bazı maddelerinde değişiklik yapılmasına dair 3830 Sayılı Kıyı Kanunu'na göre, deniz sahillerinde suyun kara parçasına değdiği noktaların birleşmesinden oluşan, meteorolojik olaylara göre değişen doğal çizgi "kıyı çizgisi", alçak-basık kıyı özelliği gösteren kesimlerinde kıyı çizgisinden sonraki kara yönünde su hareketlerinin oluşturduğu kumsal ve kıyı kamularından oluşan kumluk, çakıllık, kayalık, taşlık, sazlık, bataklık benzeri alanların doğal sınırı; dar- yüksek kıyı özelliği gösteren kesimlerinde ise şev ya da falezin üst sınırı ise "kıyı kenar çizgisi" olarak adlandırılmıştır. Kıyı ise kıyı çizgisi ile kıyı kenar çizgisi arasındaki alandır. Kıyı kenar çizgisinden itibaren kara yönünde yatay olarak en az 100 metre genişliğindeki alan ise "sahil şeridi"dir. Yapılan çalışmada, KSY'nun Giresun-Piraziz arasındaki bölgede kıyı çizgisi, kıyı kenar çizgisi ve sahil şeridi ile ilişkisi konusunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

Çalışma alanında yer yer dik ve dike yakın falezlerin bulunduğu yerlerde, falez önlerinde plajlar yoksa kıyı çizgisi kıyı kenar çizgisi ile neredeyse çakışmaktadır. Bu kısımlarda KSY falezin hemen üzerinden, çoğunlukla da kıyı çizgisine çok yakın olmak üzere sahil şeridinden veya biraz gerisinden geçirilmiştir. Çok sınırlı olarak iki çizgi arasında çoğunlukla 100 m'yi geçmeyen kıyı (çoğunlukla plaj ve akarsu ağızı alüvyon düzlükleri) bulunmaktadır. KSY, bu kesimlerde bazı yerlerde "kıyı" alanına girmiş, hatta bazı bölümlerde deniz doldurulmak suretiyle doğal kıyı çizgisi denize doğru ötelenmiştir. Söz konusu yol, sahil şeridinin kara tarafına neredeyse hiç geçmemektedir. Yer yer sahil şeridi, yer yer kıyı ve deniz içinde dolgu yapılarak inşa edilen KSY'nun inceleme bölgesinde kıyı boyunca yaptığı değişiklikler şu şekildedir:

- 1- Kıyı çizgisi (denizin doldurulması) ve kıyı kenar çizgisinin (plaj ve düzlüklerde) bozulması/ihlali: Bu durum Giresun şehir geçişi ve Bulancak ile Piraziz arasında söz konusudur. Aslında Giresun şehri batı kıyısında, Batlama Çayı liman arasında KSY'ndan önce de plaj ve denizde doğu yapılmıştır. Bu olaydan önceki durumu gösteren 1956 yılına ait hava fotoğrafında (DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi arşivinden alınmıştır) bu kesimde kesintisiz bir plaj bulunduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4). Batlama Çayı doğusundaki eski kumsallar karayolu yapımı sonucu meydana gelen kıyı dolgusu altında kalmıştır (Şekil 5).

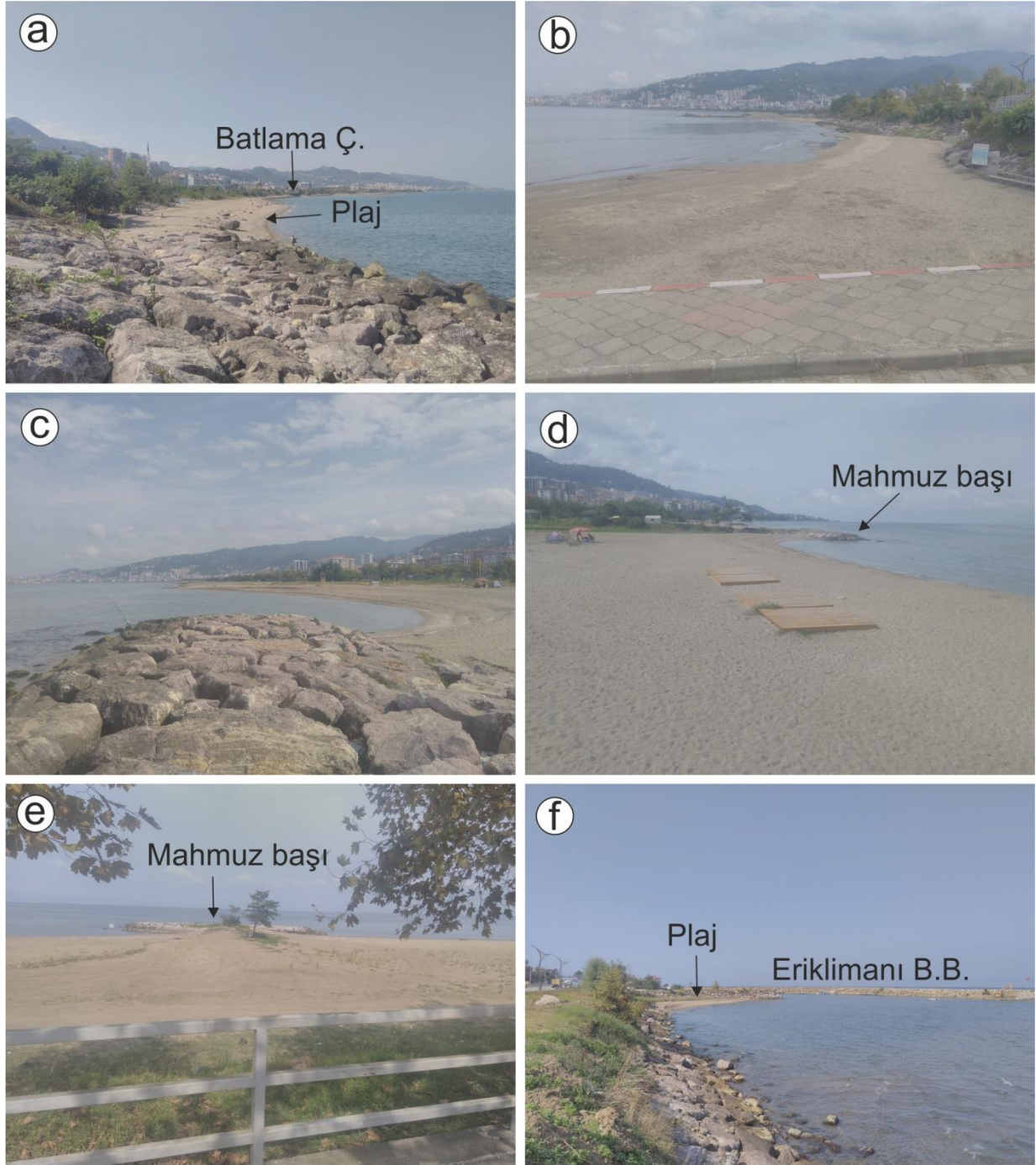


Şekil 4. Giresun batısında eski hava fotoğrafında (13.08.1956 tarihli uçuş) plajların konumu (The location of the beaches in the old aerial photograph (flight dated 13.08.1956) in the west of Giresun)



Şekil 5. KSY'nun deniz içi dolgularından görüntüler (a: Giresun Limanı ile Batlama Çayı arası, b: Bulancak sahili, foto: Ahmet Apaydın, 26.09.2020) (Images from KSY's sea fillings (a: Between Giresun Port and Batlama Stream, b: Bulancak beach, photo: Ahmet Apaydın, 26.09.2020)

- 2- Karada denize doğru doğal yamaç eğiminin ve deniz tabanı batimetrisinin değişmesi: Yolun tamamında kenarlarda veya denizde dolgu yapılarak topoğrafik görünüm değişmiştir. Denizin doldurulduğu kısımlarda ise kıyı çizgisi ilerlemiş, ayrıca mahmuzlar arasında ve bazı balıkçı barınakları (örneğin Erikliman balıkçı barınağı) kenarlarında yeni plajlar oluşarak ve ayrıca mevcut plajlar genişleyerek kıyı batimetrisini değiştirmiştir (Şekil 6).
- 3- Dik yamaçlarda kazılar nedeniyle topoğrafyanın değiştirilmesi: Eğimli arazilerin bulunduğu Erikliman-Bulancak arasındaki bölgede kazılarla ve kazı sonrası dolgu ile doğal topoğrafya değişmiştir.



**Şekil 6.** Batlama Çayı doğusunda KSY dolgusu eteğinde güncel plaj oluşumu (a), Emniyet Plajı doğusunda genişlemekte olan plaj (b), Teyyaredüzü-Güre bölgesinde KSY ile birlikte inşa edilen mahmuzlara bağlı olarak genişlemekte olan uzun plajlar (c,d,e), Erikliman balıkçı barınağı doğusunda KSY dolgusu ve ilerisinde yeni plaj oluşumu (f) (Foto: Ahmet Apaydın, 26.09.2020)(Current beach formation at the foot of the KSY embankment in the east of Batlama Stream (a), the beach that is expanding to the east of the Emniyet Plajı (b), the long beaches that are expanding due to the groynes built with the KSY in the Teyyaredüzü-Güre region (c, d, e), Erikliman fishing shelter KSY embankment in the east and a new beach formation beyond (f) (Photo: Ahmet Apaydın, 26.09.2020)

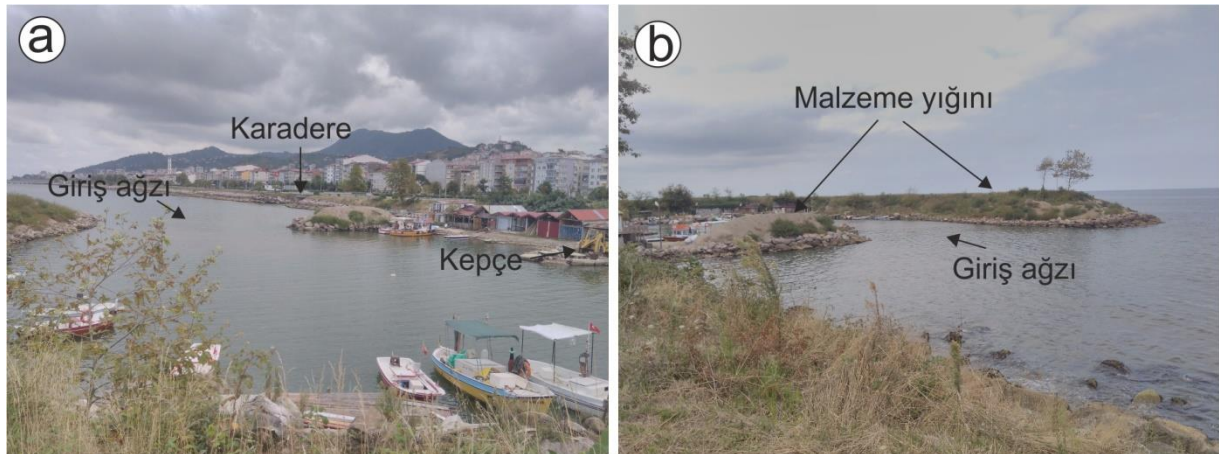
- 4- Doğal akarsu ve kıyı dinamiğinin yol dolgusu, mahmuzlar, balıkçı barınakları, kıyı çizgisindeki köprü ve menfez yapıları ile değiştirilmesi: Kıyı boyunca eski yol dolguları ve KSY dolgusu nedeniyle kıyı çizgisi ilerlediğinden, akarsuların boyu uzamıştır. Başka bir ifadeyle, özellikle Batlama, Küçük ve Büyük Güre dereleri ile Bulancak-Piraziz arasında Karadere, İncivez ve Pazar suyunun denize ulaşımı bariz bir şekilde ötelenmiştir. Eskiden daha geride ve nispeten daha yüksek bir eğimle denize ulaşan bu akarsular, KSY yapıldıktan sonra uzaklaşan Karadeniz'e gerideki doğal yatağına göre daha düşük bir eğimle, KSY dolgusu içinde köprü menfezlerinden geçerek daha uzakta ulaşmaktadır. Ayrıca, KSY'nun geçtiği deniz kıyısındaki köprülerin altında, hem eğimin düşük olması, hem de dalga etkisiyle malzeme birikerek menfez açıklığının daraldığı gözlenmiştir (Şekil 7). Giresun-Piraziz arasında çoğunlukla plaj bölgelerinde ve KSY'nin deniz doldurularak geçtiği yerlerde inşa



edilen mahmuzlar ve balıkçı barınakları da kıyı dinamiğini değiştirmiştir. Akarsu ağızlarına yakın olan ve giriş ağzı akarsu tarafına dönük olan balıkçı barınaklarının (örneğin ağzı Erikliman deresine bakan Erikliman balıkçı barınağı ve Karadere'ye bakan Bulancak balıkçı barınağı) giriş ağzı ve içinin malzeme ile dolması değişen kıyı dinamiğinin bir sonucudur (Şekil 8). Sığılan balıkçı barınaklarının sallama kepçelerle sık sık temizlenmesi de bu dinamığa ayrı bir etki olarak değerlendirilebilir.



**Şekil 7.** Karadere (a) ve İncivez (b) deresinde KSY köprüsü altında dalga etkisi ve düşük eğime bağlı malzeme birikmesi sonucu daralan menfezler (Foto: Ahmet Apaydın, 25.09.2020) (In Karadere (a) and İncivez (b) creeks, the culverts narrowing as a result of material accumulation due to wave effect and low slope under the KSY bridge (Photo: Ahmet Apaydın, 25.09.2020))



**Şekil 8.** Balıkçı barınaklarında sediment malzemenin temizlenmesine bir örnek: Bulancak balıkçı barınağı (çıkarılan malzeme mahmuzlar üzerine depolanmıştır) (Foto: Ahmet Apaydın, 25.09.2020) (An example to excavation of the sediments in the fishermen's shelters: Bulancak fishing shelter (the extracted material was stored on groynes) (Photo: Ahmet Apaydın, 25.09.2020))

- 5- Denize olan yüzeysel drenajın engellenmesi (yol dolgusunun bariyer yapması ve menfezlerin ve köprü açıklıklarının aşırı yağışlarda yetersiz kalması): KSY, arkasındaki doğal arazi kotundan yüksek dolgu üzerindedir. Bu nedenle kıyı bölgesinde özellikle eğimin düşük olduğu bölgelerde yağış sularının doğrudan denize ulaşımına bir bariyer şeklinde engel olarak bu suların menfezlere, derelere veya şehir içlerinde mazgallara yönlendirmektedir. Akış yolunun uzaması, mazgalların veya menfezlerin tıkanması sonucunda yol dolgusu gerisinde göllenmeler olabilmektedir. Bu göllenmeler şiddetli ve uzun süreli yağışlarda yerleşim bölgelerinde yatağına sığmayarak taşan derelerin etkisine artı bir olumsuzluktur. Bu olay Giresun batısı ve Bulancak-Piraziz arasında zaman zaman gerçekleşmektedir.
- 6- Plajların küçülmesi, bozulması: KSY, başka bölgelerde olduğu gibi Giresun batısındaki plajları da kısmen tahrip etmiştir. Aslında, sadece KSY değil, onun öncesinde inşa edilen eski yol, Giresun limanından Güre'ye kadar çoğunlukla eski doğal plaj üzerindedir.
- 7- Kent estetiğinin bozulması, kent ile deniz arasındaki bağlantının yol ile kesilmesi-zorlaşması: Bu durum inceleme alanındaki üç büyük yerleşim olan Giresun, Bulancak ve Piraziz için de söz konusudur.

8- Ağaç kesilmesi-bitki örtüsü tahribatı: KSY'nun inceleme bölgesinde belki de en hafifi denebilecek tahribatıdır. Çünkü her mevsim yağışlı ılıman iklime sahip bu coğrafyada doğa bitki örtüsü yönüyle kendini çok kolay yenilemektedir: Yol dolgusunun denize bakan yamaçlarında, balıkçı barınakları ve hatta mahmuzlar üzerinde bile ağaçların ve otların büyümesi bunun olumlu göstergesidir.

## 5.2. Güncel Plaj Oluşumları ve Kıyı Çizgisi İlerleme Hızı (Current Beach Formation and Advance Rate of the Coastline)

Çalışma bölgesinde; mevcut plajlar, mahmuzların yerleri, denize ulaşan akarsular, kıyı uzanımı ve kıyı boyunca bulunan diğer yapılar ile güncel plaj oluşumları göz önüne alınarak dikkate değer 10 bölge incelenmiştir (Şekil 9). Bu bölgelere ait tanımlayıcı bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.



**Şekil 9.** Mahmuz, eski plaj ve yeni plaj oluşumlarına göre belirlenen bölgelerin 7.8.2019 tarihli Google Earth görüntüsü üzerinde çizilen sınırları (The locations of the regions determined according to the groynes, old beach and new beach formations drawn on the Google Earth image dated 7.8.2019)

**Tablo 1.** Giresun-Piraziz arasında belirlenen inceleme bölgelerine ait bilgiler (Data on the studied locations between Giresun and Piraziz)

No	Yer	Kıyı Uzanım	Top. Uzunluk (m)	Mahmuz Sayısı	Mahmuz Aralığı (m)	Mahmuz Boyu (m)	Güncel Plaj	Akarsu
1	Piraziz	D-B	1460	14	52-188	72-98	Çok az	-
2	Piraziz	D-B	545	4	150-175	110-130	Çok az	-
3	Maden	D-B	610	4 (doğusunda balıkçı barınağı)	185-215	108-115	Az	Pazar suyu
4	Bulancak batısı	KB-GD	(Plaj) 480	Yok (batısında balıkçı barınağı)	-	Plaj genişlik 120	Var	Küçük iki dere
5	Küçüklü	D-B	860	Yok (doğusunda balıkçı barınağı)	-	-	Yok	-
6	Erikliman	KB-GD	200	1 (batısında balıkçı barınağı)	-	97	Var	Erikliman D.
7	Erikliman	KB-GD	315	Yok (doğusunda doğal burun)	-	-	Yok	-
8	Erikliman	KB-GD	250	3	90-158	68-90	Var	Çok küçük iki dere (kapalı menfez)
9	Giresun Plajları (Güre)	KB-GD	1750	11	155-360	110-140	Var	Büyük Güre D, Küçük Güre D.
10	Batlama ağzı	KB-GD	1530	4	185-320	100-130	Batıda az, doğuda var	Batlama Ç.

**1 No.lu Bölge (Piraziz):** Piraziz balıkçı barınağı doğusunda D-B uzanımlı düz bir hat boyunca uzanır. Batı kıyısı KSY deniz dolgusu, doğu tarafı ise doğal kıyidan ibarettir. Batıda uzun (98 m) ve geniş aralıklı (188 m) 4 adet mahmuz, doğuya doğru devamında ise daha kısa (72 m) ve daha sık aralıklı (52 m) mahmuzlar bulunmaktadır. 2006 yılından itibaren Google Earth görüntüleri üzerinde yapılan incelemede, seyrek aralıklı mahmuzların olduğu bölgede plaj oluşumunun hiç gerçekleşmediği, doğu tarafta ise mahmuz diplerinden başlayarak zamanla yavaş yavaş plaj oluştuğu görülmektedir. Ancak, mahmuz araları henüz dolmamıştır.

**2. No.lu Bölge:** Sivri olmayan iki burun arasında dört adet mahmuzun bulunduğu bölgedir. Mahmuz diplerinden başlayan yavaş bir plaj oluşumu söz konusudur. En batıdaki mahmuzun uzanımı solundaki kıyıya neredeyse paralel olduğundan, mahmuz ile doğal kıyı arası hızla dolarak plaj oluşumu gerçekleşmiştir.

**3 No.lu Bölge:** Pazar Suyu ağzında olan bu bölgede 4 adet mahmuz ve mahmuz aralıkları kadar mesafede olmak üzere, doğu tarafta balıkçı barınağı dolgusu bulunmaktadır. Bölgenin batısında ise yayvan bir doğal burun bulunmaktadır. Denize yoğun malzeme taşıyan Pazar Suyu, mahmuzların ortasından denize ulaşmasına rağmen her iki tarafta da hızlı bir plaj oluşumu gerçekleşmemiştir. Sadece doğudaki balıkçı barınağının batı kenarında plaj oluşumu başlamıştır.

**4 No.lu Bölge:** 3 no.lu bölgenin doğusunda bulunan balıkçı barınağının doğusundadır. Yol dolgusunun kavisli bir kıyı oluşturduğu bu bölgede balıkçı barınağı kaya dolgusunun dış kısmında plaj oluşumu görülmektedir. Aslında Piraziz ile Erikliman arasındaki balıkçı barınaklarında, çoğunlukla giriş ağzına yakın derelerin getirdiği malzemenin de etkisiyle sığlaşma sorunu bulunmaktadır. Kayıkların barınağa giriş-çıkışının sağlanabilmesi için en azından giriş ağzında belli bir şeridin sallama kepeçlerle malzeme alınması suretiyle temizlenmektedir.

**5 No.lu Bölge:** Küçüklü plajının bulunduğu bölgedir. Burada mahmuz inşa edilmemiştir. Batıdaki doğal burun ve doğudaki Yalıköy balıkçı barınağı arasında bir koy şeklindedir. Bu bölgede KSY plaj kenarında 3-4 m yüksekliğindeki duvarın gerisinden geçmektedir. 1956 yılına ait hava fotoğrafında (bkz. Şekil 3) burada plaj bulunduğu anlaşılmaktadır. Ancak kıyı çizgisinde KSY'den sonra bir değişme gözlenmemiştir.

**6 No.lu Bölge:** Erikliman balıkçı barınağının giriş ağzı tarafında dar bir bölgedir. Balıkçı barınağının kıyıya dik olan kısa dolgusunun kenarı ve doğuya doğru Erikliman Deresi ağzında güncel plaj oluşumu gözlenmektedir.

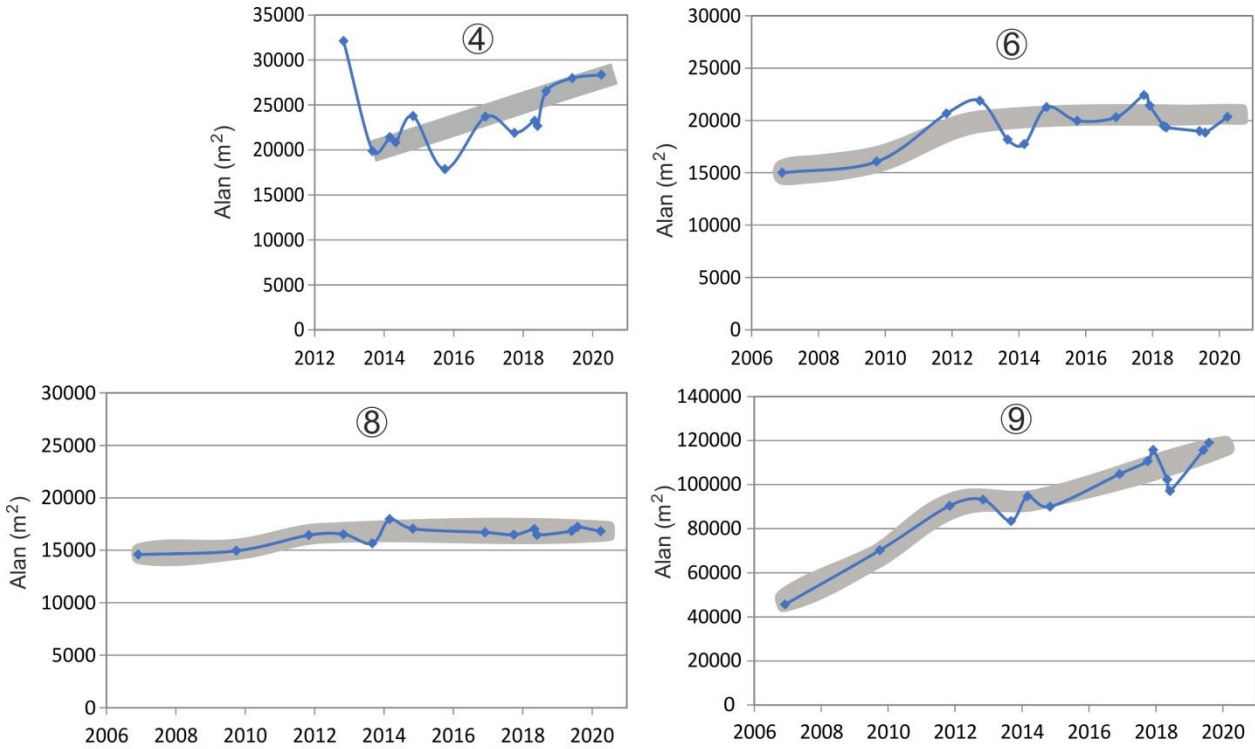
**7 No.lu Bölge:** Erikliman'da sahil evlerinin önündeki plajdır. Doğusunda falezli bir burun ile sınırlanmıştır. Bu bölgede KSY plajın gerisinde sahilden geçmektedir. Yolun plaja doğrudan bir etkisi olmamıştır. Kıyı çizgisinde KSY'den sonra bir değişme gözlenmemiştir.

**8 No.lu Bölge:** Erikliman'ın Gaziler mahallesi tarafında üç adet mahmuz arasında KSY öncesinde de var olan küçük bir plajdır. KSY plajın gerisinde, 5-6 m yükseklikteki dolgu ve falezin arkasından geçmektedir. Mahmuzlar KSY'dan sonra plajları korumak amacıyla inşa edilmiştir. Mahmuz yapımından sonra plaj genişlemiş ve kıyı çizgisinde bir ilerleme meydana gelmiştir.

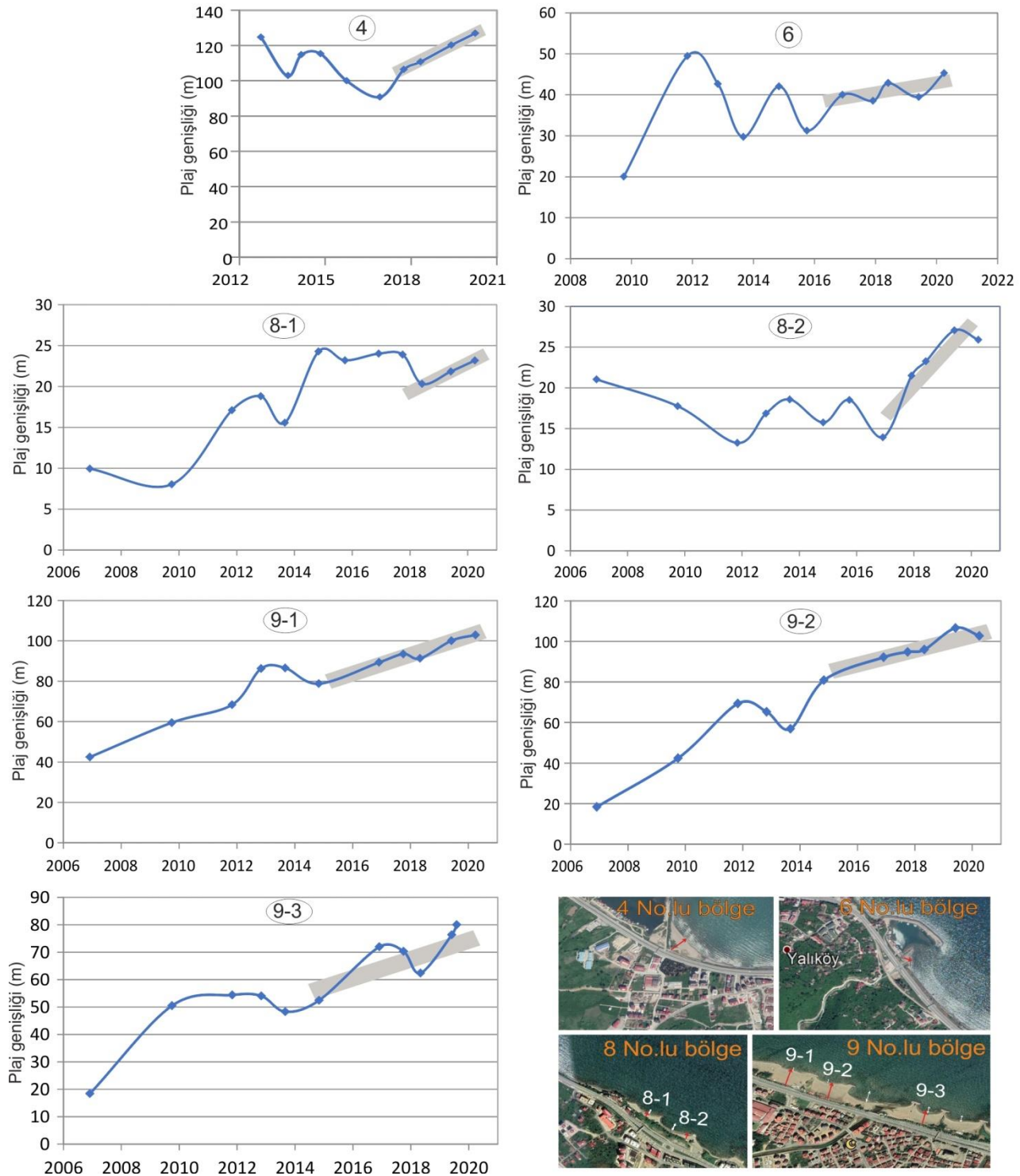
**9 No.lu Bölge:** Giresun şehir plajlarının bulunduğu 1750 m uzunluktaki bölgedir. Burada KSY'dan önce var olan plajlar KSY dolgusu nedeniyle daralmıştır. Ancak yol kapsamında inşa edilen toplam 11 adet mahmuzlarla plajlar zamanla genişlemiştir. İnceleme alanında KSY yapımından sonra en fazla genişleyen ve buna bağlı olarak kıyı çizgisi en fazla ilerleyen plajlar buradadır. Öyle ki bazı yerlerde plaj oluşumu mahmuzların ucuna neredeyse ulaşmış durumdadır.

**10 No.lu Bölge:** Batlama Çayı'nın denize döküldüğü bölgenin doğu ve batısındaki yaklaşık 800 m'lik kısımdır. Doğu tarafta mahmuz yoktur, batı tarafta ise üç adet mahmuz ve bunların da batısında Emniyet mensuplarına ait dinlenme tesisleri bulunmaktadır. Mahmuzlar arasında yeni plaj oluşmamıştır, ancak batı taraftaki mahmuz ile dinlenme tesisleri arasında yeni plaj oluşumu devam etmektedir. Batlama Çayı'nın doğu tarafında ise KSY dolgusunun kıyı boyunca döküntüsü üzerinde dar ve kısa bir plaj oluşmuştur.

Piraziz-Giresun arasında KSY'na bağlı olarak güncel plaj oluşumu en fazla olan dört bölgede (4, 6, 8 ve 9 no.lu) plajlarda alansal büyüme ve kıyı çizgisi ilerleme hızlarına ait grafikler Şekil 10 ve 11'de, 9 No.lu bölgede (Giresun şehir plajları) plajların farklı yıllara ait görüntüleri Şekil 12'de verilmiştir.



**Şekil 10.** Bazı plajlarda (Şekil 8'de 4,6,8 ve 9 no.lu bölgeler) zamanla gerçekleşen toplam alansal genişlemelere ait grafikler (Graphs of the total spatial expansion over time in some beaches (regions 4, 6, 8 and 9 in Figure 8))



**Şekil 11.** Bazı plajların değişik yerlerinde kıyı çizgisinde zamana bağlı değişim grafikleri (kırmızı ok plaj genişliğinin ölçüldüğü, beyaz ok ise 2020 yılında kıyı çizgisinden mahmuz ucuna mesafenin ölçüldüğü hattı göstermektedir) (Time-dependent graphs on the coastline at various locations of some beaches (the red arrow shows the line where the width of the beach is measured, the white arrow shows the distance from the shoreline to the tip of the groyne in 2020))



**Şekil 12.** Kıyı çizgisinde en fazla ilerleme olan 9 No.lu bölgede (Giresun şehir plajları) plajların farklı yıllardaki Google Earth görüntüleri (Google Earth images of the beaches in various years in the region No. 9 (Giresun city beaches) with the highest progress on the coastline)

İnceleme alanında kıyı çizgisi değişimi ve plaj oluşumlarının yanında, inşa edilen mahmuzlara bağlı olarak lagün, tombolo veya kıyı oku gibi kıyı yapılarının oluşumu da araştırılmıştır. Yaklaşık 21 km uzunluğundaki çalışma alanında lagün oluşabilecek düz ve geniş bir topoğrafya yoktur. Ayrıca, tombolo oluşumuna neden olabilecek, kıyıya yakın bir adacık bulunmamaktadır. 9 no.lu bölgenin batı sınırında, kıyı çizgisinden en az 150-200 m ileriye kadar küçük kayalıklar bulunmaktadır. Bu kayalıkların da etkisiyle burada bir kıyı oku oluşumu gerçekleşmektedir (Şekil 13). Kıyı okunun çoğunlukla su seviyesi altında, bazen de çok az su üstüne çıkar halde görünen bu kayalıklara doğru ilerlemeye devam etmesi güçlü bir ihtimaldir. Bu kesimde, plaj genişlemesi mahmuzların ucundan sonra da kayalıklara doğru devam edecek ve kayalıkları örtecek gibi görünmektedir.



Şekil 13. 9 no.lu bölgenin batısında kıyı oku oluşumu (Coastal arrow formation in the west of zone 9)

### 5.3. Plaj Oluşumunda Ana Etkenler (Major Effects on the Beach Formation)

Giresun batısında güncel, yani KSY inşa edildikten sonra kıyı çizgisi değişiminde (plaj oluşumu) ana faktörler aşağıda irdelenmiştir.

**1-Mahmuzlar ve balıkçı barınaklarına ait dolgular:** Güncel plaj oluşumunda ve mevcut plajların zamanla genişlemesinde, dolayısıyla kıyı çizgisinin ilerlemesinde ana etkenlerdir. Giresun-Piraziz arasında yeni oluşan plajların tamamı bu yapay dolgulara bağlıdır. Bazı yerlerde (örneğin, 8 ve 9 no.lu bölgeler) plajlar zamanla genişlemiş olup, kıyı çizgisi bazı yerlerde mahmuz başlarına ulaşmak üzeredir.

**2-Akarsuların taşıdığı sediment malzemenin katkısı:** Daha önce de değinildiği gibi, deniz kıyısında plaj oluşumunda akarsu sediment yükü etkilidir. Giresun-Piraziz arasında Karadeniz'e dökülen akarsular denize özellikle yoğun yağışlara bağlı olarak malzeme taşımaktadır. Bu malzeme akarsu ağızlarında ve özellikle giriş ağzı yakındaki derelere bakan balıkçı barınaklarında malzeme dolması ile sığlaşma ile kendini göstermektedir. Ancak, her akarsuyun denize ulaştığı bölgede plaj oluşumu gerçekleşmemekte veya aynı hızda olmamaktadır. Örneğin, Batlama Çayı'nın getirdiği malzeme 10 no.lu bölgenin batısında mahmuzlar inşa edilmesine rağmen yeni plaj oluşturamamıştır.

**3-Deniz altı topoğrafyası (deniz tabanı eğimi ve su derinliği):** Plaj oluşumunda denizin akarsular tarafından getirilen malzeme ile beslenmesi önemlidir ancak, bunun tek başına yeterli olmadığı Batlama Çayı'nın hemen ağzında bulunan 10 no.lu bölge en bariz örneğidir. Burada KSY inşaatıyla birlikte mahmuzlar inşa edilmesine rağmen yeni plaj oluşumu gerçekleşmiştir. Bunun en büyük nedeni deniz tabanı batimetrisi olup, bu kesimde kıyından itibaren deniz tabanı hızla derine dalmaktadır (Şekil 14). Burada KSY deniz üzerindeki dolgu üzerinden geçirilmiştir. Bu nedenle kıyı çizgisi denizin daha derin bölgesine doğru ilerlemiştir. Eski hava fotoğraflarında görülen doğal plajları oluşturan sığ kıyı bölgesinden daha derin bölgeye ötelenmiş olması nedeniyle plaj oluşumu ancak uzun zamanda oluşabilecek veya mahmuzlara rağmen belki de hiç oluşamayacaktır.

**4- Doğal koruyucu burunlar:** Yay görünümlü dar birer koy şeklinde olan 5 ve 7 no.lu bölgelerde plaj oluşumu her iki tarafta doğal burun olması ve kısmen de mahmuzlara bağlı olarak gelişmektedir.



Şekil 14. Piraziz-Giresun arasında incelenen lokasyonların ESRI (2020) batimetri haritasında konumları (The locations of the investigated sites between Piraziz and Giresun on the ESRI (2020) bathymetry map)

## 6. Sonuçlar ve Tartışma (Conclusion and Discussion)

KSY Giresun limanından şehir plajlarının doğusuna kadar deniz doldurularak, plaj bölgesinde kumsal üzerine dolgu yapılarak, plajların batısındaki Gaziler mahallesinden Bulancak girişine kadar büyük oranda karadan geçmiştir. Bulancak doğu girişinden batıdaki Pazar Suyu köprüsüne kadar olan bölgede deniz doldurularak inşa edilen yol, buradan Piraziz'e kadar kısmen karada, kısmen de deniz dolgusu üzerindedir. KSY, Bulancak-Piraziz arasında iç kısımdaki eski yol kotuna ve doğal topoğrafyaya göre 1,5-2 m yüksektedir. Genişliği minimum 28 m olan bölünmüş yol, ilave kıyı dolgusu, kent içi kaldırımları ve yürüyüş yolları ile birlikte yer yer 45-50 m'ye ulaşmaktadır. Kavşaklarda ve park, dinlenme tesisi vb. yerlerde (örneğin Giresun şehri batısında ve Bulancak'ta) toplam genişlik 100 m'nin üzerine çıkmaktadır. Buna göre Piraziz-Giresun arasında yolun deniz dolgusu ile inşa edildiği kesimlerde kıyı çizgisi 28 m ile 100 m arasında ilerlemiştir.

KSY ile birlikte inşa edilen mahmuzlara bağlı olarak, Giresun şehir plajları (9 No.lu bölge) 2006 yılından 2020 yılına kadar alansal olarak genişlemiş ve bu süre içinde orta kısımda (bkz. Şekil 11, 9-1, 9-2 ve 9-3 segmentleri) kıyı çizgisi 60-85 m ilerlemiştir. Bu bölgenin batı tarafında ilerleme mahmuz ucuna neredeyse ulaşmış durumdadır. İlerleme her yıl aynı olmamakla ve bazı yıllar gerileme olmakla birlikte, 2006 ile 2020 yılları arasında gerçekleşen kıyı çizgisi değişimine göre ortalama ilerleme hızı 4,3 m ile 6 m arasında değişmektedir. Bu plajın tamamında (Büyükgüre deresi ağı hariç) genişleme, başka bir ifadeyle kıyı çizgisindeki ilerleme hızı son beş yıldaki haliyle devam ederse en geç 2028 yılında kıyı çizgisi mahmuz uçlarına ulaşacaktır.

Kıyı çizgisinde mahmuzlara bağlı ilerleme 9 No.lu bölge haricinde 4, 6 ve 8. bölgelerde de söz konusudur. Kıyı çizgisi ilerleme hızı 4 No.lu bölgede son 8 yıl için ortalama 28 cm, ancak son dört yıllık ortalama ilerleme ise 9 m gibi yüksek bir değerdir. Kıyı çizgisinin yılda ortalama ilerlemesi 6 No.lu bölgede 2,3 m, 8 No.lu bölgede 35 cm ile 1 m arasında değişmektedir. Son 2-3 yıldaki hız ise yılda 1,4 m civarındadır. Bu bölgede kıyı çizgisinin mahmuzların ucuna ulaşması için 16 ile 32 yıl gibi uzun yıllar geçmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Halkın kullandığı 8 ve 9 No.lu bölgede plajların daha da genişletilmesi istenirse zamanı geldiğinde mahmuz boylarının uzatılması önerilmiştir.

Sahil yolunun bazı bölgelerinde doğal topoğrafyadan yüksek ve geniş olan uzun ve düz hat dolgular, akarsuların denizle buluştuğu yerde inşa edilen köprüler, belli aralıklarla inşa edilen "T" şekilli mahmuzlar kıyının doğal görüntüsünü bozmuştur. Ancak bölgenin her mevsim yağışlı ılıman iklimi sayesinde kısa zamanda kıyıda bitki örtüsü oluşmuş, yol dolgusunun Karadeniz'e bakan yamaçları ve hatta dalgakıranlar ile balıkçı barınaklarına ait dolguların üzeri bile ağaçlar ve otlar ile kaplanmıştır.

KSY sadece kıyı çizgisini değiştirmekle kalmamakta, kıyı dinamiğini de doğrudan etkilemektedir. Değişen kıyı çizgisinde inşa edilen köprülerin altında, hem eğimin düşük olması, hem de dalga etkisiyle malzeme birikerek menfezlerin daraldığı görülmektedir. Özellikle Bulancak bölgesinde söz konusu olan bu durum, kolayca tıkanma sonucu taşkın riskini artırıcı rol oynadığından, buraların yetkili kurumlarca (Belediye, DSİ ve Karayolları) sürekli izlenmesi ve gerektiğinde temizlenmesi gerekir.

Giresun-Piraziz arasında çoğunlukla plaj bölgelerinde ve KSY'nin deniz doldurularak geçtiği yerlerde inşa edilen mahmuzlar ve balıkçı barınakları da kıyı dinamiğini değiştirmiştir. Akarsu ağızlarına yakın olan ve giriş ağı akarsu tarafına dönük olan balıkçı barınaklarının (örneğin ağı Erikliman deresine bakan Erikliman balıkçı barınağı ve



Karadere'ye bakan Bulancak balıkçı barınağı) giriş ağzı ve içinin malzeme ile dolarak barınağın sığlaşması, değişen kıyı dinamiğinin bir sonucudur.

Giresun-Piraziz arasındaki bölgeyi kapsayan bu çalışmada yapılan analizler ve değerlendirmelere göre KSY inşaatından sonra yeni plaj oluşumunda veya mevcut plajların genişlemesinde T mahmuz şeklindeki dalgakıranların ve balıkçı barınaklarının etkisi başrolü oynamakla birlikte tek başına yeterli değildir. Akarsularla sediment taşınımı, deniz tabanı eğimi, su derinliği ve dalga hızı da önemli parametrelerdir. Örneğin, incelenen sahil şeridinde en büyük iki akarsudan biri olan Batlama Çayı sık sık taşmasına ve denize bolca malzeme getirmesine rağmen, KSY yapımından sonra sadece doğu tarafta dar ve kısa bir plaj oluşumu gerçekleşmiştir. 1956 yılına ait hava fotoğrafında, akarsuyun denize ulaştığı sahilin her iki tarafında plaj görülmektedir. Bu plaj eski sahil yolu (şimdiki iç yol) ve KSY altında kalmıştır. Bu bölgede güncel plaj oluşumunun yavaş gelişmesinde muhtemelen iki faktör etkilidir. Birincisi, batimetri haritalarında bu bölgenin nispeten dik eğimli ve derin olması, ikincisi de Batlama Çayı'nın akıntı hızının karaya doğru olan akıntı ve dalga etkisini kırarak kıyıya malzeme yığılmasını geciktirmesidir. Akarsuyun bu etkisi büyük bir ihtimalle Pazar suyu ağzında da söz konusudur. Çünkü buradaki 3 No.lu bölgede mahmuzlara rağmen bariz bir plaj oluşumu gözlenmemektedir. İncelenen yerlerden dikkate değer diğer bir yer de Piraziz'deki 1 No.lu bölgedir. Bu bölgede 14 adet mahmuz inşa edilmesine rağmen doğu taraftaki sık mahmuzlar arasında yavaş oluşumun haricinde belirgin plaj oluşumu gözlenmemiştir. Denize malzeme taşıyan akarsulardan epeyce uzak olan bu bölgede batimetri en doğudaki Batlama ağzındakine benzer şekilde eğimlidir. Büyük olasılıkla bu durum, plaj oluşumunu geciktirmektedir.

Sonuç olarak, Giresun-Piraziz arasında KSY inşaatı sonrasında plaj oluşumu ve buna bağlı olarak kıyı çizgisi değişiminde yerine göre farklı koşulların etkisiyle farklı sonuçlar elde edilmiştir. Kıyı dinamiği bazı bölgelerde hareketlidir. Ayrıca, plaj oluşumu yönüyle bugün için stabil gibi görünen bölgelerde her an bir değişme olabileceği göz önüne alındığında, hesaplamalara göre tahmin edilen gelişmelerin ne derece gerçekleştiğini görmek için 5-10 yıl gibi kısa bir süre beklemek yeterli olacak gibi görünmektedir.

### **Teşekkür (Acknowledgement)**

Bu çalışmada kullanılan zaman serilerinin üretiminde kullanılan uydu görüntülerine erişimi sağlayan CNES/Airbus ve Maxar Technologies ile Google firmalarına teşekkür ederiz. Verilerin hazırlanmasında ve sayısallaştırmalarda katkı sağlayan Hacettepe Üniv. Elektrik-Elektronik Müh. Öğrencisi Can Durmaz'a teşekkür ederiz.

### **Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### **Kaynaklar (References)**

- Akça, N., 2004. Kıyı kenar çizgisinin tespiti ve uygulama sorunları, Türkiye Kıyı ve Deniz Alanları V. Ulusal Konferansı, Türkiye Kıyıları Bildiriler Kitabı, 4-7 Mayıs, Adana, 275-284.
- Akyol, N., Tüfekçi, M., Seyhan, K. ve Demir, O., 1997. Türkiye'de kıyıların kullanımı ve kamu yararı ilişkileri: Trabzon ili kıyı kullanımı ve sonuçları, Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları 1. Ulusal Konferansı, 24-27 Haziran 1997, Ankara. cilt.00, no.0, 195.
- Apaydın, A., Sargın, A., Keleş, A., Özbek, T., Karadeniz, C., 2019. Boğaçay Projesinin (Antalya) Yeraltı sularına ve Konyaaltı Plajına Olası Olumsuz Etkileri, 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiriler kitabı, 28 Ocak-1 Şubat 2019, 767-771.
- Arslan, E.S ve Özalp, A.Y., 2018. Kıyı Alanlarının Rekreatyonel Amaçlı Alternatif Kullanımının Artvin Örneğinde İrdelenmesi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 20 (1): 43-52, DOI: 10.24011/barofd.384215.
- Avcı, V. ve Sunkar, M., 2018. Bulancak'ta (Giresun) sel ve taşkın olaylarına neden olan Pazarsuyu, İncüvez, Kara ve Bulancak derelerinin morfometrik analizleri, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt: 28, Sayı: 2, 15-41.
- Avcı, V. ve Sunkar, M., 2015. Giresun'da sel ve taşkın oluşumuna neden olan Aksu Çayı ve Batlama Deresi havzalarının morfometrik analizleri, Coğrafya Dergisi, İstanbul Üniv. Edebiyat Fak., Sayı 30, Sayfa 91-119, İstanbul, 2015 Basılı Nüsha ISSN No: 1302-7212.
- Aykut, N.O.; Doğan, U., Ata E., Arı A., 2005. GPS ile kıyı çizgisinin belirlenmesi, Karaburun örneği, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İTÜ-İstanbul.
- Ciritci D., Türk, T., 2019. Automatic Detection of Shoreline Change by Geographical Information System (GIS) and Remote Sensing in the Goksu Delta, Turkey, Journal of the Indian Society of Remote Sensing (February 2019), 47(2):233-243, [https://doi.org/10.1007/s12524-019-00947-1\(0123456789\[.\]volV\)\(0123456789-\[.\]volV\)](https://doi.org/10.1007/s12524-019-00947-1(0123456789[.]volV)(0123456789-[.]volV))
- Demirkıran, O., Cebeci, İ., Cebel H., Başkan, O., Köşker Y., Özkaya, M., 2018. Kar erimelerinden kaynaklanan süspanse sediment taşınımının belirlenmesi, Toprak-Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü, TAGEM-BB-090203A-4, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, 51.

- Dipova, N., 2016. Antalya Konyaaltı sahilinde kıyı erozyonu tehlikesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, cilt.7, 223-231.
- Dipova, N., 2005. Antalya falezlerinde gözlenen stabilite problemleri, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayını, 29-2, 11-26.
- Duru, B., 2003. Kıyı politikası. Mülkiyeliler Birliği Vakfı Yayınları, Tezler Dizisi: 13, ISBN 975-7400-16-5, Ankara, 317 s.
- ESRI, 2020. OCEAN Basemap (ESRI), Data Center for Digital Bathymetry, Viewer, [https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/iho\\_dcdb/](https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/iho_dcdb/)
- GDAL, 2020. Coğrafi veri erişimi ve dönüşümü için bilgisayar yazılımı, <https://gdal.org>
- GeoPandas, 2020. Python programlama dili ile coğrafi analizler ve dönüşüm yazılımı, <https://geopandas.org>
- Giresun Valiliği, 2012. Giresun İl Çevre Durum Raporu, Giresun Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 111 s. (webdosya.csb.gov.tr)
- Google Earth Pro (2020). Uydu görüntüleri ve 3D topografyayı birlikte sunan küre uygulama yazılımı, [https://www.google.com.tr/intl/tr\\_ALL/earth/versions/#earth-pro](https://www.google.com.tr/intl/tr_ALL/earth/versions/#earth-pro)
- Google Earth Pro, 2020. Uydu görüntüleri ve 3D topografyayı birlikte sunan küre uygulama yazılımı, [https://www.google.com.tr/intl/tr\\_ALL/earth/versions/#earth-pro](https://www.google.com.tr/intl/tr_ALL/earth/versions/#earth-pro)
- Gökçe, T. ve Özcan M., 2014. Kıyı rehabilitasyonu ve yapay plaj uygulamaları, 8. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 7-8 Kasım 2014 İstanbul, 963-973.
- Güney Y., Polat S., 2015. Uzaktan Algılama Verileri ile Kıyı Çizgisi Değişiminin Belirlenmesi: Aliağa ve Çandarlı Örneği, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, 11-17.
- Kadioğlu, Y., 2004. Akçaabat'ta şehirleşme ve şehirselleşme fonksiyonları', Doğu Coğrafya Dergisi, Cilt 9, Sayı:11, Erzurum, s.226.
- Kadioğlu, Y. ve Güner, Ö., 2018. Kıyı çizgisi değişimine etkileri açısından Yoroz Burnu-Sera Deresi arasındaki kıyı sanat yapıları (2002-2016), Studies Of The Ottoman Domain, Volume-Cilt: 8/Issue-Sayı: 15, 41-54.
- Kadioğlu, Y., Güner, Ö., Özkan, G., 2019. Kocadere Deltasında (Muğla/Ören) Kıyı Çizgisi Değişimi (1964-2014), Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, Cilt: 12 Sayı: 68, 379-385, www.sosyalarastirmalar.com, Issn: 1307-9581.
- Kırkgöz, M.S., 2002. Kıyı Erozyonunun Boyutları, TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri, 420-421-4 22, 4-6.
- Mahboob MA and Atif I., 2016. Coastline Change Detection Using Moderate Resolution Satellite Imagery: A Case Study Of Makran Coast, Arabian Sea, Pakistan, Sci.Int.(Lahore),28(1),273-277, ISSN 1013-5316; CODEN: SINTE 8
- Özçelik M., 2017. Kıyı Alanlarının Kullanılmasında Kıyı Kenar Çizgisinin Önemi: Eğirdir Yerleşim Alanı Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 5(3), 595 – 600, e-ISSN: 1308-6693.
- Sesli, F.A., Akyol, N., İnan, H.İ., 2002. Coğrafi bilgi sistemleri ile kıyı kenar çizgisi-mülkiyet ilişkilerinin incelenmesi, Türkiye Sekizinci Esri ve Erdas Kullanıcıları Grubu Toplantısı, 6-7 Haziran 2002, ODTÜ, Ankara, www.avesis.erciyes.edu.tr
- Süme, V., 2007. Rize İyidere-Çayeli arasındaki "t" mahmuzların kıyı koruma açısından incelenmesi, 6. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 25-28 Ekim 2007, İzmir, cilt.1, no.1, 142.
- Şimşek, D.S., Korkut A.B., 2009. Kıyı şeridi rekreasyon potansiyelinin belirlenmesinde bir yöntem uygulaması: Tekirdağ Merkez ilçe örneği, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, 6 (3), 315-327.
- Uzun, A. 2000., Karadeniz sahil yolunun doğal kıyıları üzerindeki etkileri ve ulaşım sorununa coğrafi bir bakış, OMÜ Fen Ed. Fak. Dergisi, Coğrafya Serisi, Sayı:1, Samsun, 59-80.
- Uzun, A., 1998., Kıyı hukuku açısından Karadeniz kıyılarımız, Jeomorfoloji Dergisi, No. 21, 60-64, Ankara.
- Yılmaz, C., 2005. Kızılırmak deltasında meydana gelen erozyonun coğrafi analizi, TURQUA - Türkiye Kuvatları Sempozyumu V, (02-03 Haziran 2005), Bildiriler Kitabı, (Editörler: O. Tüysüz-M. K. Erturaç), İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü Yayını, 227-234, İstanbul.
- Yurt, R., 2013. İklim Değişikliği ve Plansız Kentleşmenin Giresun Şehrinde Yol Açtığı Sel Felaketleri, TMMOB. Taşkın ve Heyelan Sempozyumu, 24-26 Ekim 2013, Trabzon, Bildiriler kitabı 173-190.



## STATİK YÜKLÜ RADYAL KAYMALI YATAKLARDA HİDRODİNAMİK YAĞLAMANIN ANALİZİ

Güler ÖNCÜ<sup>1\*</sup>, Ertuğrul DURAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Isparta, Türkiye  
<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Radyal Kaymalı Yatak, Reynolds Denklemi, Sonlu Farklar Yöntemi, Hidrodinamik Yağlama, Triboloji.</i>	Hidrodinamik yağlamalı kaymalı yataklarda basınç dağılımı, sürtünme katsayısı, yağ film kalınlığı, yağ debisi, vb. gibi değerler yatak tasarımı ve optimum enerji verimliliği açısından büyük öneme sahip tasarım kriterleridir. Bu çalışmada basınç dağılımını ifade eden Reynolds Yağlama Diferansiyel denklemi sonlu farklar metodu ile çözülerek her bir basınç noktası için iteratif çözüm yapılmıştır. Çalışmada kurgulanan algoritma ile muylu hızının değişimi ile basınç değeri, yağlayıcı katman kalınlığı, sürtünme katsayısı ve yatak kapasitesi belirlemek mümkündür. Hazırlanan MATLAB programı ile elde edilen sonuçlar benzer çalışmalarla kıyaslanmıştır.

## ANALYSIS OF HYDRODYNAMIC LUBRICATION IN STATIC LOADED JOURNAL BEARING

Keywords	Abstract
<i>Journal Bearing, Reynolds Equation, Finite Difference Method, Hydrodynamic Lubrication, Tribology.</i>	Pressure distribution, friction coefficient, oil film thickness, oil flow rate, etc. are important design criteria in terms of bearing design and optimum energy efficiency in hydrodynamic lubricated journal bearings. In this study, pressure distribution, in every pressure point, is determined while using finite difference method with Reynolds Lubrication Differential Equation iteratively. With the algorithm designed in the study, it is possible to determine the pressure value, lubricant layer thickness, friction coefficient and bearing capacity by changing the journal speed. The results obtained with the MATLAB program prepared were compared with similar studies.

### Alıntı / Cite

Öncü, G., Durak, E., (2021). Statik Yüklü Radyal Kaymalı Yataklarda Hidrodinamik Yağlamanın Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 167-175.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

G. Öncü, 0000-0002-3139-4554  
E. Durak, 0000-0001-6957-3796

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	16.11.2020
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	08.02.2021
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	17.02.2021
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

### 1. Giriş (Introduction)

Makine elemanlarının önemli bir alanını oluşturan yatakların temel amacı, hareketin sürekliliğini en az kayıp ile sağlayarak millerin desteklenmesidir. Yataklar yapılarına göre kaymalı, yuvarlanma elemanlı ve hassas cihaz yatakları; kaymalı yataklar ise yük taşıma durumlarına göre; eksenel, radyal ve eksenel-radyal kaymalı yataklar olarak incelenebilmektedir. Kaymalı yataklarda, mil ve yatak arasındaki yüzeyler bir akışkan film ile birbirinden tamamen ayrıldığı için tam sıvı sürtünme ile birlikte, herhangi bir dış etki olmaksızın yatağa gelen kuvvetin dengelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle hidrodinamik ve hidrostatik olmak üzere iki yağlamadan bahsetmek mümkündür. Hidrodinamik yağlamada; yüzeyler arasındaki boşluğun şekline ve yüzeylerin hızına bağlı, iki yüzeyi birbirinden tamamen ayıran yeterli basınca sahip bir yağ tabakası oluşturulabilmektedir.

Buna karşılık hidrostatik yağlamada, dış kuvveti dengelemek için yağ tabakasındaki basınç, bir pompa aracılığı ile oluşturulmaktadır (Kurban, 1990). Hidrodinamik yağlamanın sayısal analizi, yatak özelliklerinin tahmin

\* İlgili yazar / Corresponding author: guleroncu@isparta.edu.tr, +90-246-214-6930

edilmesinde ve mühendislik için gereken problem çözümlerinde etkili olmaktadır (Nuruzzaman vd. 2010). Eksenel ve radyal kaymalı yataklarda, hidrodinamik yağ filmi içerisindeki basınç dağılımı, yağ katkı maddelerinin yatak performansına etkisi, mikro kanallı yataklarda sürtünme davranışı gibi yağlama ve yataklarla ilgili birçok deneysel ve teorik çalışmalar mevcuttur (Sun ve Changlin, 2004; Woloszynski vd., 2015; Singh vd., 2020; Salman ve Durak, 2011; Durak 2003; Adatepe ve Bıyıklıoğlu 2009 ). Kaymalı yatakların bilimsel araştırması, Tower'ın 1883'de yayınladığı deneysel çalışması ve aynı yıl Petroff'un yataktaki sürtünmeyi viskoz sürtünmeye bağlayan hipotezi ile başlayıp 1886'da Reynolds'un hidrodinamik yağlama genel denklemini vermesiyle genişleyerek devam etmiştir (Kurban, 1990). Hashimoto(1997) tarafından yapılan çalışmada, kaymalı yataklarda yüzey pürüzlülüğü ve türbülansın etkileri göz önüne alınarak Reynolds denklemi modifiye edilerek çözümler sunulmuştur. Kaymalı yataklar hakkındaki pek çok çalışma bulunmakta ve çalışmalar hala devam etmektedir. Myung vd.(2000), motor yataklarındaki çevresel yağ kanallarının minimum yağ kalınlığı üzerindeki etkilerini araştırarak Reynolds diferansiyel denkleminin, sonsuz uzunluktaki yatak boyu modeline göre akışkan film basıncı hesaplanmış ve çevresel kanallı ile çevresel kanalsız yataklar için sonuçlarını karşılaştırmıştır.

Wang vd. (2016) yağlayıcı olarak su kullanan radyal kaymalı yataklarda basınç dağılımını sonlu elemanlar yöntemi kullanarak elde etmişlerdir. Çalışmada farklı mil dönüş hızları ve malzeme Elastisite Modülü ve Poisson oranının yük taşıma kapasitesi ve elastik deformasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. Santos vd.(2012) tarafından yapılan çalışmada, integral dönüşüm teknikleri ile radyal kaymalı yataklarda hidrodinamik yağlama analizi yapılmıştır. Syfris ve Chasalevris (2012) sonlu uzunluktaki bir kaymalı yataktaki yağlayıcının basınç dağılımı için Reynolds denklemini analitik olarak çözüp, basınç profil diyagramlarını yaklaşık analitik ve sayısal çözümlerle karşılaştırmışlardır. Mane ve Soni (2013) tarafından Reynolds denklemi sonsuz kısa ve sonsuz uzun mil yatağı için teorik olarak çözülmüş ve simülasyon sonuçlarını elde etmek için Comsol yazılımı kullanılarak analitik sonuçlar arasında karşılaştırma yapılmıştır. Liu vd. (2010) karmaşık bir rotor yatak sisteminin elasto-hidrodinamik yağlamasını analiz etmek için Navier-Stokes denkleminin ve bir akışkan-yapı etkileşimi tekniğine dayanan hesaplamalı akışkanlar dinamiğini kullanarak bu tekniklerinin, hidrodinamik ve elastohidrodinamik yağlamanın araştırılması için yararlı bir araç olduğu göstermişlerdir. Gao vd. (2014), su ile kaymalı yatağın hidrodinamik yağlama altında sayısal analizini yaparak Ansys-Fluent programı ile, Şimşek (2014), Kisoft programı ile teorik sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Tobias (2016), kaymalı yataklar için, Comsol yazılımını kullanarak, daha önceki çalışmalardan elde edilen verileri karşılaştırarak, hem statik hem de dinamik analizlerle yatak parametrelerini hesaplamıştır.

Bu çalışmada; Reynolds denklemi sonlu farklar yöntemi kullanılarak, basınç alanını ağ yapılarına bölerek her bir basınç noktası için iteratif bir çözüm yapılarak algoritma oluşturulmuştur. Matlab'de yazılan program ile elde edilen basınç değerleri benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Literatürden seçilen örnek yatak parametreleri ile elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

### 2.1. Hidrodinamik Yağlama Teorisi (Hydrodynamic Lubrication Theory)

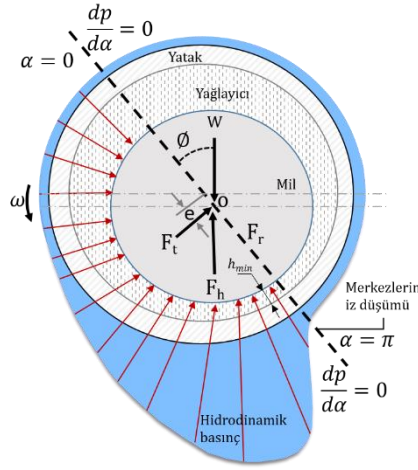
Hidrodinamik yağlama, yüzeyler arasındaki boşluğun şekline ve izafi hızına bağlı olarak yüzeylerin birbirinden tamamen ayrılması için yeterli basınca sahip bir yağ tabakası oluşturan yağlama sistemidir. Hidrodinamik yağlama teorisinin amacı; yağ filmi içinde hangi koşullarda yataкта (Şekil 1) basıncın oluştuğunu ve bu basıncın nasıl değiştiğini belirlemektir. Daha sonra buna bağlı olarak yatağın yük taşıma kapasitesi başta olmak üzere gerekli yağ miktarını, minimum yağ film kalınlığını, sıcaklığı, sürtünme katsayısını ve gerekli yatak temel boyutlarını hesaplayabilmek için ihtiyaç duyulan eşitlikleri belirlemektir. Hidrodinamik yağlama denklemi, Reynolds yağlama diferansiyel denklemi olarak bilinmektedir. Bu denklemin esası Navier-Stokes hareket denklemlerine dayanıp ilave olarak da süreklilik denklemi, akışkanların hareketi ve yoğunluğu ile ilgili denklemleri de dikkate almaktadır. Reynolds diferansiyel denklemi, başlangıç koşulları belirlenerek ve bir takım ön kabuller ile çözülmektedir. (Budynas ve Nisbett, 2006).

Reynolds'un temel yağlama diferansiyel denklemi başlangıç olarak şu şekilde verilir (Frene vd. 1990);

$$\frac{\partial}{\partial x} (h^3 \frac{\partial P}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial x} (h^3 \frac{\partial P}{\partial z}) = 6\eta U \frac{\partial h}{\partial x} \quad (1)$$

Uygulanan eksantriklik için; Reynolds denklemi,

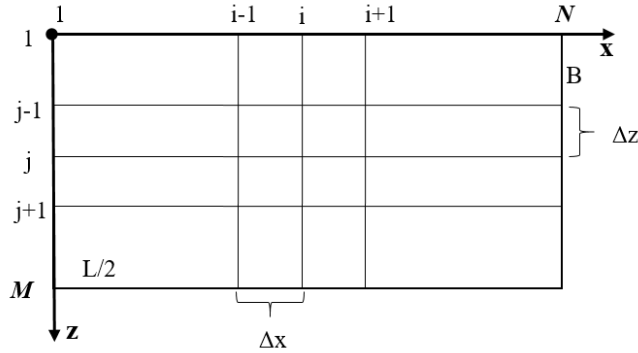
$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} + \frac{3}{h} \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{3}{h} \frac{\partial h}{\partial z} \frac{\partial P}{\partial z} = \frac{6\eta U}{h^3} \frac{\partial h}{\partial x} \quad (2)$$



**Şekil 1.** Hidrodinamik kaymalı yataklarda basınç dağılımı  
(Pressure distribution in hydrodynamic journal bearings) (Razavykia vd. 2019 )

## 2.2 Sonlu Farklar Metodu (Finite Differences Method)

Tribolojik çalışmalar sırasında fiziksel değerler genellikle fizik yasalarını tanımlayan diferansiyel denklemler olarak verilir ve bu denklemler analitik olarak çözülebilir. Ancak birçoğunun çözülmesi (doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklemler ) zor ve karmaşık olabilir. Gerekli çözümü yaklaşık olarak veren temel hesaplama yöntemleri; sonlu fark, sonlu elemanlar ve sonlu hacim yöntemleridir. Bu yöntemler, dikkate alınan sürekli alanın sınırlı sayıda alt bölüme bölünmesine (ağ oluşturma) ve ardından bu alt bölümlerde yaklaşık çözümlerin bulunması esasına dayanır (Grabon ve Smykla 2012). Pek çok pratik mühendislik uygulaması için, yağlama boyunca viskozitenin sabit olduğu varsayılır. Frene (1998)'e uygun olarak yapılan bu çalışmada da sabit sıcaklıkta sabit vizkosite değeri alınmıştır. Buna göre akışkan film basıncı, Matlab ile hazırlanan, program yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplama kullanılan örnek ağ yapısı Şekil 2'de verilmiştir.



**Şekil 2.** Simetri şartlarında örnek ağ yapısı (grid structure)

Yağlayıcı film basınç alanı  $p(x, z)$  hesaplaması, sonlu farklar metodu nümerik çözümü;

$$\frac{\partial P}{\partial x}(i, j) \approx \frac{p(i+1, j) - p(i-1, j)}{2\Delta x} \quad (3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z}(i, j) \approx \frac{p(i, j+1) - p(i, j-1)}{2\Delta z} \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}(i, j) \approx \frac{p(i+1, j) - 2p(i, j) + p(i-1, j)}{\Delta x^2} \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial z^2}(i, j) \approx \frac{p(i, j+1) - 2p(i, j) + p(i, j-1)}{\Delta z^2} \quad (6)$$

Sonlu farklar metodunun Reynolds denkleminde uygulanmasından sonra oluşan denklem sistemi;

$$-p(i,j)\left(\frac{2}{\Delta x^2} + \frac{2}{\Delta z^2}\right) + p(i+1,j)\left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{2\Delta x} + \frac{3}{h}\frac{\partial h}{\partial x}\right) + p(i-1,j)\left(\frac{1}{\Delta x^2} - \frac{1}{2\Delta x} + \frac{3}{h}\frac{\partial h}{\partial x}\right) + p(i,j+1)\left(\frac{1}{\Delta z^2} + \frac{1}{2\Delta z} + \frac{3}{h}\frac{\partial h}{\partial z}\right) + p(i,j-1)\left(\frac{1}{\Delta z^2} - \frac{1}{2\Delta z} + \frac{3}{h}\frac{\partial h}{\partial z}\right) = \frac{6\mu U}{h^3} \frac{\partial h}{\partial x} \quad (7)$$

olarak elde edilir, bu denklem sisteminin çözümde kullanılan sınır şartları ise;

$$x=0 \quad i=1 \quad j \in [1, M-1] \quad p(1,j)=p_s$$

$$x=B \quad i=N \quad j \in [1, M-1] \quad p(N,j)=p_s$$

şeklinde belirlenerek çözüm değerlerinin bulunması ile yük;

$$W=(W_r2+W_t2)1/2 \quad (8)$$

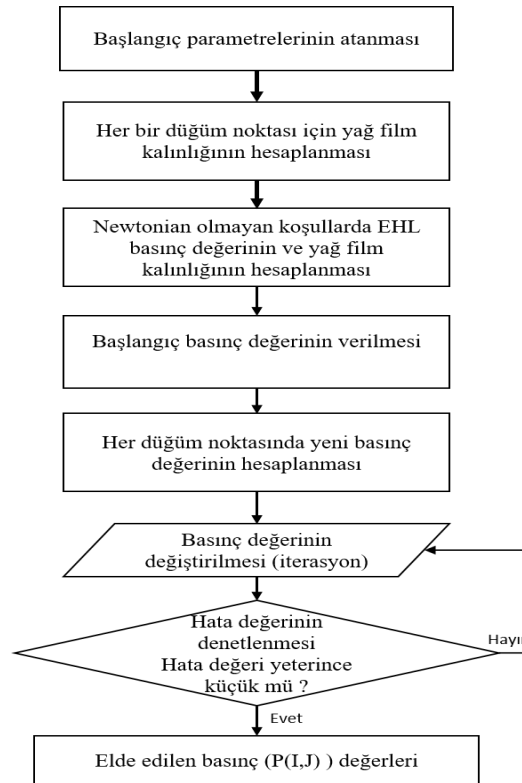
sürtünme katsayısı;

$$\mu = \frac{Ca}{R.W} \quad (9)$$

ile hesaplanabilir. Çözümde kullanılan değişkenlere ait tanımlamalar şu şekildedir;

<i>p</i> : basınç [Pa],	<i>e</i> : Eksantrisite
<i>D</i> : Yatak çapı	<i>C</i> : Radyal açıklık
<i>B</i> : Yatak Genişliği	<i>η</i> : Viskosite [Pas]
<i>R</i> : <i>D</i> /2 Yatağın Yarıçapı	<i>w</i> : Açısal hız
<i>L</i> : Yatak Uzunluğu	<i>U</i> : Çizgisel hız
<i>h</i> : Yağ film kalınlığı	<i>x, z</i> - Hidrodinamik film koordinatları
<i>e</i> : Eksantrisite oranı	<i>μ</i> : Sürtünme katsayısı
<i>W</i> : Yük taşıma Kapiliyeti	<i>ca</i> : Tork

Bilgisayar programı hazırlanırken özellikle Reynolds Diferansiyel denkleminin nümerik ve analitik çözüm algoritmaları incelenmiştir. Hazırlanan Matlab paket programı ile algoritmalar yeniden analiz edilerek farklı altı araştırma tarafından kullanılan program ve deney sonuçları kıyaslanarak benzerlik ve farklılıklar analiz edilmiştir. Temel algoritmaya ait akış şeması Şekil 3'de verilmiştir.

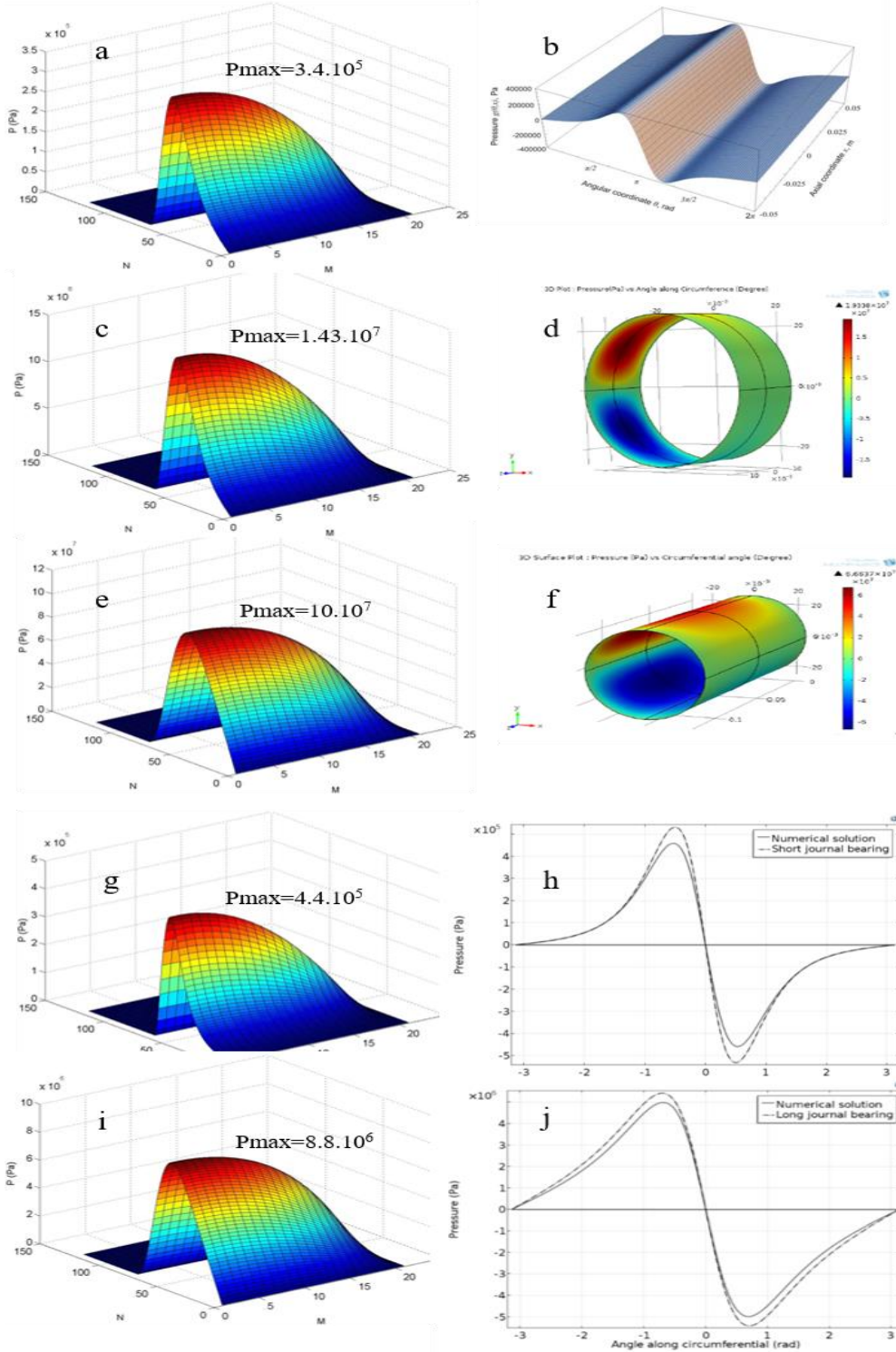


Şekil 3. Bilgisayar programı akış diyagramı (Flowchart of the implemented solution)

### 3. Araştırma Bulguları ve Tartışma (Results and Discussion)

#### 3.1. Hazırlanan Programın Doğrulanması ve Diğer Çalışmalarla Karşılaştırılması (Test and Verification by Reference Studies)

Yükün dikey bir eksen boyunca uygulandığı farklı araştırmacılar tarafından incelenen kaymalı yatak için geometrik parametreler ve çalışma koşulları (Tablo 1 ve 2) verilmiş olup deney sonuçları hazırlanan programla kıyaslanmıştır (Şekil 4 ve 5).



**Şekil 4.** Bu çalışmada hesaplanan basınç değerleri (a, c, e, g, i) ve Tablo 1’de verilen referans çalışmalara ait basınç değerleri (b, d, f, h, j). (Pressure values in this study (a,c,e,g,i) and reference study values in Table 1(b,d,f,h,i))

**Tablo 1.** Karşılaştırmada kullanılan yatak parametreleri (Reference journal parameters used at comparison)

Parametre	Syfris ve Chasalevis (2012) b*	Mane ve Soni (2013) (kısa yatak) d*	Mane ve Soni (2013) (uzun yatak) f*	Tobias (2016) (kısa yatak) h*	Tobias (2016) (uzun yatak) j*
Yarıçap (mm)	50	25	25	15	15
Uzunluk (mm)	100	25	125	7.5	75
Açıklık (mm)	0.5	0.025	0.025	0.03	0.03
Eksantrisite oranı	0.7	0.5	0.5	0.6	0.6
Mil hızı [d/d]	955	1000	1000	2000	2000
Viskozite [Pa s]	0.05	0.19	0.19	0.02	0.02

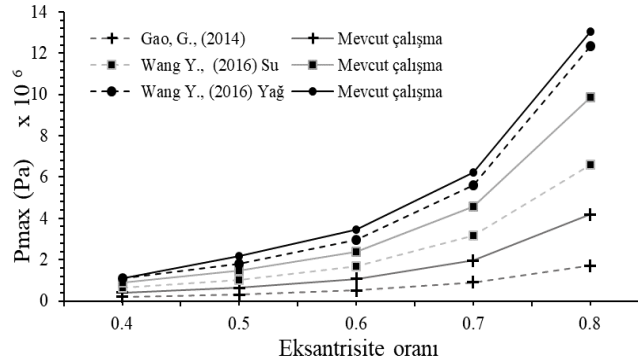
\* Şekil 4’de kullanılan referans çalışmaları.

Syfris ve Chasalevis(2012) tarafından yapılan çalışmada, basınç dağılım eğrisi bu çalışmada hesaplanan basınç değeri ile uyumludur. Mane ve Soni (2013) ve Tobias (2016) tarafından yapılan çözümler Comsol ortamında yapılmıştır. Mevcut çalışma ile karşılaştırıldığında, kısa yatak için elde edilen pmax değerleri uyumlu iken, uzun yatak için hesaplanan değerler, referans çalışmaya göre, daha yüksek hesaplanmıştır (Şekil 4).

Gao vd. (2014) ve Wang vd. (2016) tarafından, Pmax hesabı için kullanılan, farklı mil hızı ve viskozite değerleri ile farklı eksantrisite oranlarına göre de (Tablo 2) denklem çözümleri yapılmıştır. Elde edilen basınç değerleri, referans çalışmalardan yüksek olmakla birlikte, değişimleri birbirine paraleldir.

**Tablo 2.** Farklı eksantrisite oranları (0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8) için yatak parametreleri (Journal parameters at different eccentricity ratios (0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8))

Parametreler	Gao (2014)	Wang (2016) Su	Wang (2016) Yağ
Yarıçap (mm)	40	40	40
Uzunluk (mm)	80	80	80
Açıklık (mm)	0.04	0.04	0.04
Mil hızı [d/d]	1500	2000	2000
Yağ viskozitesi [Pa s]	0.001	0.001	0,02

**Şekil 5.** Farklı eksantrisite oranları (0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8) için Pmax basınç değerlerinin karşılaştırılması (Pressure values at different eccentricity ratios (0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8))

Ayrıca hem deneysel hem teorik çalışmanın birlikte yapıldığı alüminyum alaşımlı AA7075 malzemeli silindirik ve tek parça halinde 3 mm yağlama deliğine sahip bir yatağa ait veriler Tablo 3’de verilmiştir (Şimşek 2014). Statik yük altında radyal kaymalı yatakların sürtünme davranışının teorik olarak belirlenmesini içeren DIN 31652’e göre de hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen teorik minimum yağ film kalınlığı Şekil 6’da, sürtünme katsayısı da Şekil 7’de verilmiştir. Yağ film kalınlığının artmasından, mil merkezinin yatak merkezine yaklaştığı ve mil yüzeyinin yatak yüzeyinden uzaklaştığı anlaşılmaktadır. Ayrıca bu değişim de eksantrisite oranının azalmasına sebep olmaktadır. Düşük hızlarda sürtünme katsayısının küçük değerlerde olması Reynolds denkleminin sadece akışkan molekülleri arasındaki viskoz sürtünme esasına dayandırılmasından kaynaklanmaktadır.

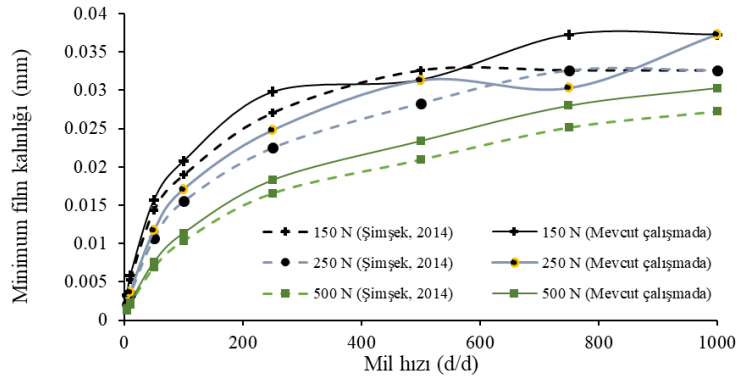
Diğer yandan yağlama literatüründen (Durak 2019; Adatepe vd. 2012; Temiz 2014; Soydan ve Ulukan 2013; Koç 2008) Stribeck eğrisinde, düşük hızlarda, sürtünme katsayıları (sınır yağlama bölgesinde) çok daha büyük değerlerdedir. Çünkü bu bölgede sürtünme katsayısı yatak – mil yüzey pürüzlerinin temasında oluşan mekanik



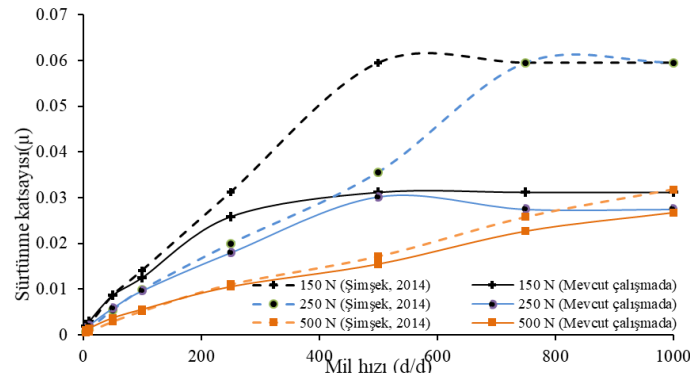
sürtünme ile yağ molekülleri arasındaki viskoz sürtünme katsayılarının toplamından oluşmaktadır. Sıvı yağlama bölgesinde ise artan hız ile sürtünme katsayısı artması kayma gerilmesi sonucundadır. Ayrıca yük taşıma kabiliyeti ve yatak yükünün mil hızı ile değişimi de Şekil 8' de verilmektedir. Bu grafikte görüldüğü gibi düşük hızlarda yağ filminin içerisindeki yağ basıncının oluşturduğu yük taşıma kabiliyeti daha yüksek değerde olup hızın artması ile yatağa uygulanan yüke göre daha fazla düşüş eğilimi göstermektedir. Bu düşüşe, hızın artması ile eksantrisite oranında oluşan azalmanın sebep olduğu açıktır. Çünkü mil merkezi yatak merkezine doğru hareket ettikçe yağ film basınç dağılımının azaldığı bunun da yük taşıma kabiliyetini azalttığı anlamına gelmektedir. Ancak yine de tüm çalışma şartlarında yük taşıma kabiliyeti yatağa uygulanan yükten daha büyüktür.

**Tablo 3.** Bu çalışmada kullanılan Şimşek (2014)' e ait yatak parametreleri  
(Bearing parameters used in this study)

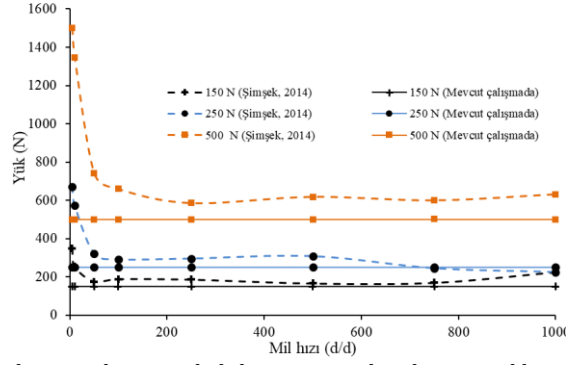
Parametre	Parametre değeri
Mil çapı $d_{max}$ [mm]	41.935
Mil çapı $d_{min}$ [mm]	41.9348
zYatak iç çapı $D_{max}$ [mm]	41.9756
Yatak iç çapı $D_{min}$ [mm]	41.975
Yatak genişliği	25 mm
Mil hızı [d/d]	5, 10, 50, 100, 250, 500, 750, 1000
Yağ sıcaklığı [°C]	40
Mil yüzey pürüzlülüğü $R_a$ [ $\mu$ m]	0.126
Yağ viskozitesi [Pa s]	0.156
Yük [N]	150, 250, 500
Ortam sıcaklığı [°C]	25



**Şekil 6.** Mevcut çalışmada hesaplanan minimum yağ film kalınlığı - mil hızı değişiminin Şimşek (2014) ile karşılaştırmalı grafiği (Lubricant film thickness vs journal speed comparison with Şimşek(2014))



**Şekil 7.** Mevcut çalışmada hesaplanan minimum sürtünme katsayısı - mil hızı değişiminin Şimşek (2014) ile karşılaştırmalı grafiği (Friction coefficient vs shaft speed comparison with Şimşek(2014))



Şekil 8. Mevcut çalışma ile hesaplanan yük taşıma kabiliyeti ve yatak yükünün mil hızı ile değişiminin Şimşek (2014) ile karşılaştırmalı grafiği (Comparison to change of the bearing capacity and load vs shaft speed with Şimşek(2014))

#### 4. Sonuçlar (Conclusions)

Tribolojik problemlerin modellenmesi ve çözümü için bilgisayar teknolojilerinin kullanımı sayesinde hızlı sayısal hesaplamalar hidrodinamik yağlama teorisini anlamada etkili olmaktadır. Ulaşılan çözümler ve modellemeler yatak parametrelerini belirlemede önemli faydalar sağlamaktadır. Yapılan Reynolds Diferansiyel Yağlama Denkleminin çözümünde yatak tasarımı için genel olarak;

- Mil hız değeri küçüldükçe basınç değerinin küçüldüğü,
- Açıklık değeri büyüdükçe basınç değerinin küçüldüğü,
- Eksantrite oranları arttıkça basıncın arttığı,
- Vizkosite değerleri arttıkça basıncın arttığı görülmüştür.

Eksantrite oranları arttıkça (0.8 ve 0.9 için) Gao (2014) tarafından yapılan çalışma ile kıyaslandığında, MATLAB tarafından hesaplanan sonuçlar arasındaki fark da artmıştır. Tobias (2016) ve Mane ve Soni (2013) uzun yatak deney sonuçları karşılaştırıldığında ise pmax değeri hesaplanan değerden biraz uzaklaşmıştır. Elde edilen basınç dağılımları grafik sonuçlarından da açıkça görüleceği gibi, literatürdeki altı adet çalışma, hazırlanan Matlab programı ile uyumludur. Literatürde kullanılan geçerliliği ispatlanmış Comsol, Ansys-fluent ve Kisoft gibi bilgisayar programları ile karşılaştırması yapılan programın ulaştığı yakınsak sonuçlar çalışmayı özgün kılmaktadır.

Yapılan sayısal örnek çözümünde ise mil hızının artması ile minimum yağ film kalınlığının ve sürtünme katsayısının arttığı görülmektedir. Hızın artması ile seçilen örnek yatak parametrelerinin optimum yatak tasarım bölgesinden uzaklaştıkları görülmektedir.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

#### Kaynaklar (References)

- Adatepe, H., Bıyıklıoğlu, A., 2009. Dinamik Yüklü Radyal Kaymalı Yataklarda Yağ Giriş Sıcaklığının Yatak Performansına Etkisi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 6, No: 4, 2009 (1-10)
- Adatepe, H., Cengil, M., Güneş, B., 2012. Statik Yük Altındaki Kaymalı Yataklarda Sürtünme Katsayısının Teorik ve Deneysel Olarak Belirlenmesi. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 9, No: 1, 2012(25-34)
- Budynas, R., Nisbett, K., 2006. Shigley's Mechanical Engineering Design. McGraw-Hill Primis ISBN: 0-390-76487-6.
- Durak, E., 2003. Borik Asitin Katkı Maddesi Olarak Yağlama Yağında Kullanılmasının Araştırılması, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 5-1, 121-129.
- Durak, E., 2019. Kaymalı yatak tasarımı kriterleri II, Erişim Tarihi: 23.05.2019. <https://lubricant-world.com/kaymalı-yatak-tasarımı-kriterleri-ii/>
- Frêne, J., Nicola, D., Degueurce, B., Berthe, D., Godet, M., 1997. Hydrodynamic lubrication bearings and thrust bearings. In Tribology series 33 (Ed. D. Dowson), 470 p. Elsevier, London, UK.
- Frêne, J., 1998. CFD Techniques in Hydrodynamic Lubrication, Ders Notları. Boğaziçi Üniversitesi, Makina Mühendisliği, İstanbul.
- Gao, G., Yin, Z., Jiang, D., Zhang, X., 2014. Numerical analysis of Plain Journal Bearing under Hydrodynamic Lubrication by Water. Tribology International, 75, 31-38. doi:10.1016/j.triboint.2014.03.009
- Grabon' W., Smykla J., 2012. Computer Program for Simulation of Pressure Distribution in the Hydrodynamic Radial Bearing. Artif Intell Driven Solut Bus Eng Prob, pp. 176-186 ISBN: 978-954-16-0060-3.

- Hashimoto, H., 1997. Surface Roughness Effects in High- Speed Hydrodynamic Journal Bearings, *ASME Journal of Tribology*, 119, 4,776-780.
- Koç, E., 2008. Makina Elemanları Cilt 2., Adana Nobel Kitabevi, Adana.
- Kurban, A.O., 1990. Eksenel Kaymalı Yataklarda Elastohidrodinamik Yağlama ve Elastik Deformasyona Uğrayabilen Kaymalı Yatak Dizaynı. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 110s, Kayseri.
- Liu, H., Xu, H., Ellison, P. J., Jin, Z., 2010. Application of Computational Fluid Dynamics and Fluid-Structure Interaction Method to the Lubrication Study of a Rotor-Bearing System. *Tribology Letters*, 38(3), 325-336. doi: 10.1007/s11249-010-9612-6.
- Mane, R.M., Soni, S., 2013. Analysis of Hydrodynamic Plain Journal Bearing, Excerpt from the Proceedings of the 2013 COMSOL Conference in Bangalore.
- Myung-Rae, C., Shin,H.J. ve Han,D.C., 2000. A Study On The Circumferential Groove Effects On The Minimum Oil Film Thickness In Engine Bearings *Ksme International Journal*, Vol. 14, No. 7, 737- 743.
- Nuruzzaman, D. M., Khalil, M. K., Chowdhury, M. A., Rahaman, M. L., 2010. "Study on Pressure Distribution and Load Capacity of a Journal Bearing Using Finite Element Method and Analytical Method," *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS*, vol. 10, no. 5.
- Razavykia, A., Delprete, C., Baldissera, P., 2019. Numerical Study of Power Loss and Lubrication of Connecting Rod Big-End, *Lubricants* 7, 47; doi: 10.3390/lubricants7060047.
- Salman,Ö, Durak, E., 2011. Çevre Dostu Bitkisel Yağ Esaslı Yağlama Yağları, *YTÜ Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma 29,412-421.
- Santos, E.N., Blanco, C.J.C., Macêdo, E.N., Maneschy, C.E.A., Quaresma, J.N.N.,2012. Integral transform solutions for the analysis of hydrodynamic lubrication of journal bearings. *Tribology International*, 52 s, 161-169.
- Şimşek, M., 2014. Mikro Ark Oksidasyon İle Al2O3 Kaplanmış AA7075 Alaşımının Kuru Ve Yağlı Şartlarda Sürtünme Ve Aşınma Davranışının İncelenmesi", Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 232s, Isparta.
- Singh, A., Verma, N., Chaurasia, A., Kumar, A., 2020. Effect of TiO2 Additive Volume Fraction in Lubricant Oil on the Performance of Hydrodynamic Journal Bearing. *IOP Conf. Series:Materials Science and Engineering* 802, doi:10.1088/1757-899X/802/1/012005.
- Soydan Y., Ulukan L., 2013. Temel Triboloji. Sürtünme- Aşınma Yağlama Bilimi ve Teknolojisi. Sakarya.
- Sun, J., Changlin, G., 2004. Hydrodynamic Lubrication Analysis of Journal Bearing Considering Misalignment Caused by Shaft Deformation, *Tribology International*, Volume 37, Issue 10, Pages 841-848, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2004.05.007>
- Syfris D., Chasalevris A., 2012. An Exact Analytical Solution of the Reynolds Equation for the Finite Journal Bearing. *Tribology International*. 55(1), pp. 46-58. doi:10.1016/j.triboint.2012.05.011.
- Temiz, V. 2014. Makina Elemanları 1 Triboloji Genel Bilgiler, Ders notları. Erişim tarihi: 15.05.2019. <https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Triboloji.pdf>.
- Tobias H., 2016. Journal Bearing Design Tool: Time-dependent Analysis of Bearing Film Thickness, Power Loss and Load Response, Master of Science in Engineering Technology, Mechanical Engineering, Luleå University of Technology.
- Wang Y., Yin Z., Jiang D., Gao G., Zhang X., 2016. Study of the lubrication performance of water-lubricated journal bearings with CFD and FSI method. *Industrial Lubrication and Tribology*, 68(3) pp. 341-348. doi: 10.1108/ILT-04-2015-0053.
- Woloszynski, T., Podsiadlo P., Stachowiak, G.W., 2015. Efficient Solution to the Cavitation Problem in Hydrodynamic Lubrication, *Tribology Letters* volume 58, 18.



## ÖZDERE (İZMİR) JEOTERMAL KAYNAĞININ HİDROJEOKİMYASI VE DENİZ SUYU İLE İLİŞKİSİ

Can BAŞARAN\*

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Hidrojeokimya, Deniz Suyu, Karışım, Özdere, İzmir.</i>	<p>Bu çalışmada Özdere-Cumhuriyet mahallesinde yüzeyleyen termal su örneğinin hidrojeokimyasal özellikleri ile etkileşimde olduğu deniz suyu ile olan ilişkisi incelenmeye çalışılmıştır. Çalışma alanı Menderes ilçesi'nin onaylı tek turizm bölgesi olan ve İzmir iline 45km mesafedeki Özdere-Cumhuriyet mahallesinde yer almaktadır. Menderes metamorfikleri içerisindeki mermer mercikleri ile alüvyon bölgedeki sular için rezervuar kayaç özelliğindedir. Yeraltına süzülen soğuk sular, fay ve çatlaklar boyunca hareket ederek ısınmakta, fayların kesim noktası olarak düşünülen bir zon üzerinde yüzeylenmektedir. Bu esnada gerek su kayaç etkileşimi gerekse deniz suyu karışımına bağlı olarak güncel kompozisyonlarını kazanmaktadır. İncelenen termal kaynak ve deniz suyu örnekleri Na-Cl, soğuk su örnekleri ise Ca-HCO<sub>3</sub> bileşimlidir. Su örneklerinin kimyasal kompozisyonunu oluşturan ana mekanizmalar su-kayaç etkileşimi ve buharlaşma/kristalizasyon olarak belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda; termal su örneğinin %28 tatlı su ve %72 deniz suyu bileşiminden oluştuğu, rezervuar sıcaklığının 78-86°C arasında olabileceği ve bu suyun kalsit, aragonit, dolomit ile kuvars ve kalsedon gibi mineralleri çökeltici özellikte olduğu tespit edilmiştir.</p>

## HYDROGEOCHEMISTRY OF OZDERE (IZMIR) GEOTHERMAL SPRING AND ITS RELATIONSHIP WITH SEA WATER

Keywords	Abstract
<i>Hydrogeochemistry, Seawater, Mixing, Özdere, İzmir.</i>	<p>In this study, hydrogeochemical properties of the thermal water sample surfacing in the Özdere-Cumhuriyet and its relationship between the seawater was investigated. The study area is located in Özdere-Cumhuriyet neighborhood, which is the only approved tourism region of Menderes District and 45 km from İzmir province. The marble lenses in the Menderes metamorphics and, the alluvium are a reservoir rock for the waters. The cold waters percolate to the reservoir along faults and cracks, heated at depth and ascend to the surface on a zone considered as the cut point of the faults. In the meantime, waters gain up-to-date compositions depending on both water-rock interaction and seawater mixture. The thermal spring and seawater samples have Na-Cl type, while the cold-water samples have Ca-HCO<sub>3</sub> type. As a result of the evaluations it was determined that the thermal water sample consisted of 28% fresh water and 72% sea water, the reservoir temperature could be between 78-86 °C, and this water was found to precipitate calcite, aragonite, dolomite and quartz and chalcedony minerals.</p>

### Alıntı / Cite

Başaran, C., (2021). Özdere (İzmir) Jeotermal Kaynağının Hidrojeokimyası ve Deniz Suyu ile İlişkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 176-186.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

C. Başaran, 0000-0001-6281-6580

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	27.11.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	11.01.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	11.01.2021
Yayın Tarihi / Published Date	30.03.2021

\* İlgili yazar / Corresponding author: cbasaran@aku.edu.tr, +90-272-218-2411

## 1. Giriş (Introduction)

Enerjiye olan ihtiyaç artan nüfus ve gelişen sanayi ile birlikte gün geçtikçe artmaktadır. Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların rezervlerinin tükenmeye yakın olması ve neden olduğu çevresel etkiler yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve talebi arttırmıştır. Bu gelişmelere bağlı olarak jeotermal enerji ve jeotermal kaynakların araştırılması, özelliklerinin belirlenmesi de oldukça fazla önem taşımaktadır.

Jeotermal kaynak kullanımı açısından Dünya genelinde ilk 5 içerisinde yer alan ülkemizde sıcaklığı 30°C üzerinde 347 jeotermal saha bulunurken, sıcaklık altı sınırı 20°C alındığında toplamda 600 jeotermal kaynak yer almaktadır. Bu alanlardan 44 tanesi elektrik üretimi amacıyla kullanılabilir potansiyele sahiptir. %88'lik bir paya sahip olan düşük ve orta entalpili alanlar ise konut-sera ısıtması, sağlık ve termal turizm sektörlerinde değerlendirilmektedir (Akkuş, 2020; Mertoğlu, 2020). Yüksek sıcaklığa sahip jeotermal alanlar yoğun olarak Batı Anadolu'da yer almaktadır.

Türkiye'deki ilk jeotermal sondaj kuyusunun açıldığı İzmir ili, Seferihisar, Balçova-Narlıdere, Dikili, Çeşme, Aliğa, Urla, Bayındır, Menderes ve Kemalpaşa gibi birçok jeotermal alana sahiptir. Sıcaklıkları 29-144°C arasında değişen sular kaplıca, sera ve konut ısıtımında kullanılmaktadır. Bu makalenin konusunu oluşturan ve ilk kez çalışılan Özdere-Cumhuriyet (Menderes/İzmir) jeotermal kaynağı da İzmir ilinin 45km güneyinde yer almaktadır. İncelenen jeotermal kaynağın yer aldığı Özdere aynı zamanda İzmir ili, Menderes İlçesi'nin onaylı tek turizm bölgesidir. Çalışma kapsamında bölgede yer alan ancak henüz bir kullanım alanına sahip olmayan termal kaynağın hidrojeokimyasal özellikleri, rezervuar sıcaklığı ve deniz suyu ile olan etkileşimi araştırılmıştır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Özdere bölgesinde yer alan termal kaynak ile ilgili güncel ve detaylı araştırma bulunmamaktadır. İncelenen kaynağın içerisinde bulunduğu Batı Anadolu Bölgesinde, jeotermal kaynakların incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar ağırlıklı olarak Denizli, Aydın ve İzmir illeri üzerine yoğunlaşmış, İzmir ili özelinde de Seferihisar ve Dikili sahaları detaylı olarak çalışılmıştır.

Drahor vd. (1999) çalışmalarında Seferihisar bölgesindeki jeotermal rezervuar ile ilişkili kırık sistemlerinin belirlenmesini ve bu sonuçların bölgede daha önce yapılmış olan ayrıntılı jeolojik çalışmalarla olan benzerliklerini ya da farklılıklarını ortaya çıkarılmasını hedeflemişlerdir. Çalışma sonunda bölgenin genel yapısal uzanımının KD-GB yönlü, taban derinliğinin 1.5-1.7 km olduğunu ve Gravite ve doğal potansiyel haritalarında da anomalilerin KD-GB uzanımına sahip olduğu ortaya koymuşlardır.

Şimşek vd. (2000) çalışmalarında Batı Anadolu'da yer alan jeotermal sahaların hidrojeokimyasal ve izotopik özellikleri üzerine araştırmalar yaparak bölgenin genel olarak Büyük Menderes, Küçük Menderes, Gediz, Bakırcay, Edremit, ve Simav graben sistemlerinden oluştuğunu, Şist, gnays, mermer ve kuvarsit birimlerini içeren Menderes masifinin bölgedeki temel kayaç olduğunu ve Neojen-Kuvarterner yaşlı birimlerin masif üzerine uyumsuz olarak geldiğini belirtmişlerdir. Yazarlar Denizli-Kızıldere, Aydın-Germencik ve Aydın-Söke jeotermal sahalarında yer alan suların sırasıyla Na-HCO<sub>3</sub>, Na-Cl ve Na-HCO<sub>3</sub> bileşimli olduklarını belirtmişlerdir.

Gemici ve Tarcan, (2002) çalışmalarında, Germencik, Salihli, Balçova, Seferihisar, Emet gibi birçok farklı jeotermal alanın hidrojeokimyasal özellikleri ve bor içerikleri üzerine araştırmalar yaparak, bölgede yer alan suların bor içeriklerinin 1-63 mg/l arasında değiştiğini ve bor içeriklerinin karbonatlı kayaçların çözünmesiyle ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Tarcan ve Gemici, (2003) Seferihisar ilçesi içerisindeki Doğanbey Burnu, Karakoç, Doğanbey, Tuzla ve Cumalı jeotermal alanlarında yer alan termal suların kimyasal özelliklerini araştırarak; bölgede yer alan suların Na-Cl bileşimli olduğunu, sıcaklıkların 30-153°C arasında olduğunu ve bölgedeki termal sulara deniz suyu karışımının %10-80 arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Özen ve Tarcan, (2005) Dikili-Kaynarca (İzmir) jeotermal sistemlerinin özelliklerini araştırarak, Dikili ılıcalarında yer alan suların Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>; Kaynarca sıcak sularının Na-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> tipli sular olduklarını ve Dikili bölgesi için 120-150°C, Kaynarca bölgesi için ise 160-200°C jeotermal akifer sıcaklıkları hesapladıklarını bildirmişlerdir.

Bulut (2013) Menderes ile Seferihisar arasında kalan Akyar jeotermal sahasında yapılan 1215 m derinliğinde sondaj ile 141°C'lik bir kuyu içi sıcaklığa ulaşıldığını, bölgedeki suların Na-Ca-HCO<sub>3</sub> bileşimli olduğunu ve 162°C'lik bir rezervuar sıcaklığına ulaşabileceğini belirtmiştir.



## 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

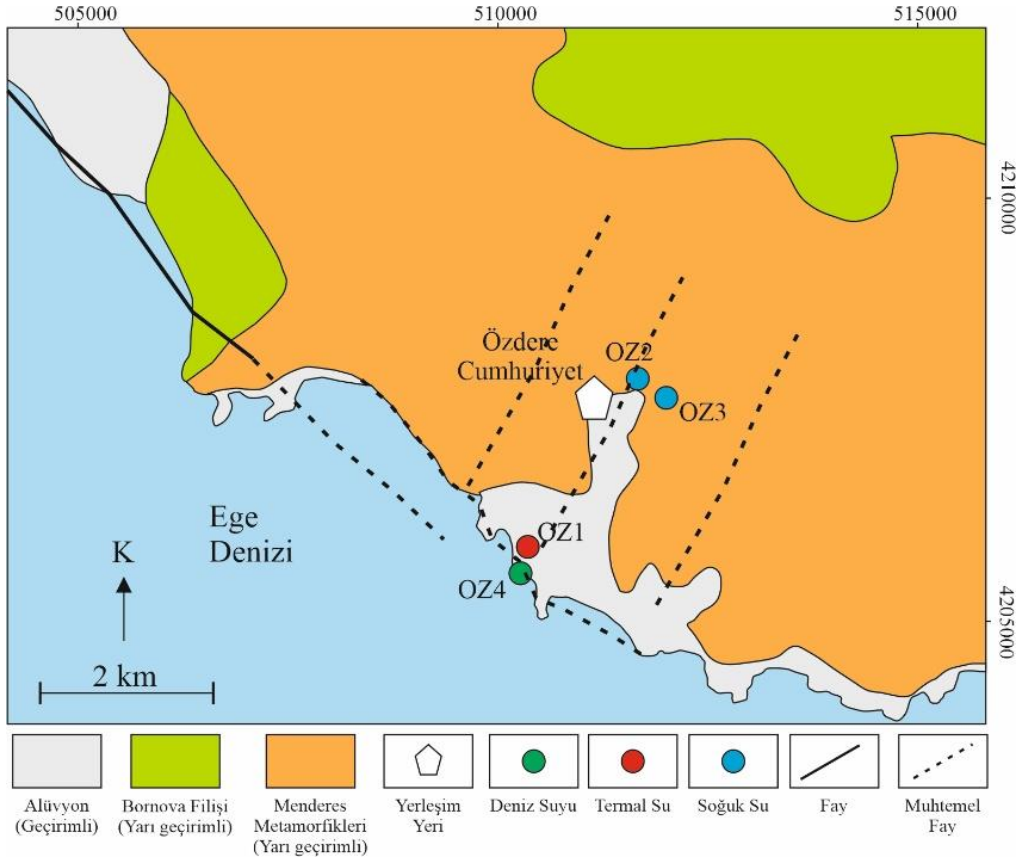
### 4.1. Jeoloji (Geology)

İnceleme alanı genel olarak; Paleozoyik yaşlı Menderes metamorfikleri, Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova filiş ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozlarından oluşmaktadır (Şekil 2). Bu birimler aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

*Menderes Masifi Metamorfikleri*; Ege bölgesi ve çevresinde yaygın olarak gözlenen birim çalışma alanı içerisinde şist ve mermer birimleri ile temsil edilir. Metamorfiklerin temeli kuvars şist, klorit- albit-biotit ve muskovit şistlerden oluşmakta iken şistozite ile paralel kuvarsit damarları oldukça yaygındır. Şistlerin üzerine ise kalınlıkları farklılıklar gösteren mermer birimi yer almaktadır (Eşder ve Şimşek, 1975).

*Bornova Filiş Zonu*; Bu zona ait kayaçlar, kumtaşı, silttaşı ve şeyl birimleri hakim olmak üzere fillit, sleyt, rekristalize kireçtaşı, split-diyabaz, radyolarit ve serpantin gibi ofiyolitler ile riyolit ve granodiyorit gibi magmatik kayaçlardan oluşmaktadır (Genç vd., 2001; Akar, 2012). Filişin içerisindeki kireçtaşı kütleleri Kampaniyen-Daniyen'de filişin oluşumu sırasında havza içine taşınarak kireçtaşı blokları olarak yerini almıştır (Erdoğan, 1990).

*Alüvyon*; Genellikle kum, silt ve çakıl içeren çimentosuz özellikte olan bu tortullar kıyılarda ve nehir sistemleri boyunca yer almaktadır.



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji/hidrojeoloji haritası (Int Kaynağı-1)(Geological map of study area)

### 4.2. Hidrojeoloji (Hydrogeology)

Menderes Masifi metamorfikleri çalışma alanında geniş bir alanda yayılım sunmakta ve jeotermal sistemin temel kayasını oluşturmaktadır. Bu birim, maruz kaldığı yoğun metamorfizma nedeniyle genel olarak geçirimsiz bir yapı sunar. Eşder ve Şimşek, (1975)'e göre metamorfik birim içerisinde yer alan mermerler ise kırıklı/çatlaklı yapıları nedeniyle geçirimli özelliktedir. Temeli oluşturan bu birim genel olarak geçirimsiz/yarı geçirimli özelliktedir (Akar, 2012; Şimşek ve Filiz, 2005).

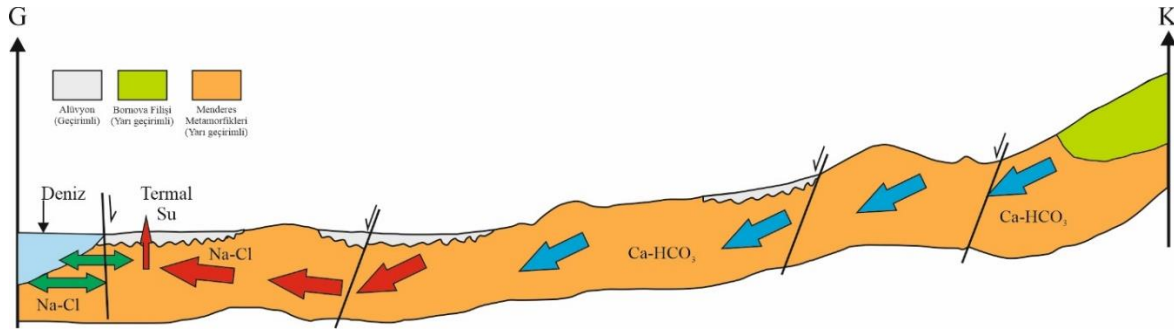
Kumtaşı, silt ve şeyl ardalması başta olmak üzere; rekristalize kireçtaşları ve metamorfizmaya uğramış çeşitli bloklar ile ofiyolitik melanj malzemeleri şeklinde yayılım sunan Bornova Filiş zonu kayaçları içerisindeki kireçtaşı

bloklarının kalınlıklarının 20km'ye eriştiği belirtilmiştir (Erdoğan, 1990; Akar, 2012). Bu birimin içerdiği kireçtaşı blokları ve yer yer diyabazlar geçirimli özellik sunarken, kumtaşı, silt ve şeyl birimleri geçirimsiz özelliktedir. Bornova filişleri inceleme alanı içerisinde yarı geçirimli olarak sınıflandırılmıştır.

Kum ve çakıl boyutlu pekleşmemiş malzemeden oluşan alüvyon birimi ise bölgede serbest akifer niteliğinde olup, geçirimli birim olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 2).

### 4.3. Jeotermal Sistem (Geothermal System)

İncelemeye konu olan termal kaynak; aktif olduğu bilinen "Gümüldür Fayı" ile bu fayı KD-GB yönünde kesen muhtemel tali fayların üzerinde yer almaktadır (Emre vd., 2011). İnceleme alanının temelinde yer alan metamorfik birimlerin içerisindeki mermer blokları, kalk şist birimleri bölgedeki termal kayaç için rezervuar kayaç özelliğindedir. Dağlık kesimdeki yükseltilerden beslenen sular, KD-GB yönünde yer altında akmakta, jeotermal gradyan ve faylanmalar etkisiyle ısınmakta ve son olarak fayların da kesim noktası olarak düşünülen deniz kenarından yüzelemektedir (Şekil 3). Deniz ile kara sınırı arasında etkili olan Gümüldür fayı, hem termal suyun çıkışına olanak sağlamakta, hemde deniz suyu girişimine neden olmaktadır. Gerek örtü kalınlığının az olması, gerekse deniz suyu girişimi termal kaynağın soğumasına ve olduğundan daha soğuk bir şekilde yüzeye çıkmasına neden olmaktadır.



Şekil 3. Jeotermal sistem modeli (ölçeksiz) (Geothermal system model, unscaled)

### 4.4 Hidrojeokimya (Hydrogeochemistry)

İzmir ili, Menderes İlçesi, Özdere-Cumhuriyet Mahallesinde yer alan termal su kaynağı yaklaşık 10 metre derinlikteki bir temel kazısı esnasında açığa çıkmış olup, saha içerisinde kaynak şeklinde akmaktadır (Şekil 4). Termal su örneği (OZ1) ile birlikte, bu suyun yakın etkileşimde olduğu deniz suyundan (OZ4) ve beslenme alanı olarak düşünülen yükseltilerde bulunan bir adet soğuk kaynak (OZ2) ve soğuk sondaj suyundan (OZ3) örnek alınarak, Hacettepe Üniversitesi-Su Kimyası Laboratuvarına analiz için gönderilmiştir.



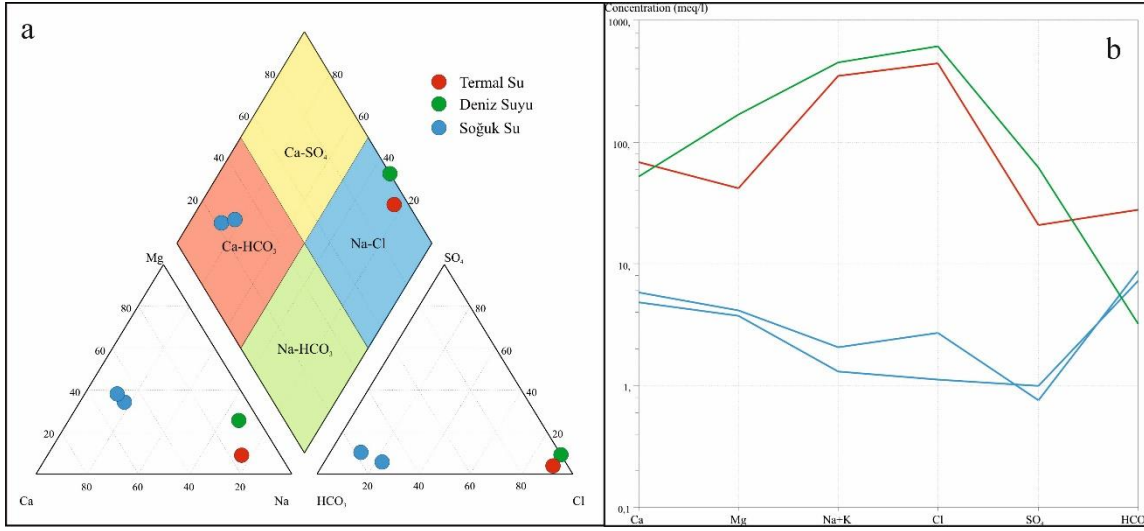
Şekil 4. Termal kaynağın arazi görüntüsü (Field view of thermal spring)



İncelenen su örneklerinin EC (elektriksel iletkenlik) değerleri 802-54559  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , pH değerleri 6,37-7,88 arasında değişmektedir. İncelenen termal su örneği 44,6°C'lik bir sıcaklığa sahipken, deniz suyu ve soğuk su örneklerinin sıcaklıkları 17-18°C olarak ölçülmüştür. Su örneklerinin adlandırılmasında Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979) sınıflaması kullanılmış olup bu sınıflamaya göre Termal su örneğinin Na-Cl, deniz suyu örneğinin Na-Mg-Cl ve soğuk su sondajı/kaynağı örneklerinin Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> bileşimli olduğu belirlenmiştir.

Piper diyagramı incelendiğinde ise termal kaynak ve deniz suyu örneklerinin Na-Cl, soğuk su örneklerinin ise Ca-HCO<sub>3</sub> bileşimli olduğu görülmektedir (Şekil 5a). Soğuk su örnekleri ve deniz suyu örneğinde Mg alanına doğru bir yönelme gözlenmektedir. İnceleme alanının kuzeyinde yer alan ofiyolitik birimler ile deniz suyunun olası sprej etkisi soğuk sulardaki magnezyum içeriğinin kaynağı olarak değerlendirilebilir.

Schoeller diyagramında da deniz suyu ve termal su örneklerinin özellikle Na+K ve Cl iyonlarınca, soğuk su örneklerinden net bir şekilde ayrıldığı gözlenmektedir. (Şekil 5b). Soğuk su örnekleri ise kendi aralarında benzer kimyasal kompozisyon sunmaktadır. Genel olarak kıyı suları ile dağlık alanda bulunan suların birbiriyle farklı kökende oldukları söylenebilir.



Şekil 5. Su örneklerinin Piper (a) ve Schoeller (b) diyagramındaki konumu (Piper (a) and Schoeller (b) diagram of water samples)

Suyun güncel bileşimine erişmesini sağlayan süreçlerin belirlenmesi için iyonik oranların kullanıldığı Gibbs Diyagramından faydalanılmıştır. Gibbs Diyagramında, dağlık alanda yer alan soğuk su örnekleri “Kayaç Baskın” bölgesine düşmektedir (Şekil 6). Kıyı kesimde yer alan deniz suyu ve termal su örnekleri ise “Buharlaşma-Kristalizasyon” bölgesine düşmektedir. Bu sular, deniz suyu girişimden ötürü tuzlanmakta ve/veya yoğun buharlaşmaya maruz kalarak çözünmüş madde derişimleri artmakta ve sularındaki çözünmüş toplam iyon miktarı da yüksek değerlere ulaşmaktadır. Genel olarak; soğuk su örneklerinin kimyasal kompozisyonunu oluşturan mekanizma su-kayaç etkileşimi iken; termal ve deniz suyu örneklerinin mekanizması buharlaşma/kristalizasyon süreçleri ile denetlenmektedir (Somay ve Filiz, 2006).

İncelenen termal su örneği denize oldukça yakın bir konumda yer almaktadır. Bu nedenle termal su-deniz suyu karışımı kaçınılmaz hale gelmektedir. İncelenen örnekte deniz suyu karışım miktarının hesaplanmasında;

$$K = \frac{CID - CIK}{CID - CIS} \quad (1)$$

formülü kullanılmıştır (Kurttaş, 2002). Bu formüle;

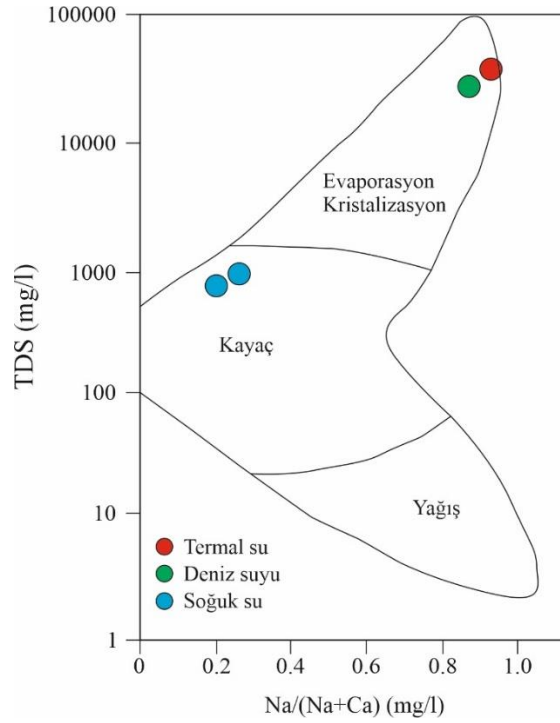
K=Tatlı su oranı,

CID=Deniz suyunun klorür miktarı (21893 mg/l),

CIK=Termal suyun klorür miktarı (15701 mg/l),

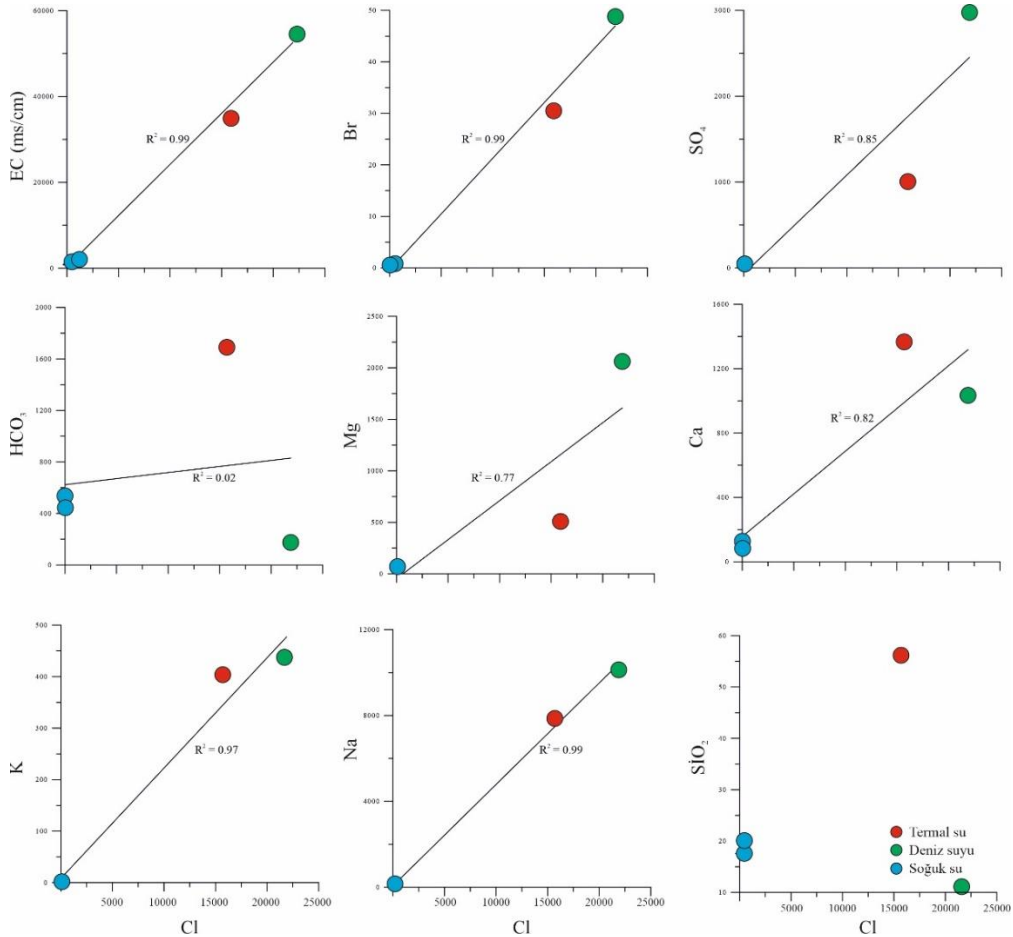
CIS=Soğuk suyun klorür miktarını (96,4 mg/l) belirtmektedir.

Bu formülden hareketle, termal suyun %28 tatlı su ve %72 deniz suyu içerdiği belirlenmiştir. Bu yüksek deniz suyu karışımına bağlı olarak, sıcaklık düşmekte ve element içeriklerinde seyrelmeler ve zenginleşmeler gözlenmektedir. Genel olarak deniz suyu, incelenen termal suyun silisce seyrelmesine ve deniz suyunda bol olarak bulunan Cl, SO<sub>4</sub> ve Mg iyonlarınca zenginleşmesine neden olmaktadır.



Şekil 6. Su örneklerinin Gibbs diyagramı (Gibbs diagram of water samples)

Karışımın varlığının bir başka göstergesi, Cl ile diğer iyonlar ve bileşikler arasındaki doğrusal ilişkidir (Gökgöz ve Akdağoğlu, 2016). Şekil 7 incelendiğinde Cl ile EC, Br, SO<sub>4</sub>, Na, Ca, Mg ve K iyonları arasında güçlü bir pozitif korelasyon olduğu ve termal su örneğinin deniz suyu ile soğuk sular arasında ve deniz suyuna daha yakın olarak yer aldığı görülmektedir. Örneklerin HCO<sub>3</sub> ve SiO<sub>2</sub> içerikleri ile klorür arasında ise oldukça zayıf bir korelasyon mevcuttur.



Şekil 7. Su örneklerinin Cl-iyon grafikleri (Relations of various ions and EC versus Cl for the waters)

#### 4.4.1 Jeotermometre (Geothermometry)

Bölgede kaynak şeklinde akan termal suyun, yer altındaki muhtemel hazne kaya sıcaklığının tespit edilmesi, bu suyun kullanım çeşitliliği açısından oldukça önemlidir. Tahmin edilecek sıcaklık ayrıca; jeofizik-jeolojik çalışmaları takip eden sondaj süreci hakkında ön bilgi de verecektir.

İncelenen termal suyun jeotermometre hesaplamalarında silis jeotermometrelerinin yanı sıra, Na/K-Na/Li ve K/Mg jeotermometre bağıntıları kullanılmıştır (Tablo 1). Katyon jeotermometreleri 170°C'ye ulaşan ve kabul edilemez sıcaklıklar vermekte iken, kuvars jeotermometreleri (102-107°C) ve K/Mg jeotermometresi (112°C) de nispeten yüksek sonuçlar vermektedir. Diğer yandan kalsedon jeotermometreleri (78-79°), Mg/Li jeotermometresi (86°) ve Na/Li jeotermometresi (86°C) ise kabul edilebilir ve uygun sonuçlar vermiştir. Bölgede bulunan termal kaynağın rezervuar sıcaklığı 78-86°C olarak değerlendirilebilir.

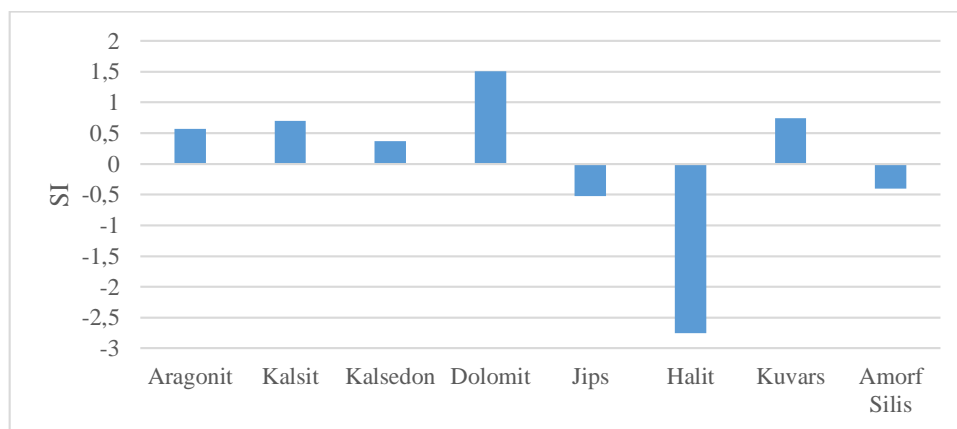
**Tablo 1.** Termal su örneğinin jeotermometre hesaplamaları (Geothermometry calculations of thermal water sample)

Jeotermometre	Referans	Değer
SiO <sub>2</sub> (Kuars)	Verma, 2000	102
SiO <sub>2</sub> (Kuars)	Fournier 1977	107
SiO <sub>2</sub> (Kalsedon)	Fournier 1977	78
SiO <sub>2</sub> (Kalsedon)	Arnorsson vd., 1983	79
SiO <sub>2</sub> (Kuars)	Arnorsson vd , 1983	96
Na/K	Arnorsson vd., 1983	146
Na/K	Fournier & Truesdell 1973	116
Na/K	Verma and Santoyo, 1997	170
Na/K	Fournier 1979	165
Na/K	Nieva ve Nieva, 1987	153
K/Mg	Giggenbach 1988	112
Mg/Li	Kharaka ve Mariner, 1989	86
Na/Li Cl>0,3 mol or 10650 ppm	Fouillac and Michard, 1982	86

#### 4.4.2 Mineral Doygunluk Diyagramı (Mineral Saturations)

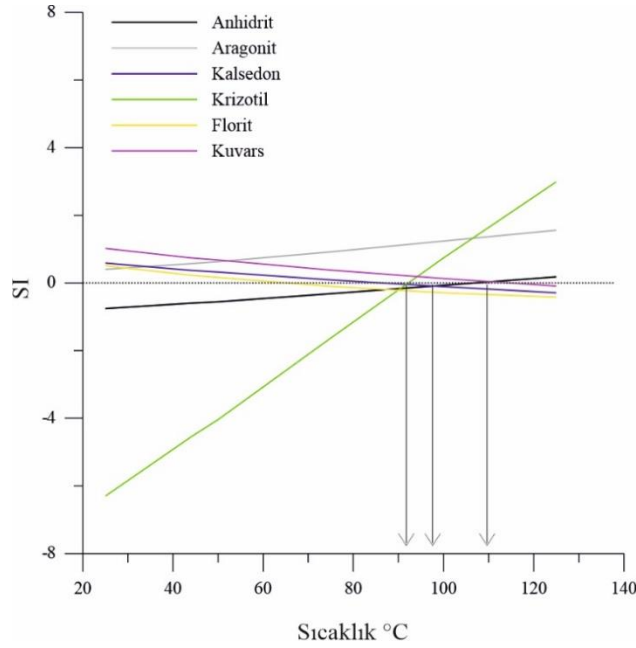
Termal suların mineral içerikleri jeotermal kaynakların üretim ve reenjeksiyon aşamalarında meydana gelen üretim kaybı ve enjeksiyon kapasitesindeki azalma gibi sorunların en önemli nedenlerinden birisidir. Çökeltme eğilimine sahip minerallerin önceden tespit edilmesi olası ekonomik kayıpların da önüne geçmeyi sağlayacaktır. Güneybatı Türkiye'nin kıyı termal suları genellikle benzer karbonat mineralleri (kalsit, aragonit ve dolomit) ve silika minerallerini (ör. kalsedon, kuvars) çökeltme eğilimindedir (Gökgöz ve Tarcan, 2006; Tarcan vd., 2009; Aşar vd., 2012). OZ1 kodlu termal su örneğinin kabuklaşma potansiyelinin belirlenmesi için örneğin çıkış sıcaklığı ve pH'ında ki koşullar PhreeQC 3.6.2 (Parkhurst and Appelo, 2013) programı ile değerlendirilmiştir.

Termal su örneği kalsit, aragonit, dolomit gibi karbonat mineralleri ile kuvars ve kalsedon gibi silis minerallerini çökeltme eğiliminde olup üretim aşamasında kabuklaşma önleyici kimyasalların kullanılması gerekmektedir (Şekil 8). Tuzlu suların evaporasyonu ile oluşan Halit minerali ile jips ve amorf silis ise çözünme eğilimindedir.



**Şekil 8.** Termal su örneğinin mineral doymuluk değerleri (Mineral saturation state of the thermal water)

Mineral doygunluğu aynı zamanda jeotermal alanlardaki rezervuar kaya sıcaklığının tahmin edilmesi için önerilmiş iyi bir jeotermometre olarak kullanılabilir (Reed and Spycher, 1984). Doymuluk indeksleri denge doğrusunu ( $SI=0$ ) belirli bir sıcaklık noktası civarında kesiyor ise bu kesim noktası rezervuar sıcaklığı olarak değerlendirilir. Sudan buhar ayrılması ve farklı sıcaklıktaki suların karışımı gibi süreçler denge doğrusu üstündeki kesişmeye, farklı sıcaklıktaki akışkanların karışımı ise denge doğrusu altındaki kesişmeye neden olmaktadır (Tole et. al., 1993). Termal su örneğinin farklı sıcaklıklardaki mineral denge durumunun belirlenmesi için farklı sıcaklıklardaki (25-50-75-100-125°C) doymuluk indisleri hesaplanmıştır (Şekil 9). Şekil 9'a göre, örneğin sıcaklık-doymuluk diyagramında seçili mineraller için 90-110°C rezervuar sıcaklığına sahip olabileceği görülmektedir.



Şekil 9. Termal su örneğinin mineral denge diyagramı (Mineral equilibrium diagram for the thermal water)

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Hidrojeokimyasal özellikleri itibarıyla ilk kez çalışılan Özdere-Cumhuriyet (Menderes/İzmir) jeotermal kaynağı İzmir ilinin 45km güneyinde yer almaktadır. İnceleme alanı genel olarak; Paleozoyik yaşlı Menderes metamorfikleri, Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova filisi ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozlarından oluşmaktadır. Bu birimlerin litolojik özellikleri ve önceki çalışmalar dikkate alınarak, Menderes metamorfikleri ile Bornova filis zonu kayaları "yarı geçirimli", alüvyon birimi ise "geçirimli" olarak sınıflandırılmıştır.

Genel olarak; dağlık kesimdeki yükseltilere düşen meteorik sular, faylar-kırık ve çatlaklar boyunca yer altında hareket etmekte, jeotermal gradyan ve faylanma etkisiyle ısınmakta, son olarak Gümüldür Fayı ile bu fayı tali olarak kesen ikincil muhtemel fayların kesişimleri boyunca deniz kenarında yüzeylenmektedir.

Piper diyagramını incelendiğinde termal kaynak ve deniz suyu örneklerinin Na-Cl, soğuk su örneklerinin ise Ca-HCO<sub>3</sub> bileşimli olduğu görülmektedir. Su örneklerindeki görece yüksek Mg içeriği bölgedeki ofiyolitik kayalar ile olan etkileşimi ve/veya deniz suyunun sprej etkisini işaret etmektedir. Schoeller diyagramında da kıyı suları (termal ve deniz suyu) ile dağlık alanda bulunan suların (soğuk sular) birbiriyle farklı kökenden oldukları görülmektedir. Gibbs grafiğine göre soğuk su örneklerinin kimyasal kompozisyonunu oluşturan mekanizma su-kayaç etkileşimi iken; termal ve deniz suyu örneklerinin mekanizması buharlaşma/kristalizasyon süreçleri ile denetlenmektedir.

Termal su ile deniz suyunun karışım oranının hesaplanması için kullanılan ve klorür elementine dayalı olan formüle göre, termal su örneğinin %28 tatlı su ve %72 deniz suyu içerdiği belirlenmiştir. Aynı şekilde klorür iyonu ve diğer iyonların karşılaştırıldığı ikili diyagramlarda da termal su örneğinin deniz suyu ile soğuk su örnekleri arasında yer aldığı ve deniz suyuna daha yakın konumlandığı belirlenmiştir.

Termal suyun hazne kaya sıcaklığının belirlenmesinde özellikle kalsedon, Mg/Li, Na/Li jeotermometreleri dikkate alındığında, hazne kaya sıcaklığının 78-86°C aralığında olduğu tespit edilmiştir. Mineral denge diyagramı ise 90-110°C gibi geniş bir aralığa işaret etmektedir. İncelenen termal su örneği kalsit, aragonit, dolomit gibi karbonat mineralleri ile kuvars ve kalsedon gibi silis minerallerinin çökeltme eğiliminde olup üretim aşamasında kabuklaşma önleyici kimyasallar kullanılması gerekmektedir.

Çalışma alanı içerisinde Afyon Kocatepe Üniversitesi-Jeotermal ve Maden Kaynakları Uyg. ve Arş. Merkezi tarafından gerçekleştirilen ve jeotermal potansiyelin jeolojik ve jeofizik yöntemlerle araştırılmasına yönelik olan proje sonucunda elde edilecek veriler ışığında bölgede farklı noktalarda ve derinliklerde, daha yüksek sıcaklıkta su bulunma ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır. Tüm jeolojik ve jeofizik veriler sonucunda bölgenin jeotermal sistem modelinin de güncellenmesi ve detaylandırılması mümkün olacaktır.

Özdere-Cumhuriyet mahallesinde yer alan termal su kaynağının hem bilime hem ekonomiye katkısı düşünüldüğünde; bu çalışma bir ön araştırma özelliğinde olup, inceleme alanında örnek sayısı artırılarak ve izotop analizleri de eklenerek daha detaylı bir çalışma yapılması gerekmektedir.

### **Teşekkür (Acknowledgement)**

Bu çalışmanın gerek arazi çalışması gerekse örneklerin analizi konusunda desteklerini eksik etmeyen Jeoloji Mühendisi Sn. Tuğrul Vedat Akyürek'e, Bien Yapı Ürünleri San. Turz. ve Tic A.Ş.'ne, Prof. Dr. Ahmet Yıldız'a, Dr. Öğr. Üyesi Metin Bağcı'ya, Öğr. Grv. Dr. Özcan Özyıldırım'a ve Öğr. Grv. F. Ekrem Çonkar'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışma 19.JUAM.01 numaralı projenin bir bölümünü oluşturmaktadır ve Afyon Kocatepe Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

### **Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### **Kaynaklar (References)**

- Akar, A. T., 2012. Seferihisar Ve Balçova Jeotermal Alanlarında ve Çevre Akiferlerinde Akışkan Akiminin Modellenmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 192 sf. İzmir.
- Akkuş, İ., 2020. TÜBA-Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli, "Türkiye'de Jeotermal Enerji Gerçeği: Potansiyel ve Sorunlara Genel Bir Bakış", Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- Anonim, 2019. Küçük Menderes Havzasi Nehir Havza Yönetim Planı Hazırlanması Projesi, Nehir Havza Yönetim Planı Nihai Raporu. T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson, H., 1983. The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland-II. Mineral Equilibria and independent Variables Controlling Water Compositions, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 547-566.
- Avşar, Ö., Kurtulus, B., Kaçaroğlu, F., Kusçu, G., Gürsu, S., 2012. Muğla'nın Jeotermal Kaynakları ve Doğal Mineralli Sularının Envanteri Projesi Sonuc, Raporu. Güney Ege Kalkınma Ajansı-GEKA Projesi (in Turkish).
- Baird, R., Bridgewater, L., 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, D.C.: American Public Health Association.
- Bulut, M., 2013. Ege Bölgesinde Yeni Bir Orta -Yüksek Entalpili Jeotermal Alan (Akyar) Menderes-Seferihisar-İzmir, Batı Anadolu, Türkiye. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 147, 153-167.
- Drahor, M. G., Sarı, C., Şalk, M., 1999. Seferihisar Jeotermal Alanında Doğal Gerilim (Sp) ve Gravite Çalışmaları, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1 (3).
- Emre, Ö., Özalp, S., Duman, T. Y., 2011, 1 : 250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, İzmir (NJ35-7) Paftası, Seri No :6, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara - Türkiye .
- Erdoğan, B. 1990. Tectonic relations between İzmir-Ankara Zone and Karaburun Belt, *Mineral Research and Exploration Institute (MTA) of Turkey Bulletin*, 110, 1-15.
- Eşder, T., Şimşek, Ş., 1975. Geology of izmir-Seferihisar Geothermal Area, Western Anatolia of Turkey; Determination of Reservoirs by Means of Gradient Drilling. Second United Nations Semposium on The Development And Use Of Geothermal Resources, San Francisco, California, Usa, 349-3612.
- Fouillac, C., Michard, G., 1981. Sodium/Lithium Ratio in Water Applied to The Geothermometry of Geothermal Waters, *Geothermics*, 10, 55-70.
- Fournier, R.O., 1977. A review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems, *Proceedings of the symposium on geothermal energy, Cento Scientific Programme*, 133-143.
- Fournier, R.O., 1979. A revised equation for the Na-K geothermometer. *Geoth. Resour.Counc.Transactions* 3, 221-224.
- Fournier, R.O., Truesdell, A.H., 1973. An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochem. Cosmochim. Acta* 37, 1255-1275.
- Gemici, Ü., Tarcan, G., 2002. Distribution of boron in thermal waters of western Anatolia, Turkey, and examples of their environmental impacts. *Environmental Geology*, 43, 87-98.
- Genç, Ş.C., Altunkaynak, Ş., Karacık, Z., Yazman, M., Yılmaz, Y., 2001. The Çubukludağ Graben, South of İzmir: Tectonic Significance in the Neogene Geological Evolution of the Western Anatolia, *Geodinamica Acta* 14, 45-55.
- Giggenbach, W. F., 1988. Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.

- Gökgöz, A., Akdağoğlu, H., 2016. Hydrogeology and hydrogeochemistry of a coastal low-temperature geothermal field: a case study from the Datça Peninsula (SW Turkey). *Environ Earth Sci* 75, 1143
- Gökgöz, A., Tarcan, G., 2006. Mineral equilibria and geothermometry of the Dalaman–Köyceğiz thermal springs, southern Turkey. *Appl Geochem* 21:253–268.
- IAH., 1979. Map of Mineral and Thermal Water of Europe, Scale: 1:500.000, IAH (International Association of Hydrogeologists), United Kingdom.
- Kaya, M.N., 2019. İzmir-İlkipınar Sıcak Ve Mineralli Sularının Hidrojeokimyasal İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı, 69 sf., Ankara.
- Kharaka, Y.K., Mariner, R.H., 1989. Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins. In: Nâser, N.D., McCulloh, T.H. (Eds.), *Thermal History of Sedimentary Basins. Methods and Case Histories*, New York, pp. 99–117.
- Kurttaş, T., 2002. Karışım Sularında Kökensele Katkıların Belirlenmesi, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, DSİ Genel Müdürlüğü, Adana.
- Mertoğlu, O., 2020. TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli, “Dünyada ve Türkiye’de Jeotermal uygulamalar ve Teknolojiler”, Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- Mungan, G. G., Filiz, F. G., Baba, A., (2018). Jeotermal Akışkanda Radon ve Etkileri: Batı Anadolu Örneği, 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 839-842, 23-27 Nisan 2018, Ankara.
- Nieva, D., Nieva, R., 1987. Development in Geothermal Energy Mexico, Part 12-A Cationic Composition Geothermometer For Prospection of Geothermal Resources, Heat Recovery Systems And CHP, 7, 243-258.
- Özen, T., Tarcan, G., 2005. Dikili-Kaynarca (İzmir) Jeotermal Sistemlerinin Hidrojeolojik ve Jeokimyasal Değerlendirilmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7 (2), 87-100.
- Özgür, N., Pala, E. A., Değirmenci, S., 2017. Hydrogeological, Hydrogeochemical and Isotope Geochemical Features of the Geothermal Waters in Seferihisar and Environs, Western Anatolia, Turkey, *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium*, 95, 022039.
- Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., 2013. Description of input and examples for PHREEQC version 3—A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A43, 497 p., available only at <https://pubs.usgs.gov/tm/06/a43/>.
- Reed, M., Spycher, N., 1984. Calculation of pH and Mineral Equilibria in Hydrothermal Waters With Application to Geothermometry and Studies of Boiling and Dilution, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 1479-1492.
- Somay, M. A., Filiz, Ş., 2006. Küçük Menderes Nehri kıyı sulak alanının hidrojeokimyasal değerlendirilmesi. *Geosound*, V: 48–49, 113–127, Adana (In Turkish).
- Şimşek, Ş., Doğdu, M. Ş., Akan, B., Yıldırım, N., 2000. Chemical and Isotopic Survey Of Geothermal Reservoirs In Western Anatolia, Turkey. *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, Japan.
- Şimşek, C., Filiz, Ş., 2005. Torbalı Ovası ve Çevresindeki Akiferlerin Hidrojeolojisi ve Kirlenebilirliği. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7 (2), 21-37.
- Tarcan, G., Gemici, Ü., 2003. Water geochemistry of the Seferihisar geothermal area, İzmir, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 126 (3-4), 225-242.
- Tarcan, G., Gemici, Ü., Aksoy, N., 2009. Hydrogeochemical factors effecting the scaling problem in Balçova geothermal field, İzmir, Turkey. *Environ Geol* 58:1375–1386
- Tole, M.P., Armannson, H., Zhong-He P., Arnorsson, S., 1993. Fluid/mineral equilibrium calculations for geothermal fluids and chemical geothermometry. *Geothermics* 22:17–37
- Verma, M.P., 2000. Limitations in applying silica geothermometers for geothermal reservoir evaluation *Proceedings*. In: *Twenty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, vols. 24–26 Stanford University, Stanford, California.
- Verma, M.P., Santoyo, E., 1997. New improved equations for Na/K, Na/Li and SiO<sub>2</sub> geothermometers by outlier detection and rejection. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 79, 9–23.
- Int kaynağı-1 <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>



## ŞAŞIRTMALI MAHMUZLARIN ÜÇ BOYUTLU SAYISAL ANALİZİ

Oğuz ŞİMŞEK\*, Veysel GÜMÜŞ, Abdulkadir ÖZLÜK

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Akışkan Hacimleri Yöntemi, Sayısal Modelleme, Su Yüzü Profili, Şaşırtmalı Mahmuz, Üç Boyutlu Analiz.</i>	<p>Mahmuzlar, kıyıda katı madde hareketini engelleyerek, kıyıların mevcut durumunu korumak üzere inşa edilirler. Dalga hareketlerinin mevsimsel farklılık göstermesi, kıyıların değişimine neden olabilmektedir. Kıyıları korumak adına inşa edilen mahmuzlarla etkileşim halinde olan akımın hareketinin analiz edilmesi, kıyıların korunması açısından alınacak önemleri daha etkili kılacaktır. Bu çalışmada, farklı akım durumlarında deneysel olarak incelenen şaşırtmalı mahmuzların üç boyutlu sayısal modellemesi yapılmıştır. Sayısal modellemelerde, akımın hareketini tanımlayan, Navier Stokes ve süreklilik denklemleri, sonlu hacimler yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Sayısal modellemelerde, türbülans viskozitesinin hesabında, Ayrılmış Girdap Simülasyon (Detached Eddy Simulation-DES) modeli ve su-hava arakesitinin belirlenmesinde ise akışkan hacimleri yöntemi kullanılmıştır. DES modeli kullanılarak elde edilen sayısal model sonuçları deneysel bulgularla karşılaştırılmış ve karşılaştırma sonucunda sayısal model sonuçlarının deneysel bulgularla oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, sayısal modelleme tekniklerinin şaşırtmalı mahmuz yapılarıyla etkileşimde bulunan akım problemlerinin çözümünde başarılı olduğu, farklı akım ve yapı koşullarında tekrar edilebilme imkânı sunmasından dolayı tercih edilebileceği belirlenmiştir.</p>

## THREE-DIMENSIONAL NUMERICAL ANALYSIS OF STAGGERED GROINS

Keywords	Abstract
<i>Volume of Fluid Method, Numerical Modeling, Water Surface Profile, Staggered Groins, 3D Analysis.</i>	<p>Groins are built to preserve the flow state of the coasts by impeding the movement of solids along the coast. The seasonal variation of wave movements can cause the coasts to change. Analyzing the movement of the flow in interaction with the groins, built to protect the coasts, will make the measures to be taken in terms of protection of the coasts more effective. In this study, three-dimensional numerical modeling of the staggered groins, which have been studied experimentally in different flow conditions, is made. In numerical models, Navier Stokes and continuity equations that govern the motion of the flow have been solved using the finite volume method. In numerical modeling, Detached Eddy Simulation (DES) model was used to calculate turbulent viscosity and Volume of Fluid (VOF) method is used to determine water-air intersection. The numerical model results obtained by using the DES model, are compared with the experimental findings. As a result of the comparison, it is found that the numerical model results were quite compatible with the experimental findings. As a result, it has been determined that numerical modeling techniques are successful in solving flow problems that interact with staggered groin structures. They can be preferred because it offers repeatability under different flow and structure conditions.</p>

### Alıntı / Cite

Şimşek, O., Gümüş, V., Özlük, A., (2021). Şaşırtmalı Mahmuzların Üç Boyutlu Sayısal Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 187-198.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
O. Şimşek, 0000-0001-6324-0229	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> 01.12.2020
V. Gümüş, 0000-0003-2321-9526	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b> 31.01.2021
A. Özlük, 0000-0002-0189-6203	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b> 04.02.2021
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b> 30.03.2021

\* İlgili yazar / Corresponding author: oguzsimsek@harran.edu.tr, +90-414-318-3000/3786

## 1. Giriş (Introduction)

Mahmuzlar, kıyıda koruyucu bir alan oluşturmak amacıyla, kıyı şeridinde meydana gelen katı madde taşınımını ve erozyonunu önleyen, kıyıya dar ve dik olarak inşa edilen yapılardır. Mahmuzlar inşa edildikleri kıyıda, taşınan malzemeyi tutarak mevcut kıyının korunmasını sağlarlar. Ayrıca, yüksek plajlarda plajın ilk durumunu meydana getiren küçük çaplı sedimentlere göre daha iri sedimentlerin hareketlerini engelleyip, plajın yukarı kısımlarında biriktirilmesini sağlar ve memba tarafındaki malzeme hareketini azaltarak, akarsu veya denizlerde inşa edilen limanların ve balıkçı barınaklarının bu taşınan malzemeyle dolmalarını önleyerek işlevlerini sağlamak ve korumak gibi amaçlar için inşa edilirler. Mahmuzlar şekline göre düz mahmuzlar, T ve L mahmuzlar, inşasında kullanılan malzeme cinsine göre ise ahşap, çelik, beton ve taş mahmuzlar, işlevine göre ise kısmen geçirimsiz ve tamamen geçirimsiz mahmuzlar, yüksekliğine göre yüksek ve alçak mahmuzlar, sabit ve yüksekliğinin yanında açısı değişken (ayarlanabilir) mahmuzlar şeklinde sınıflandırılırlar (Özölçer vd, 2006; Süme ve Yüksel, 2018; Süme vd, 2019).

Mahmuzlar, genellikle akarsu yatağında mendereslerin ve kıvrımların bulunduğu bölgelerde, iç kıyıda katı madde yığılmasını dış kıyıda ise kıyı aşınmasını önlemek üzere inşa edilirler. Hareket halindeki katı maddenin hareketine, mahmuzların boyları, aralıkları, tipleri ve akımla olan açıları etki etmektedir. Ülkemizin üç tarafının denizlerle çevrili olmasından dolayı kıyılarımızın korunması ve kıyı tahribatının önlenmesi oldukça önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Çok sayıda araştırmacı tarafından fiziksel ve sayısal model çalışması yapılmakta ve kıyıların mevcut durumlarının korunması ve gerekli tedbirlerin alınması açısından öneriler geliştirilmektedir (Özölçer, 1998; Süme, 2014). Hanson ve Kraus (1990), dalga kıran ve mahmuzların kıyı şeridine olan etkilerini belirlemek için deneysel ve sayısal modelleme gerçekleştirmişlerdir. Deneysel ve sayısal modellemelerde, dalgalar akıma eğik bir açıyla gönderilerek kıyı, harekete zorlanmıştır. Deneysel ve sayısal model sonuçlarından, mahmuzlar ve dalgakıranlarla etkileşimde olan dalgaların akım karakteristiklerinin benzer olduğu belirtilmiştir. Sayısal model sonucunda elde edilen sediment taşınım kalibrasyon katsayısının, kıyı yapıları için oluşturulan prototip modellerinde uygun görülen katsayı aralığında olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda, fiziksel modellerin, kıyıların inşa edilen yapıların, kıyı şeridi üzerindeki etkisinin zamansal ve uzamsal özelliklerini doğru bir şekilde ölçeklenebildiği belirlenmiştir. Abam (1993), Nijer Deltasındaki erozyonu kontrol etmek için kullanılacak yöntemleri deneysel olarak incelemiştir. Yöntem olarak güçlü kamış ağları ile bağlanmış ahşap yığınlar kullanılarak geçiren bir mahmuz tasarlamıştır. Yağışların gerçekleştiği dönemde, ana kanal içerisindeki akımın mevsimin pik değerlerinin %10 seviyesine ulaşması durumunda yerel kaymaların meydana geldiğini ve mahmuzlarda arızaların oluştuğunu tespit etmiştir. Yaptığı deneylerin sonucunda, kazık sisteminin gömülme derinliğinin mahmuz yapısının stabilizesini sağlayan en önemli faktör olduğunu ortaya çıkarmıştır. Badieli vd. (1995), mahmuzların kıyıya olan etkisini belirlemek üzere deneysel çalışmalar yapmışlardır. Mahmuzsuz ve farklı geçirimsizliğe sahip mahmuzlu olmak üzere, farklı sahil uzunluklarında model çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, sayısal model çalışmalarının test edilmesi ve doğruluğunun kontrol edilmesi için önemli bilgilerin elde edildiği belirtilmiştir. Deneysel olarak elde edilen bulguların değerlendirilmesinden, sahil batimetrisinin ve morfolojisinin analiz açısından önemli olduğu görülmüştür. Yılmaz (2003), derinlik ortalamalı sığ su denklemlerinin sonlu hacimler metoduyla değişken ve iki boyutlu akım için çözüm algoritmasını geliştirmek üzere araştırma yapmıştır. Geliştirilen çözüm algoritmasının doğruluğunun test etmek için literatürde bulunan mevcut bulguları ve laboratuvar ölçümlerini kullanmıştır. Deneysel çalışmada, iki ve üç boyutlu olmak üzere farklı akım türlerini incelemiştir. Üç boyutlu akım problemi için kanal yan yüzeylerine dikdörtgen mahmuzlar yerleştirilerek, bu yapılar ile etkileşim halinde olan akımı analiz etmişlerdir. Deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılmasından, iki boyutlu akım probleminin çözümde bu çözüm algoritmasının kabul edilebilir olduğu, üç boyutlu akım probleminin çözümde ise iyileştirme yapılması gerektiğini ve uygun bir türbülans modeliyle daha iyi sonuçlar elde edileceği belirtilmiştir. Gu ve Ikeda (2009), açık kanal içerisine farklı sayıda mahmuz yerleştirmiş ve farklı mahmuzlar ara mesafesinde mahmuzlarla etkileşimde olan akımı deneysel olarak analiz etmişlerdir. Deneysel olarak elde edilen sonuçlardan, akım alanında maksimum hızın mahmuzların mansap bölgesinde mahmuzlar arasındaki mesafenin 2/5 olduğu durumda oluştuğu ve yeniden bağlanma noktalarının mahmuzlar arasındaki mesafenin 4/5 olduğu durumda oluştuğu tespit etmişlerdir. Ayrıca, x doğrultusundaki akış yönü ile akış arasındaki açının mahmuzlar arasındaki mesafenin artmasıyla azaldığını belirtmişlerdir. Barcelo (2014) yüksek ve geçirimsiz mahmuzların hidrolik davranışlarını incelemek için deneysel olarak çalışmıştır. Deneysel çalışmada farklı dalga özellikleri kullanarak sahilde meydana gelecek değişiklikleri belirlemek ve bu değişiklikleri kontrol altına almak üzere mahmuz inşa edilmesinin etkisini belirlemeyi hedeflemiştir. Ayrıca, dalga hareketinin karakteristikleriyle kıyı boyu akıntı arasında ilişki kurmayı amaçlamıştır. Mahmuzların kullanılmasıyla bir bölgede belli bir zaman aralığında biriken katı madde miktarının hesaplanabileceği ve bu değer kullanılarak kıyı boyu akıntı miktarının belirlenebileceği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda, gönderilen dalganın gücü ile kıyı boyu akıntısı arasında doğrudan ilişki olduğu belirlenmiştir. Safie ve Tominaga (2020), farklı kazık grubu mahmuzların akış yavaşlaması üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırmıştır. Kazık yoğunluğu, düzenleme, sıra aralığı ve uzunluğun akım üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için çok sayıda deneysel çalışma yapılmıştır. Kazıkların yerleştirilme şeklinin ve düzeninin, mahmuzların arkasındaki akış büyüklüğünün ve modelin kontrolünde etkin bir parametre olduğu

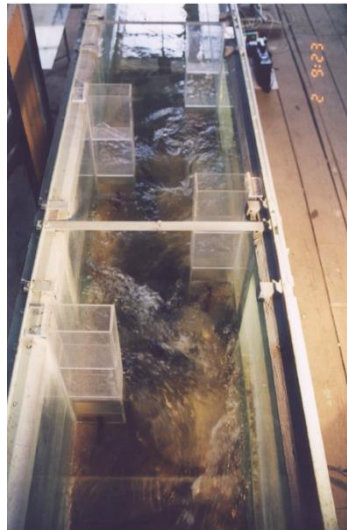


belirlenmiş ve farklı sayıda ve düzende kazık yerleştirilerek, etkin akım hızında kademeli ve yumuşak bir hız düşüşü elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Mevcut literatür incelendiğinde, mahmuzlarla ilgili sayısal modellemenin yapıldığı çalışmaların yeteri sayıda olmadığı ve sayısal model sonuçlarının deneysel sonuçlarla doğrulanması çalışmasının yapılmadığı söylenebilir. Farklı hidrolik yapıların sayısal modellemesinin yapıldığı çalışmaların sonuçları, sayısal modellemelerin yapı akım etkileşimi problemlerin çözümünde, akım alanında ayrılmaların ve ikincil akımların bulunduğu akımların çözümünde güvenle kullanılabileceğini göstermektedir (Rogallo ve Moin, 1984; Aköz vd, 2007; Kırkgöz vd, 2009; Aköz vd, 2009; Öner, 2009; Şimşek, 2020a; Şimşek, 2020b). Bu alandaki çalışmaların çoğaltılmasına gereksinim olduğu düşünülmektedir.

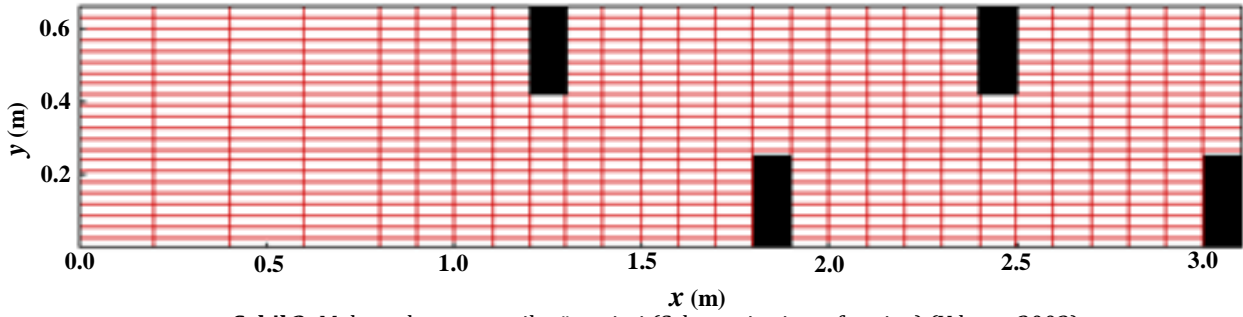
Bu çalışmada, Yılmaz (2003) tarafından laboratuvar ortamında farklı akım durumları için gerçekleştirilen fiziksel modelin 3 boyutlu sayısal modellemesi yapılmıştır. Akımı hareketini yöneten süreklilik ve momentum denklemleri, sonlu hacimler yöntemine dayalı çözüm yapan ANSYS- Fluent paket programıyla çözülmüştür. Su yüzü profilinin sayısal olarak elde edilmesinde ise Akışkan Hacimleri Yöntemi (Volume of Fluid-VOF) kullanılmıştır. Türbülans viskozitesinin sayısal modellenmesinde ise, üç boyutlu karmaşık akım yapılarını modellemesinde oldukça başarılı olan (Aköz vd, 2016; Jesudhas vd, 2017; Jesudhas, 2020) Detached Eddy Simülasyon (DES) modeli tercih edilmiştir. Farklı akım durumunda elde edilen enine ve boyuna deneysel su yüzü profilleri, sayısal olarak elde edilen su yüzü profilleriyle karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak elde edilmesi için basınç sensörleri, hız ve seviye ölçüm aletleri gibi özel ekipman ve uzman kişiler gerektiren akımla ilgili bazı parametreler, sayısal modelleme sonucunda elde edilmiş ve değerlendirilmiştir.

## 2. Deneysel Çalışma (Experimental Study)

Deneyler, Yılmaz (2003) tarafından, Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarındaki, 12 m uzunluğunda, 0,67 m genişliğinde ve 0,50 m derinliğinde, yan duvarları camdan, tabanı ise hidrolik olarak cilalı olarak kabul edilen pleksiglastan tasarlanmış açık kanal modelinde yürütülmüştür. Mahmuzlar dikdörtgen geometriye sahip olup kanal en kesiti boyunca uzunluğu 0,25 m, kanal boyunca uzunluğu 0,10 m olarak belirlenmiştir (Şekil 1). İlk mahmuz kanal başlangıcından 1,2 m ileriye yerleştirilmiş olup karşı kenardaki mahmuz ile arasında 0,60 m mesafe bulunmaktadır. Aynı kenarda bulunan mahmuzlar arasında 1,2 m mesafe olacak şekilde yerleştirilmiştir. Deney kanalının tamamı kullanılmamış olup sadece 3,1 m uzunluğunda bir bölgeye, 4 adet mahmuz şaşırtmalı olarak yerleştirilmiştir (Şekil 2). Akım debisinin 0,02 m<sup>3</sup>/s (A1), 0,04 m<sup>3</sup>/s (B1) ve 0,06 (C1) m<sup>3</sup>/s olduğu durumlarda, kanal orta ekseninde boyuna ve belirli aralıklarla enine su yüzü profilleri deneysel olarak elde edilmiştir. Akımın düzensiz olmasından kaynaklı olarak, maksimum ve minimum su derinlikleri ayrı ayrı ölçülmüştür. Kanal uzunluğu boyunca 0,1 m aralıklarla yerleştirilen 28 adet istasyondan, kanal en kesiti boyunca ise 0,03 m aralıklı 23 adet farklı istasyondan derinlik ölçümleri yapılarak, kanal boyuna ve enine su yüzü profilleri elde edilmiştir. Bir akım profilinin deneysel olarak belirlenmesi için toplamda 644 adet ölçüm değeri kullanılmıştır. Ayrıca, su yüzü profilleri serbest veya batık durumda elde edilmiştir (Yılmaz, 2003).



Şekil 1. Deney düzeneği (Experimental setup) (Yılmaz, 2003)



Şekil 2. Mahmuzların şematik gösterimi (Schematic view of groins) (Yılmaz, 2003)

### 3. Sayısal Modelleme (Numerical Modeling)

#### 3.1. Temel Denklemler (Basic Equations)

Üç-boyutlu, sıkışmayan ve türbülanslı açık kanal akımının hareketini idare eden temel denklemler, kütle ve momentumun korunumu (Reynolds-ortalama Navier-Stokes) denklemleri sırasıyla aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) = \rho g_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$

(1) ve (2) denklemlerinde  $u_i$ ,  $x_i$  doğrultusundaki hız bileşeni,  $g$  yer çekimi ivmesi,  $p$  basınç,  $\mu$  dinamik viskozite,  $\rho$  akışkan yoğunluğu ve  $\tau_{ij}$  türbülans (Reynolds) gerilmeleridir. Bu çalışmaya konu olan üç boyutlu akımı idare eden yukarıdaki 4 adet denklem 10 adet bilinmeyen içermektedir, bunlar: üç hız bileşeni  $\bar{u}_i$ , basınç  $\bar{p}$  ve 6 bağımsız

Reynolds gerilmesidir ( $-\rho \overline{u'_i u'_j}$ ). Böylece, denklem sisteminin çözülebilmesi için türbülans gerilmelerinin tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sorun, yukarıdaki zamansal-ortalama denklemlerin sayısal çözümü sürecinde, denklemlerde yer alan türbülans gerilmelerinin uygun türbülans kapatma modelleriyle tanımlanmasını gerektirmektedir. Türbülans viskozitesinin doğrusal olarak ifade edilmesini esas alan Boussinesq yaklaşımına göre (2) denklemindeki türbülans kayma gerilmeleri bünye denklemi ile, sıkışmayan akımlar için aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$\tau_{ij} = -\rho \overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (3)$$

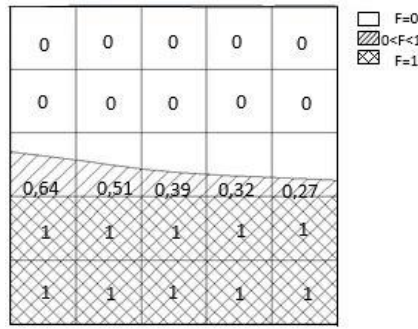
burada  $u'_i$  ve  $u'_j$  yatay ve düşey türbülans hız sapıncıları,  $\mu_t$  türbülans viskozitesi,  $k$  ( $= \overline{u'_i u'_i} / 2$ ) türbülans kinetik enerjisi ve  $\delta_{ij}$  Kronecker deltasıdır.

#### 3.2. Türbülans Modeli (Turbulence Model)

Denklem (3)'de görülen  $\mu_t$  türbülans viskozitesinin hesaplanmasında birçok türbülans kapatma modeli farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada,  $\mu_t$ 'nin hesabında DES modeli kullanılmıştır. DES modeli, Large Eddy Simulation (LES) ve Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) modellerinin birleştirilmesi sonucunda elde edilmiş hibrit bir modeldir. Bu model, LES ve RANS modellerini yüksek Reynolds sayılı, harici aerodinamik simülasyonlarının mevcut olduğu uygulamalar için birleştirmektedir. ANSYS-Fluent paket programı, DES için dört farklı alt model önermektedir. Bunlar, Spalart-Allmaras, Realizable  $k-\varepsilon$ , SST  $k-\omega$  ve Transition SST modelleridir (ANSYS, 2012). DES modelinin hesaplama maliyeti, RANS modellerine göre daha fazla iken, LES modeline kıyasla daha azdır. Bu çalışmada, DES ile yapılan sayısal hesaplamalarda Realizable  $k-\varepsilon$  alt modeli kullanılmıştır. DES modeli köprü ayağının mansap bölgesinde ve batmış hidrolik sıçrama gibi dinamik yapının bulunduğu akım problemlerinin çözümünde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir (Aköz vd, 2016; Jesudhas vd, 2017; Jesudhas, 2020).

### 3.3. Akışkan Hacimleri Yöntemi (Volume of Fluid Method- VOF)

Sayısal modellemelerde, birbirine karışmayan en az iki farklı akışkanın birbiriyle etkileşimde olduğu ara yüzeyinin belirlenmesinde, akışkan hacimler yöntemi oldukça sık kullanılmaktadır (Kirkgoz vd., 2008; Kirkgoz vd., 2009; Muslu, 2001; Aydın, 2012; Soydan vd., 2012; Akoz vd., 2014; Simsek vd., 2016; Soydan vd., 2017; İlkentapan ve Öner, 2017; Gümüş vd., 2018; Soydan vd., 2020; Şimşek, 2020a; Şimşek, 2020b). Bu yöntemde hesaplama ağının her bir hücresinin hacimsel doluluk oranını temsil eden F akışkan hacmi tanımlanır. F değeri, hücrenin tamamen dolu olması durumunda 1, kısmi dolu olması durumunda 0 ile 1 arasında veya tamamen boş olması durumunda ise 0 değerini almaktadır (Hirt ve Nichols, 1981). Serbest su yüzünün hesaplanmasında akışkan hacimleri yönteminde "Geo-Reconstruct" yaklaşımı tercih edilmiştir (ANSYS, 2012). Geo-Reconstruct yaklaşımında, ilk olarak tamamen dolu veya boş olmayan her bir hücrenin doluluk oranı ve onun türevleriyle bağlantılı bilgiler kullanılarak, su-hava doğrusal ara kesitinin hücre ağırlık merkezine göre yeri tespit edilir. Daha sonra, elde edilen doğrusal ara kesitin yeri ve hücre yüzeylerinde elde edilmiş normal ve teğetsel hız değerleri yardımıyla her bir hücrenin yüzeyinden taşınan akışkan miktarı elde edilir. Son olarak, ikinci adımda hesaplanan akışkan miktarları dikkate alınarak, süreklilik denklemi ile her bir hücrenin hacimsel doluluk oranı hesap edilir. Temsili olarak su-hava arakesitinin doluluk oranını gösteren örnek bir görüntü Şekil 3'te verilmiştir. Şekil üzerindeki sayısal değerler, kesitteki F doluluk oranlarının sayısal değerlerini göstermektedir.

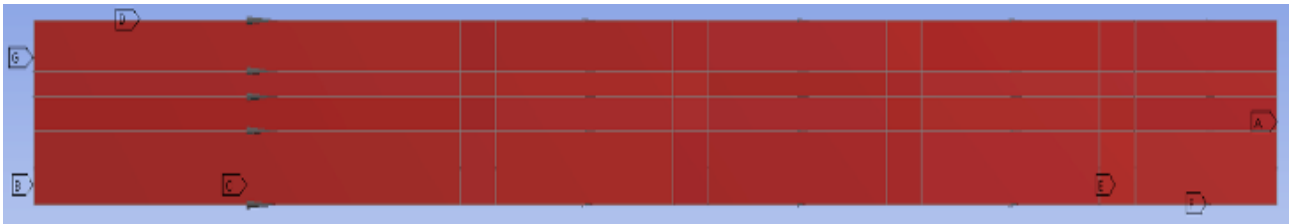


Şekil 3. Ağ elemanlarının doluluk oranı (Occupancy rate of computational grid)

### 3.4. Çözüm Bölgesi, Başlangıç ve Sınır Şartları (Solution Domain, Initial and Boundary Conditions)

Şekil 4'te, sayısal modellemelerde kullanılan çözüm bölgesi ve sınır şartları verilmiştir. Sayısal modellemelerde kullanılan koordinat sisteminin orijini, çözüm bölgesinin sol alt köşesi olarak alınmıştır. Çözüm bölgesinin giriş sınırının üst kısmı (G), üst (D) ve çıkış sınırlarının (A) sınır şartları sıfır basınç ( $p=0$ ), kanal tabanında (F) ve mahmuz yüzeylerinde (C ve E) sıfır hız sınır şartı, yani  $u=0$ ,  $v=0$  olarak tanımlanmıştır. A1, B1 ve C1 akım durumlarında sayısal modelde giriş sınır (B) şartı olarak yatay hız bileşeni deneysel debi değerlerinden elde edilen akım hızları sırasıyla 0,23, 0,267 ve 0,298 m/s olarak ve dikey hız bileşeni ise  $v=0$  olarak tanımlanmıştır. Zamana bağlı çözüm sürecinde, başlangıç şartı olarak, çözüm bölgesinin giriş sınırında doluluk oranı  $F=1$ , diğer bölgeler ve çözüm bölgesinin çıkış sınırında ise  $F=0$  alınmıştır. Ayrıca, giriş sınırında, hidrolik çap A1, B1 ve C1 akım durumlarında sırasıyla 0,44, 0,5508, 0,622 m ve türbülans şiddeti tüm akım durumlarında %5 olarak alınmıştır.

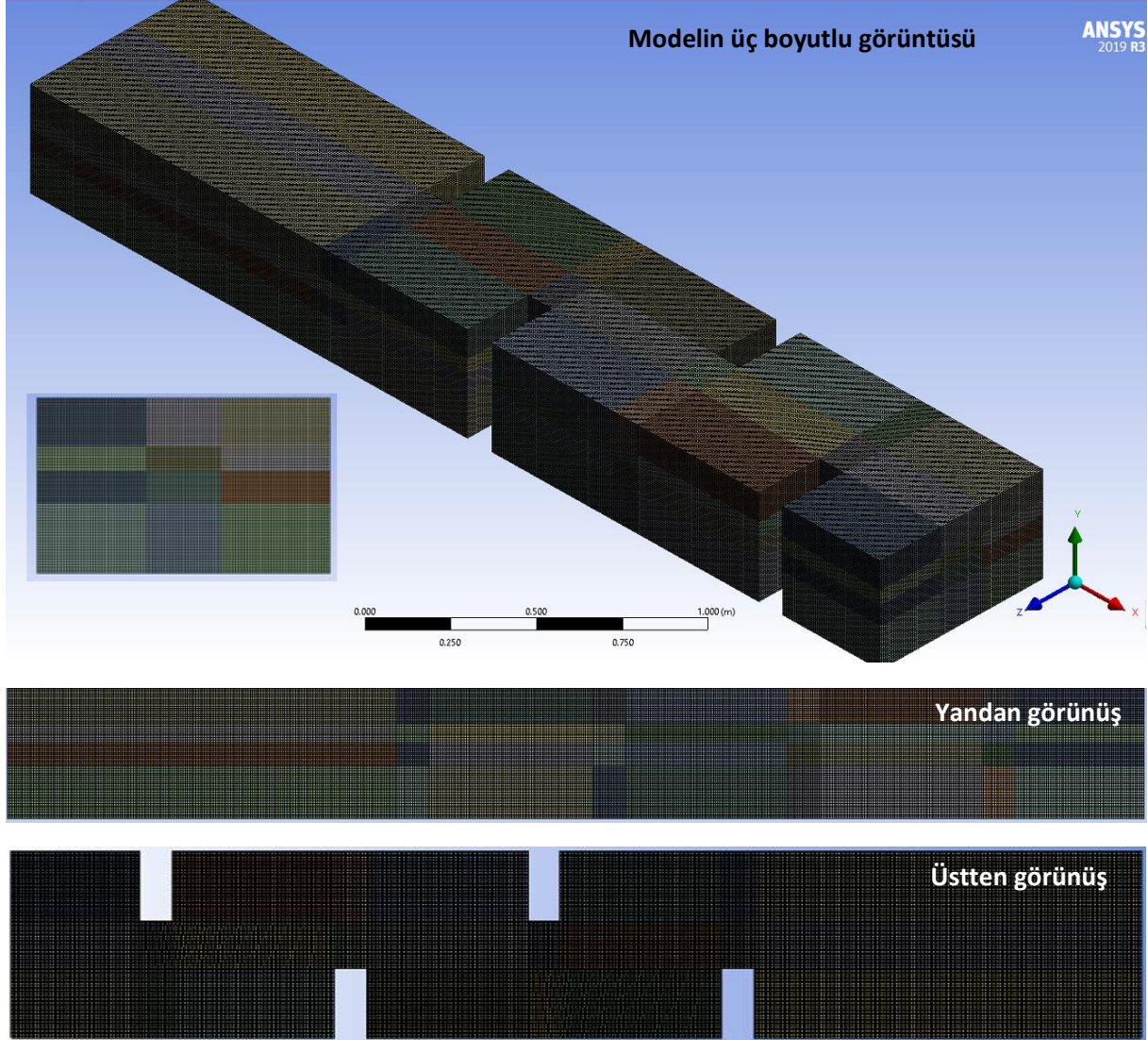
Sayısal modellemede kullanılan DES modeli için zaman adımı değişken olarak seçilmiştir. Courant sayısının maksimum 2 olacak şekilde zaman adımı kullanılan paket program tarafından hesaplanmıştır. Sayısal çözümler, akım dengeye geldikten sonra yaklaşık olarak 30s daha devam ettirilmiştir. Toplamda hesaplama süresi 50s olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Çözüm bölgesi ve sınırlar (Solution domain and boundaries)

### 3.5. Sayısal Hesaplama Ağı Tasarımı (Design of Numerical Computational Grid)

Sayısal modellemelerde kullanılan hesaplama ağının sonuçlar üzerindeki etkisi, sayısal modelleme konusunda çalışan araştırmacılar tarafından bilinmektedir. Bu çalışmada, sayısal modellemede üç farklı akım durumunda aynı hesaplama ağının kullanılması için giriş sınırı dört alt bölgeye ayrılarak giriş su yüksekliklerine bağlı olarak sınır şartları değiştirilmiştir. C1 akım durumunda elde edilen su yüksekliğinin üzerinde 0.05 m mesafe bırakılarak su-hava arakesitinin program tarafından doğru bir şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır. Çözüm bölgesi planda 23 alt bölgeye, yandan 36 alt bölgeye ayrılarak toplamda 828 alt bölge oluşturulmuştur (Şekil 5). Mahmuzların şaşırtmalı olması, alt bölge sayısının artmasına neden olmasına karşın hesaplama ağının dikdörtgen elemanlardan oluşması sağlanmıştır. Çözüm bölgesinin tamamında yaklaşık olarak 3200000 tane dikdörtgen eleman bulunmaktadır.



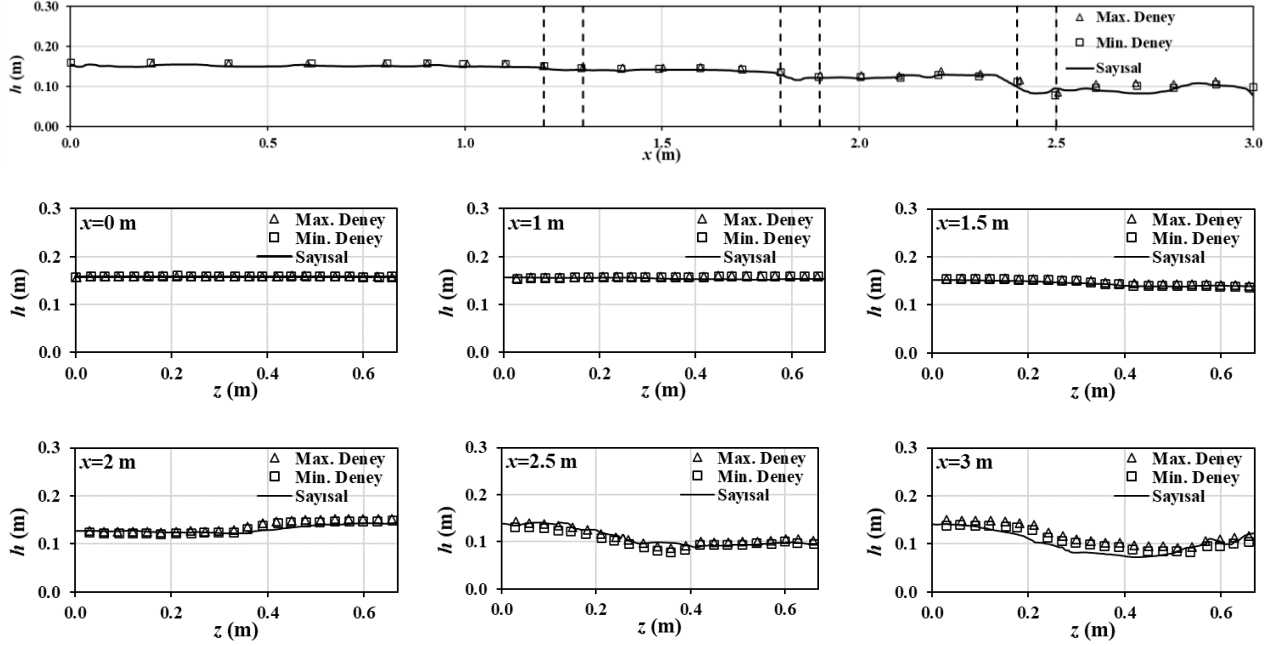
Şekil 5. Sayısal hesaplama ağı (Numerical computational grid)

## 4. Bulgular ve Tartışma (Results and Discussion)

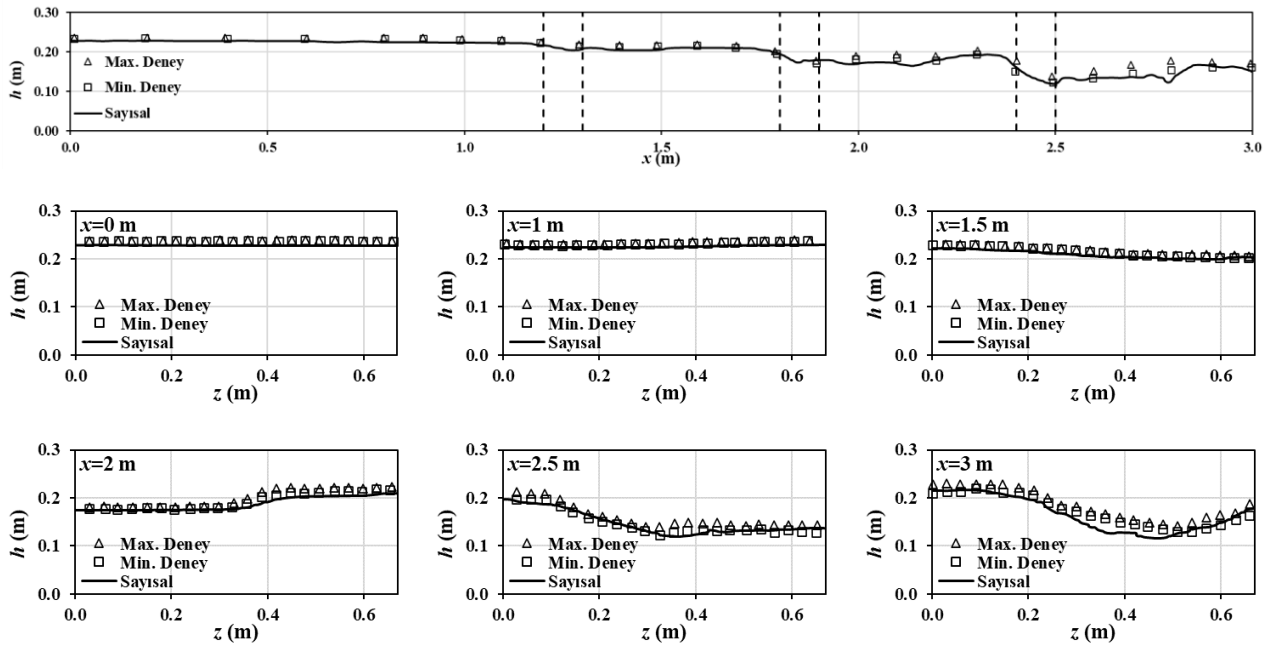
### 4.1. Deneysel ve Sayısal Su Yüzü Profilleri (Experimental and Numerical Water Surface Profiles)

Yılmaz (2003) tarafından, A1 serbest akım durumda deneysel olarak elde edilen su yüzü profillerinin sayısal model sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, kanal orta kesitinde x eksenini boyunca elde edilen deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Kanal en kesitinde farklı x mesafelerinde elde edilen deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin birbiriyle benzer olduğu söylenebilir. Kanal sonuna doğru akımın daha karmaşık hale geldiği x=3m en kesitinde elde edilen su yüzü profillerinin diğer en kesitlerden elde edilenlere kıyasla daha uyumsuz olduğu görülmekte ise de bu kesitte genel olarak su yüzü profiline birbiriyle benzer olduğu ifade edilebilir.

Akım debisinin A1 durumuna kıyasla iki kat arttığı B1 durumunda elde edilen deneysel su yüzü profillerinin, sayısal model sonuçlarıyla karşılaştırılması Şekil 7’de verilmiştir. Kanal orta ekseninde elde edilen su yüzü profilinin ve  $x=0, 1, 1.5, 2, 2.5$  ve  $3$  m kesitlerinde elde edilen deneysel su yüzü profillerinin sayısal su yüzü profilleriyle arasındaki uyumun oldukça iyi olduğu görülmektedir. A1 durumuna benzer olarak sayısal ve deneysel su yüzü profilleri arasında  $x=3$  m kesitinde çok az da olsa kanal orta bölgesinde farklılık bulunduğu söylenebilir. Bu uyumsuzluğun, bu kesitin kanal çıkış kesiti olması, akımın bu kesite gelinceye kadar mahmuz yapılarıyla etkileşimde olması nedeniyle akımın karmaşık bir yapı sergilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



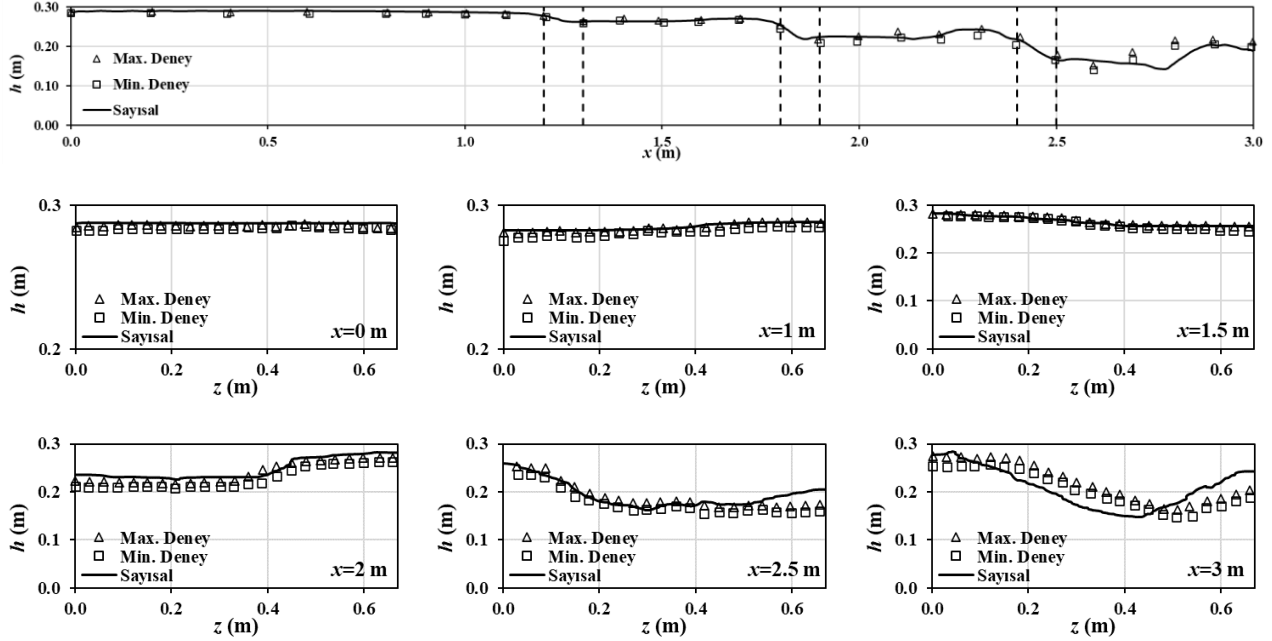
Şekil 6. Deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin karşılaştırılması (A1) (Comparison of experimental and numerical water surface profiles (A1))



Şekil 7. Deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin karşılaştırılması (B1) (Comparison of experimental and numerical water surface profiles (B1))

Şekil 8’de, C1 serbest akım durumunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen su yüzü profillerinin karşılaştırılması verilmiştir. Kanal orta ekseninde  $x$  doğrultusu boyunca elde edilen profillerin birbiriyle genel olarak uyumlu olduğu görülmektedir. Akım debisinin artmasıyla  $x=2.5$  ve  $3$  m kesitlerinde elde edilen su yüzü profilleri arasında uyumsuzluğun arttığı belirtilebilir. Bu duruma akım debisinde artıştan kaynaklı olarak akımda meydana gelen

düzensizliğin A1 ve B1 durumlarına göre daha büyük olması gösterilebilir. Bu bölgedeki su yüzünde meydana gelen değişim diğer debi durumlarına kıyasla daha büyük olmaktadır. Tüm akım durumlarında kanal boyunca elde edilen su yüzü profillerinde, akımın mahmuzlarla etkileşimde bulunduğu bölgelerde akım hızında meydana gelen azalış veya artıştan dolayı memba ön bölgesinde su derinliğinin arttığı ve mahmuzların bulunduğu kesitte su derinliğinin azaldığı görülmektedir.

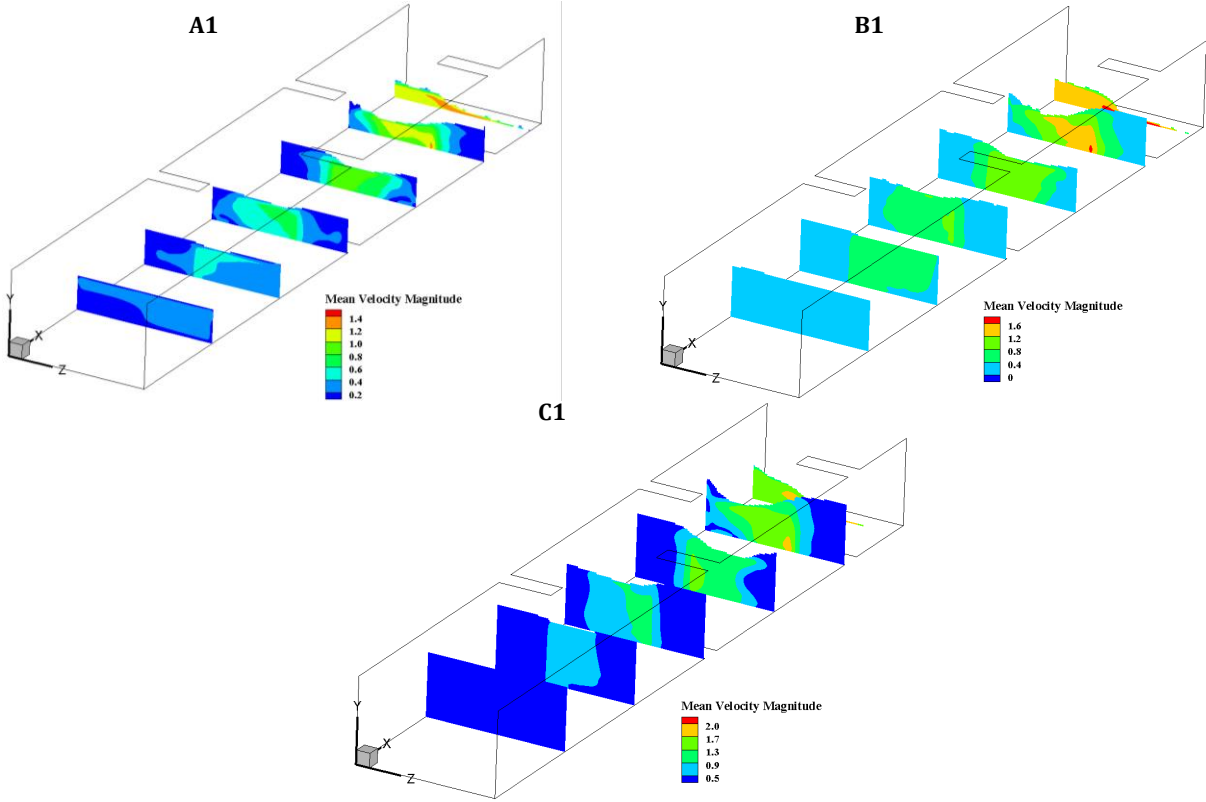


Şekil 8. Deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin karşılaştırılması (C1) (Comparison of experimental and numerical water surface profiles (C1))

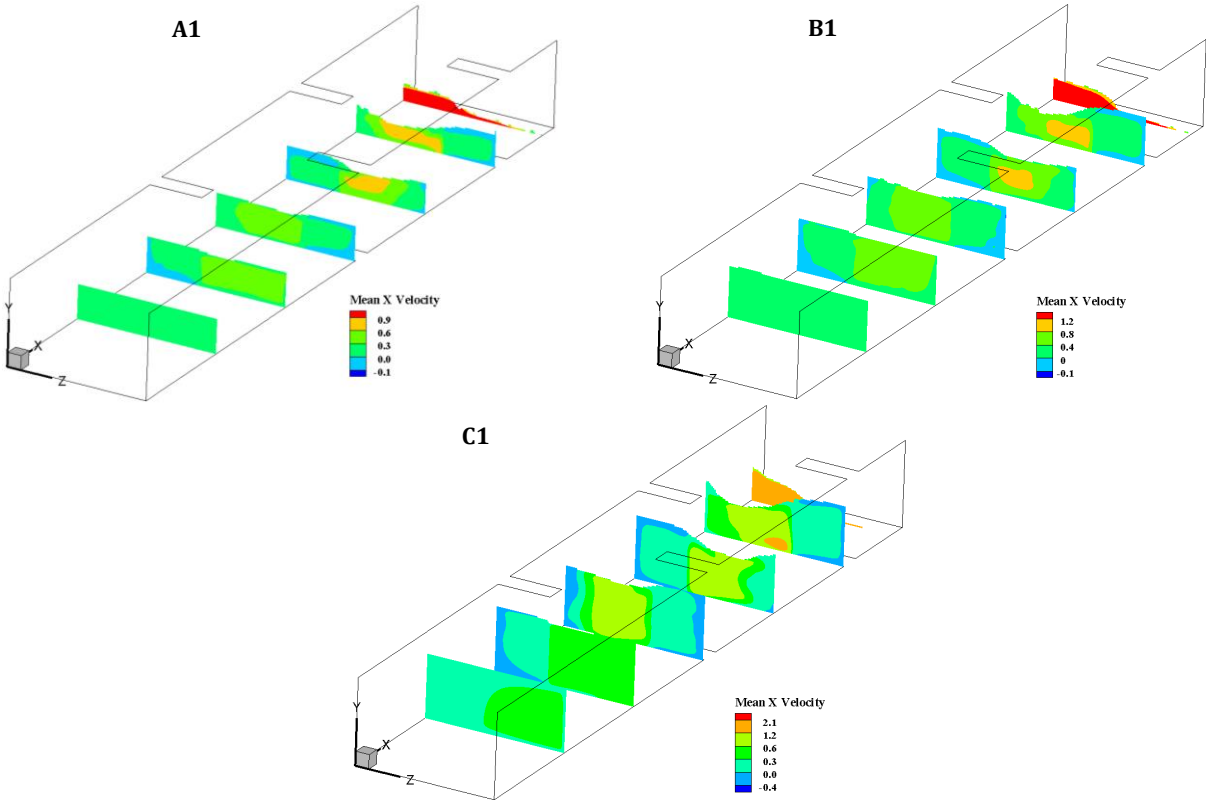
#### 4.2. Sayısal Hız Alanı (Numerical Velocity Field)

Farklı akım durumlarında x ekseninde boyuna farklı kesitlerde elde edilmiş ortalama bileşke hızların dağılımları Şekil 9'da verilmiştir. A1, B1 ve C1 akım durumunda,  $x=2,5\text{m}$  ve  $3\text{m}$  kesitlerinde kanal orta ekseninde oluşan hız değerlerinin sırasıyla  $1,2\text{ m/s}$ ,  $1,6\text{ m/s}$  ve  $1,7\text{ m/s}$  şeklinde olduğu görülmektedir. Kıyıların korunmasında aktif rol oynayan mahmuzların, akım kesit alanını daraltmasından kaynaklı olarak kanal orta ekseninde artan hızların olduğu bölgede, yatak malzemesinin korunması gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır. Hızı artan akımın, sürüklenme kuvvetinin artmasına paralel olarak yatak malzemesinde aşınma ve oyulma hızlanacaktır. Bunun yanında, aşınma ve oyulmanın aşırı büyümesi sonucunda menfezlerin statik dengesinde sorunlar yaşanabilecektir.

A1, B1 ve C1 akım durumlarında farklı kanal en kesitinde akım doğrultusundaki hız bileşenin dağılımı Şekil 10'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde, oluşan dağılımın Şekil 9'da verilen dağılıma benzer olduğu görülmektedir. Elde edilen grafiklerden akım debisinin artmasıyla birlikte x doğrultusundaki hız değeri artmaktadır. x doğrultusundaki hızın en büyük değerlerinin mahmuz etkisinden kurtulduğu kanal çıkış kesitinde elde edilmiştir. Mahmuzların ön ve arka yüzlerinde elde edilen hız profillerinden negatif hızların olduğu görülmekte ve bu negatif hızların olduğu bölge büyümektedir. Ayrıca, mahmuz yapısının hemen memba ve mansabında oluşan negatif hız değerlerinin ve kanal çıkış bölgesinde oluşan pozitif hız değerinin akımın debisinin artmasıyla arttığı belirlenmiştir. Kanal giriş bölgesinde ele alınan kesitte A1 ve B1 akım koşullarında akım alanının mahmuz yapısından etkilenmediği görülürken, akım debisinin diğer iki duruma göre arttığı C1 durumunda akım alanı üzerinde mahmuzların etkisinin bulunduğu görülmektedir.



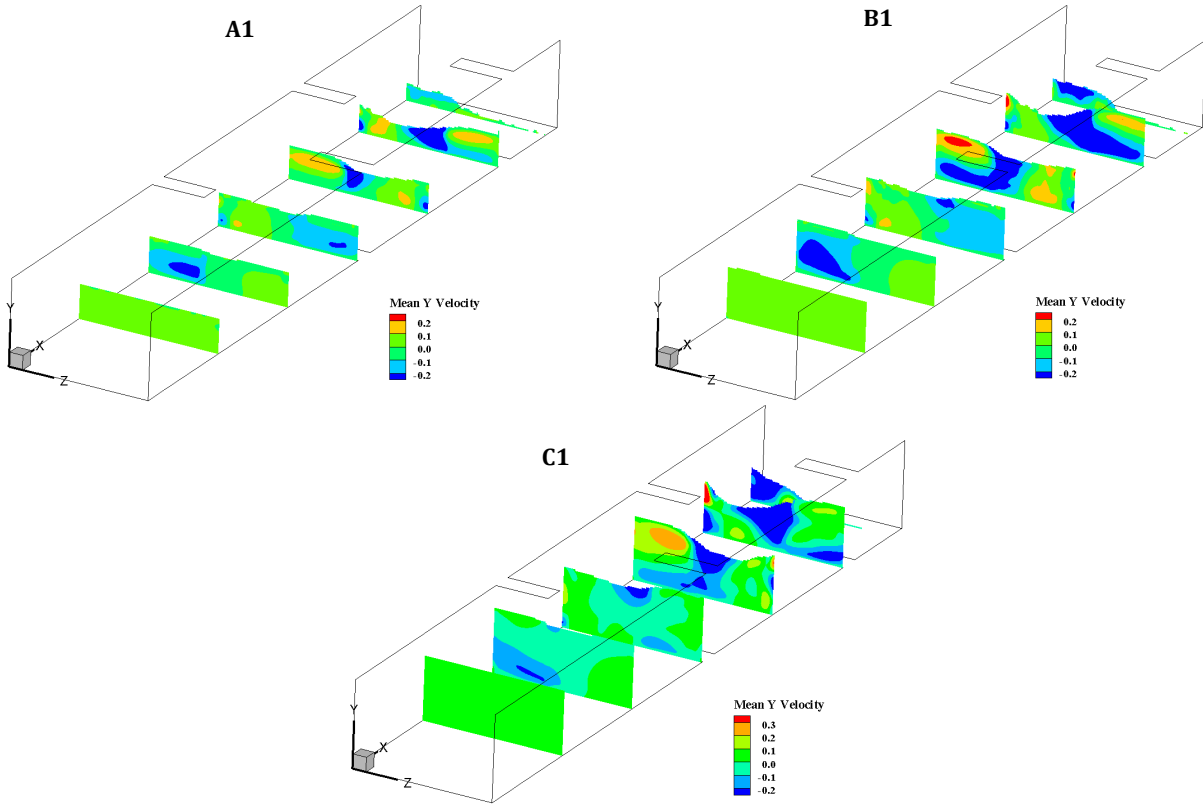
Şekil 9. Farklı akım durumlarında ortalama bileşke hız dağılımı (Mean velocity distribution in different flow conditions)



Şekil 10. Farklı akım durumlarında ortalama x yönlü hız bileşeni dağılımı (Mean x direction velocity distribution in different flow conditions)

Farklı akım durumlarında açık kanalın farklı kesitlerinde elde edilmiş y doğrultusundaki hız bileşenin ortalamasının dağılımı, Şekil 11’de görülmektedir. Verilen şekil incelendiğinde, mahmuzların membasındaki kesitlerde, mahmuzla etkileşimde olan bölgede y doğrultusundaki hız bileşeninin negatif yönlü olduğu görülürken, y doğrultusundaki hızın en büyük pozitif değerlerine mahmuz etkisinden dolayı daralan bölgede

hızlanan akımın bir sonraki mahmuza yöneldiği bölgelerde ulaştığı söylenebilir. Ayrıca, negatif en büyük değere ise her üç akım koşulunda x doğrultusundaki ortalama hız bileşeninin maksimum kanal orta ekseninde sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, debinin artmasına paralel olarak, y doğrultusundaki ortalama hız bileşeninin pozitif olduğu bölgenin arttığı ve değerinin de büyüdüğü belirlenmiştir.

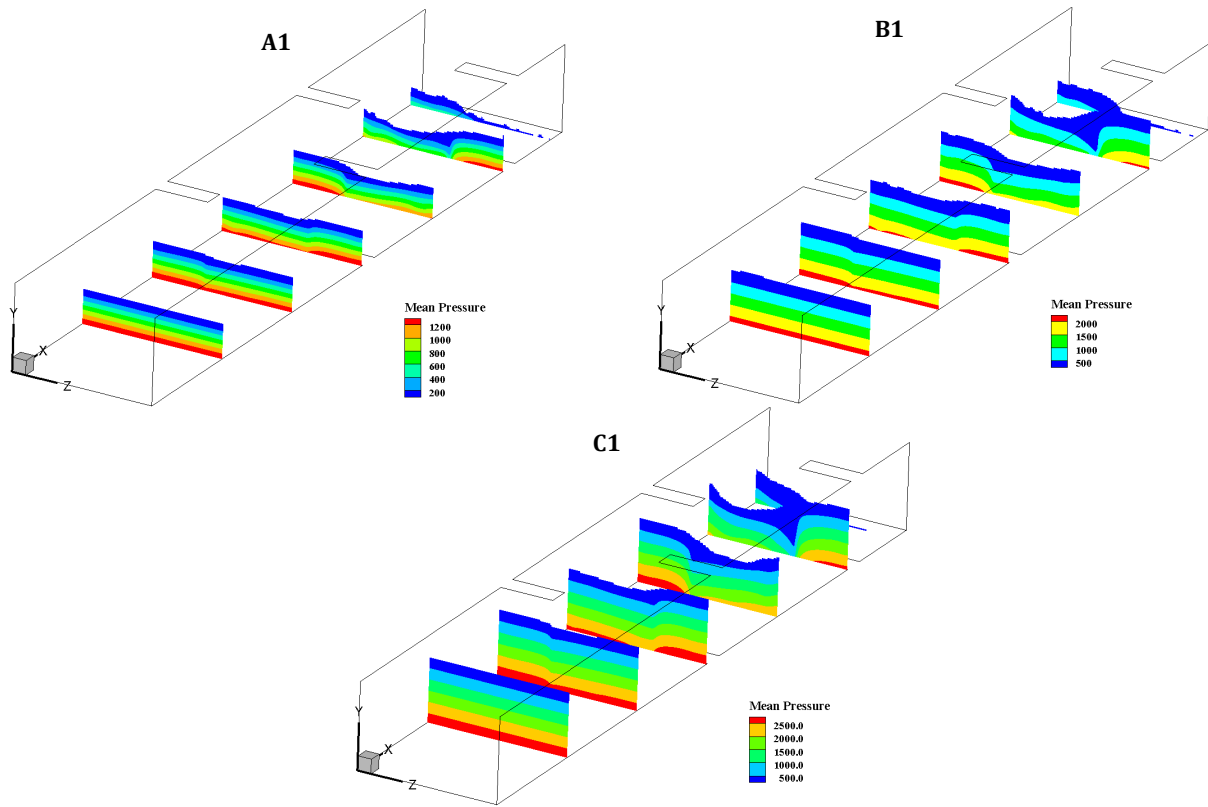


Şekil 11. Farklı akım durumlarda ortalama y yönlü hız bileşeni dağılımı (Mean y direction velocity distribution in different flow conditions)

#### 4.4. Basınç Dağılımı (Pressure Distribution)

Şekil 12'de, farklı akım durumları için sayısal model sonucunda elde edilmiş ortalama basınç dağılımları verilmiştir. Debinin artmasıyla birlikte su derinliğinin artmasından kaynaklı olarak elde edilen basınç değerleri artmıştır. Kanal giriş bölgesine yakın bölgede elde edilen basınç dağılımında, tüm akım durumlarında bu kesitte hidrostatik basınç dağılımının olduğu görülmektedir. Akımın mahmuzlarla etkileşime girmesiyle birlikte hız alanında meydana gelen değişimden kaynaklı olarak, derinlik boyunca elde edilen basınç dağılımları hidrodinamik basınç dağılımına dönüşmektedir. Ayrıca, hız alanında meydana gelen eğriselliğe bağlı olarak mahmuz yapısının uç kısımlarında basınç değerlerinde dikkat çekici düzeyde azalma meydana gelmektedir. Bu azalma miktarı, debinin artmasıyla birlikte daha da artmaktadır.





Şekil 12. Farklı akım durumlarında ortalama basınç dağılımı (Mean pressure distribution in different flow conditions)

## 5. Sonuçlar (Conclusions)

Mahmuzlar, akarsularda kıyının korunması, liman, balıkçı barınağı ve çekek yerlerinin giriş ve basen bölgelerinde sediment hareketinden kaynaklı sığlaşmayı önlemek adına inşa edilirler. Bu çalışmada, kıyı koruma yapısı olarak oldukça farklı alanda uygulaması olan şaşırtmalı mahmuzlarla etkileşimde bulunan açık kanal akımının üç boyutlu sayısal modellenmesi yapılmıştır. Sayısal modellemelerde sonlu hacimler yöntemine dayalı çözüm yapan ANSYS Fluent paket programı yardımıyla, akımı idare eden süreklilik ve momentum denklemleri, Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) ve Büyük Girdap Simülasyon (LES) modelinin bir arada kullanıldığı DES modeliyle çözülmüştür. Serbest su yüzünün belirlenmesinde ise akışkan hacimleri yönteminden yararlanılmıştır. Farklı akım durumunda, deneysel ve sayısal olarak elde edilen su yüzü profillerinin karşılaştırılmasından, DES modelinin çalışmaya konu şaşırtmalı mahmuzlarla etkileşim halinde bulunan açık kanal akımı problemlerinin sayısal modellemesinde oldukça başarılı olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında, debi değerinin artmasıyla deneysel ve sayısal su yüzü profilleri arasındaki uyumsuzluğun arttığı görülmüştür. Deneysel olarak elde edilmemiş akım hız alanı  $x$ ,  $y$  ve  $z$  eksenlerinde olmak üzere farklı kesitlerde elde edilmiş ve mahmuzların tasarımında etkin olan basınç dağılımları değerlendirilmiştir. Akım hız alanının incelenmesinden, şaşırtmalı mahmuzların kuvvetli akımın kıyı bölgesine ulaşmasına engel olduğu ve kıyı şeridinin mevcut yapısının korunmasının sağlandığı, akım alanının şaşırtmalı mahmuzlardan dolayı daraldığı bölgede büyük hızların oluştuğu, ayrıca mahmuzların ön ve arka bölgelerinde ayrılma bölgelerinin meydana geldiği görülmüştür. Basınç dağılımlarının incelenmesinden ise, debinin artmasıyla basınç değerlerinin arttığı ve mahmuzların ön yüzlerinde su derinliğinin artmasıyla bu bölgede en büyük basınç değerlerinin oluştuğu belirlenmiştir. Maddi olarak büyük yatırımlar gerektiren ve inşasından sonra değişikliğin oldukça masraflı olduğu bilinen mahmuzların tasarım aşamasında, ön tasarım ve farklı alternatiflerin denenmesi ve olası olumsuzlukların oluşumunun analizi ve önlenmesi konusunda sayısal modelleme yapılmasının büyük avantajlar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

## Kaynaklar (References)

- Akoz, M. S., Gumus, V., Kirkgoz, M. S., 2014. Numerical Simulation of Flow over a Semicylinder Weir. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 140(6), 04014016.
- Akoz, M. S., Kirkgoz, M. S., Oner, A. A., 2009. Experimental and numerical modeling of a sluice gate flow. Journal of Hydraulic

- Research, 47(2), 167-176.
- Aköz, M. S., Öner, A. A., Kırkgöz, M. S., 2007. Tabana yakın bir silindir etrafındaki akımın farklı türbülans modelleri ile sayısal modellenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(2), 107-117.
- Aköz, M. S., Soydan, N. G., Şimşek, O., 2016. Kritik Üstü Açık Kanal Akımının Detached Eddy Ve Large Eddy Simülasyon İle Sayısal Modellenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 4(4), 213-224.
- ANSYS, 2012. FLUENT Theory Guide. USA: ANSYS Inc.
- Aydin, M. C., 2012. CFD Simulation of Free-Surface Flow over Triangular Labyrinth Side Weir. Advances in Engineering Software, 45(1), 159-166.
- Badiei, P., Kamphuis, J. W., and Hamilton, D. G., 1995. Physical experiments on the effects of groins on shore morphology. In Coastal Engineering, 1782-1796.
- Barceló, F. R., 2014. Effect of porosity on hydrodynamic performance of Porous Bonded Revetments–numerical modelling and application for shore protection at Valencia, Spain. Master Thesis, 123 sayfa.
- Gu, Z., Ikeda, S., 2009. Experimental study of open channel flow with groins. In Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering, Berlin, Heidelberg, 1951-1956.
- Gümüş, V., Şimşek, O., Soydan, N. G., Aköz, M. S., Kırkgöz, M. S., 2018. Akışkan Hacimleri Yöntemiyle Yapılan Sayısal Modellemelerde Yan Duvar Etkisinin İncelenmesi. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 3(3), 15-21.
- Hanson, H., Kraus, N. C., 1990. Shoreline response to a single transmissive detached breakwater. In Coastal Engineering, 2034-2046.
- Hirt, C. W., Nichols, B. D., 1981. Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries. Journal of Computational Physics, 39(1), 201-225.
- İlkenntapar, M., Öner, A., 2017. Geniş Başlıklı Savak Etrafındaki Akımın İncelenmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6 (2), 615-626.
- Jesudhas, V., Roussinova, V., Balachandar, R., Barron, R., 2017. Submerged hydraulic jump study using DES. Journal of Hydraulic Engineering, 143(3), 04016091.
- Jesudhas, V., Balachandar, R., Bolisetti, T., 2020. Numerical study of a symmetric submerged spatial hydraulic jump. Journal of Hydraulic Research, 58(2), 335-349.
- Kırkgöz, M. S., Aköz, M. S., Öner, A. A., 2008. Experimental and Theoretical Analyses of Two-Dimensional Flows Upstream of Broad-Crested Weirs. Canadian Journal of Civil Engineering, 35(9), 975-986.
- Kırkgöz, M. S., Aköz, M. S., Öner, A. A., 2009. Numerical Modeling of Flow over a Chute Spillway. Journal of Hydraulic Research, 47(6), 790-797.
- Muslu, Y., 2001. Numerical Analysis for Lateral Weir Flow. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 127(4), 246-253.
- Öner, A. A., 2009. Düzenli akıntı durumunda tabana oturan ve yarı gömülü eliptik bir silindir etrafındaki akımın sayısal incelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(4), 575-582.
- Özölçer, İ.H., 1998. Kıyı Korumasında Mahmuzların Etkilerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özölçer, İ.H., Kömürçü, M.İ., Birben, A.R., Yüksek, Ö. ve Karasu, S., 2006. Effects of T-Shape Groin Parameters on Beach Accretion. Ocean Engineering, 33, 382-403.
- Rogallo, R. S., ve Moin, P., 1984. Numerical simulation of turbulent flows. Annual review of fluid mechanics, 16(1), 99-137.
- Safie, O., Tominaga, A., 2020. Flow control by pile-group groynes used for riverbank instability management. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 511(1), 012002. IOP Publishing.
- Şimşek, O., 2020a. Farklı Akım Koşullarına Sahip Açık Kanal Akımının Sayısal Modellemesi. Türk Doğa ve Fen Dergisi, 9(1), 91-100.
- Şimşek, O., 2020b. Üstten Akışlı Kapak Akımının Sayısal Modellemesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 808-819.
- Şimşek, O., Aköz, M. S., Soydan, N. G., 2016. Numerical Validation of Open Channel Flow over a Curvilinear Broad-Crested Weir. Progress in Computational Fluid Dynamics, an International Journal, 16(6), 364-378.
- Soydan Oksal, N. G., Aköz, M. S., Şimşek, O., 2020. Numerical Modelling of Trapezoidal Weir Flow with RANS, LES and DES Models. Sadhana, 45(1), 91.
- Soydan, N. G., Aköz, M. S., Şimşek, O., Gümüş, V., 2012. Trapez Kesitli Geniş Başlıklı Savak Akımının k-e Tabanlı Türbülans Modelleri ile Sayısal Modellenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27(2), 47-58.
- Soydan, N. G., Şimşek, O., Aköz, M. S., 2017. Prediction and Validation of Turbulent Flow around a Cylindrical Weir. European Water, 57, 85-92.
- Süme, V., 2014. Grain size and beach formation characteristic at the t-head groins system at Kıyıcık, Turkey (Eastern Black Sea). Journal of Civil and Environmental Engineering, 4 (4), 1-5.
- Süme, V., Yüksek, Ö., 2018. Investigation of shoaling of coastal fishery structures in the Eastern Black Sea coasts. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33(3), 843-852.
- Süme, V., Yüksek, T., Kaya, A. 2019. Trabzon ve Rize kıyılarındaki T-mahmuzların plaj olarak kullanılabilirliği üzerine alan çalışması. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(4), 610-619.
- Yılmaz, B., 2003. Development and Validation of Two-Dimensional Depth-Averaged Free Surface Flow Solver, 101 sayfa, Middle East Technical University, Ankara.



## KALÇA PROTEZİ TASARIMININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ

Fatih KAYA<sup>1\*</sup>, Gülhan İNCE<sup>2</sup>, Mehmet AVCAR<sup>3</sup>, Lokman YÜNLÜ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Malzeme Teknolojileri Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

<sup>3</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

<sup>4</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

### Anahtar Kelimeler

*Biyomedikal Mühendisliği,  
Sonlu Elemanlar Yöntemi,  
Kalça Protezi Tasarımı,  
Statik Analiz.*

### Öz

Total kalça protezi tasarımında protez performansı ve kullanım ömrünün artırılmasına yönelik çalışmalar gelişen cerrahi yöntemlerin yanı sıra malzeme ve üretim teknolojileriyle beraber son yıllarda oldukça hız kazanmıştır. Değişen ve gelişen biyomedikal teknolojisine her geçen gün ayak uydurabilen pratik yapısal ve mekanik çözümler günümüz mühendislik biliminin temel sorunlarından biri haline gelmiştir. Bu nedenle bilim insanlarının ilgi odağı, farklı malzemelerden yapılmış yapısal ve mekanik bileşenlerin farklı davranışlarına ilişkin analitik, sayısal ve deneysel çalışmalar olmuştur. Sonlu elemanlar yöntemi yeni protez tasarımlarının dayanım performansları hakkında prototip üretimi ve fiziksel testler yapılmaksızın gerçeğe oldukça yakın önemli bilgiler sağlamaktadır. Sunulan çalışmada kalça protezlerinde yaygın olarak kullanılan Ti-6Al-4V malzemesi kullanılarak ASTM F2996-20 kalça protezi sapı modeli üzerinde sonlu elemanlar yöntemi ile statik analiz yapılarak protezin performansı incelenmiştir. Ayrıca ağ tipi ve eleman boyutunun gerilme ve birim şekil değiştirmeler üzerindeki etkileri nümerik olarak ANSYS 19 paket programı kullanılarak ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlardan, eleman boyutunun 1mm'den küçük olmasının gerilme ve birim şekil değiştirmeler üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı fakat işlem süresini oldukça artırarak çözümü ekonomiklikten uzaklaştırdığı görülmüştür.

## STATIC ANALYSIS OF HIP PROSTHESIS DESIGN USING FINITE ELEMENT METHOD

### Keywords

*Biomedical Engineering,  
Finite Element Method,  
Hip Prosthesis Design,  
Static Analysis.*

### Abstract

Studies to increase prosthesis performance and service life in total hip prosthesis design have gained speed in recent years with the development of surgical methods, materials and production technologies. Practical structural and mechanical solutions that adapt to changing and evolving biomedical technology have become one of the main problems in engineering science today. For this reason, the scientists have been focused on analytical, numerical and experimental studies on the different behaviors of structural and mechanical components made of biomedical materials. The finite element method provides important information about the strength performance of new prosthesis designs without prototype production and physical tests. In this study, the static performance of the prosthesis is investigated by using the finite element method on the ASTM F2996-20 hip prosthesis stem model using Ti-6Al-4V material, which is widely used in hip prostheses. In addition, the effects of mesh type and element size on stress and strain were analyzed numerically by using ANSYS 19 package software. The results show that if the element size is smaller than 1mm, it has no significant effect on the stress and strain, but the solution is not economical by increasing the processing time considerably.

### Alıntı / Cite

Kaya, F., İnce, G., Avcar, M., Yünlü, L., (2021). Kalça Protezi Tasarımının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Statik Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 199-208.

\* İlgili yazar / Corresponding author: fatihkaya\_16@hotmail.com

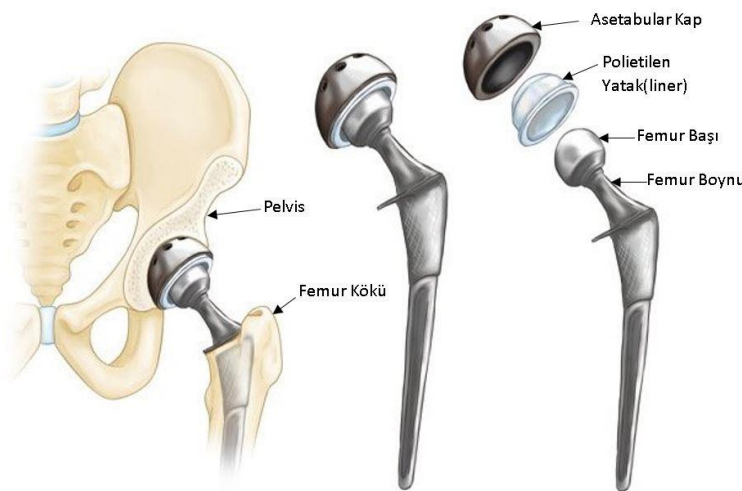
Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
F. Kaya, 0000-0003-0161-1658	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	15.12.2020
G. İnce, 0000-0003-4887-2900	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	19.02.2021
M. Avcar, 0000-0002-0689-0601	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	24.02.2021
L. Yünlü, 0000-0003-1625-995X	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

## 1. Giriş (Introduction)

Femur kemiği insan vücudunda bulunan en büyük ve en güçlü kemiktir. Boyutları kişiden kişiye değişmekle birlikte vücut uzunluğunun yaklaşık olarak %25'ini femur kemiği oluşturur. Femur doğrultusu ayakta durmakta olan bir insanda yukarıdan aşağıya doğrudur. Femur kemiğinin kendine has bir şekli ve geometrik yapısı olmakla birlikte öne doğru hafif bir eğriliğe sahip olup femur alt ucu üst ucuna göre daha arkadadır (Atik vd.,2012). Kalça eklemi geniş eklem yüzeyi ve uyumlu eklem bileşenleri olduğundan, stabil ve geniş eklem hareket açıklığına sahiptir. Ayakta durma, yük taşıma ve yürüme fonksiyonları için mükemmel bir yapıya sahiptir. Kalça eklemindeki stabilite; eklem, kemik, bağ ve kas yapılarının ortak birlikteliği sayesinde oluşur. Aynı zamanda kalça eklemi insan vücudunda en fazla yük taşıyan eklemdir. Bu nedenle, dejeneratif artrit yönünden yüksek potansiyel risk taşımaktadır. Kalça osteoartriti günümüzde çok sık görülen, yaşam kalitesini etkileyen önemli bir sağlık sorunudur.

Total kalça protezi ameliyatı (TKA) da ileri derecedeki osteoartritin cerrahi tedavisinde günümüzde altın standart olarak kabul edilmektedir (İnce, 2018). Kalça protezi hatalarından tamamen kaçınmak mümkün olmasa da son çalışmalar olumsuz durumları daha doğru bir şekilde tahmin etmek için tasarım araçlarına odaklanmıştır. Bir implant kırılmasının yıkıcı sonuçlarından kaçınmak ve önceden tahmin edebilmek için nümerik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen birçok araştırmanın amacı ortopedik implantların genel güvenilirliğini arttırmak olmuştur (Colic vd.,2016). Türkiye'de her yıl yaklaşık 3000 adet TKA ameliyatı yapıldığı ve bu sürecin yıllık maliyetinin yaklaşık 15 milyon TL olduğu bilinmektedir. Bu rakamlar gelecekte daha genç ve beklentisi daha yüksek bir hasta grubuyla karşılaşılacağını ve uzun ömürlü implant üretimi için protez tasarımına ve implant özelliklerine her zamankinden daha fazla önem verilmesi gerektiğini göstermektedir (Bilgen vd., 2011).

Artroplastinin gelişim süreci içerisinde, kemik arasına bir araya getirici malzeme sokulması fikri 1880'lerin sonlarında başlamış ve 20. yüzyılın ilk yıllarında eklem yüzey yenileme, kas dahil yumuşak dokular kullanılarak yapılmıştır (Abdullah, 1997). 1960'larda kalça artroplastisinde devrim niteliğinde bir gelişme yaşanmış, Charnley(1964) öncü çalışması ile düşük sürtünme artroplastisi kavramını ilk kez ortaya çıkararak, femur sapı ve asetabular kabı akrilik kemik çimentosu polimetilmetakrilat(PMMA) ile sabitlemiştir. Çimentosuz femur sapı ile çimentolu ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) kabın birlikte kullanılması total kalça artroplastisi pratiğini değiştirmiş ve kalça protezi ameliyatı başarı oranını benzeri görülmemiş bir seviyeye çıkarmıştır. Yapılan başarılı operasyonların sayısının artmasına ve uygulanan tekniklerin standart hale gelmesine karşın, kalça replasmanı uygulanan hastaların yaş ortalaması giderek azalmaktadır. Bu nedenle, en az komplikasyon ve en uzun servis ömrü sağlayan kombinasyonu bulmak için halihazırda kullanılan çeşitli malzeme ve teknikler geliştirilmeye çalışılmaktadır (Knight vd.,2011). Bir kalça protezinin genel yapısı, bileşenleri ve geometrik özellikleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Total kalça protezinin yapısı ve bileşenleri (Structure and components of total hip prosthesis) (Altinel,2021)

Sonlu elemanlar metodu, ortopedik protezlerin tasarımında kullanılan en gelişmiş simülasyon tekniği yöntemidir. Biyomedikal alanında canlılar üzerinde yapılan deneyler veya laboratuvar deneyleri yerine gerçeğe yakın tahminler oluşturabilen ANSYS analizleri tercih sebebi olmaktadır. Protez tasarım süreci, mühendis ve cerrahlar arasında disiplinler arası iş birliği gerektiren karmaşık bir süreçtir (Kayabaşı, 2011). Chethan vd. (2019) yapmış olduklarında nümerik çalışmalarında 12 farklı kalça protezi sapı tasarımı üzerinde ANSYS sonlu elemanlar yazılımı ile statik analizler gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak inceledikleri protez tasarımları ile ilgili elde edilen gerilme ve deformasyonları tespit ederek içlerinden en uygun malzeme ve geometrik tasarımı tespit etmişlerdir.

Yaylacı (2016) dikey çatlak içeren katmanlı bir kompozit bileşeni 2 boyutlu düzlem problemi olarak sonlu elemanlar yöntemi ve analitik yöntem ile inceleyerek sonuçları literatürdeki diğer çözümler ile karşılaştırmıştır. Terzi vd. (2020) nümerik çalışmalarında protez tasarımı, malzeme seçimi, implantın yerleştirildiği kemiğin yapısı ve mekanik özelliklerinin gerilme dağılımını etkilediğini, gerilme dağılımının ise implant başarısını belirleyen başlıca faktörlerden birisi olduğunu belirterek malzeme seçimi ve protez tasarımının önemini ortaya koymuşlardır. Yapılan literatür incelemelerinde farklı özelliklerdeki malzemeler arasındaki temas problemleri sonlu elemanlar yöntemi ile birçok kez başarılı bir şekilde modellenerek sonuçları doğrulanmıştır (Yaylacı ve Terzi,2018; Yaylacı ve Avcı,2020; Yaylacı vd., 2019a; Yaylacı vd.,2019b)

Bu çalışmanın amacı ASTM F2996-20 temel alınarak sonlu eleman modeli oluşturulan kalça protezi sapı üzerinde ANSYS sonlu elemanlar yazılımı yardımıyla farklı eleman tipi ve düğüm noktalarına sahip ağ yapıları oluşturularak analiz edilen modeller ile eleman tipi, eleman boyutu ve düğüm noktası sayısının asal gerilmeler ve birim şekil değiştirmeler üzerindeki etkilerini incelemektir.

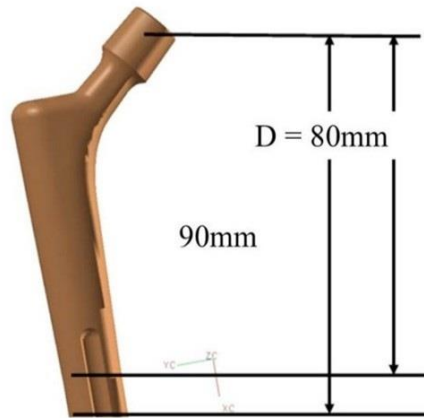
## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Analizlerde kullanılan total kalça protez sapı malzemesi olarak Ti-6Al-4V alaşımı kullanılmış, üç boyutlu protez CAD modeli ASTM F2996-20 standardından alınmıştır. Bu model, oluşan maksimum asal gerilmeler ve toplam deformasyonu değerlendirmek için ANSYS 19 paket programı yardımı ile farklı ağ tiplerinde modeller oluşturularak yapısal statik analize tabi tutulmuştur.

### 2.1. Ağ Yapısı ve Sınır Koşulları (Mesh Structure and Boundary Conditions)

ASTM F2996-20 kalça sapı modeli üzerinde ANSYS Workbench 19 programı ile yine ASTM F2996-20'de belirtilen sınır şartlarına ve ISO 7206-4'te belirtilen yükleme koşullarına uygun olarak statik analiz yapılmıştır. Sınır şartları ve yükleme düzeneği Şekil 2'de gösterilmiştir.

Yük= 2300N

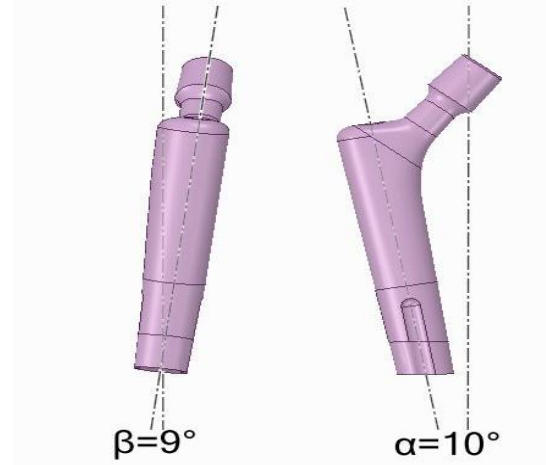


Şekil 2. Yükleme düzeneği ve sınır şartları (Loading and boundary conditions) (ASTM F2996-20)

Ayrıca ISO 7206-4 (2010)'da tanımlanan proksimal ve lateral düzlemdeki açsal konumlandırmalar ile yükleme koşulları aşağıdaki gibidir.

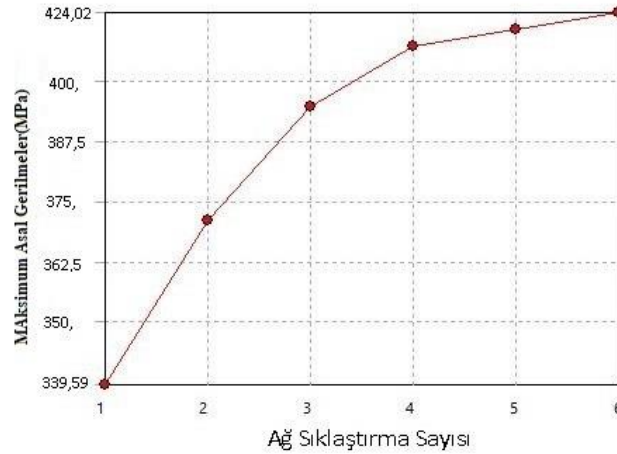
- $D = 80\text{mm}$
- $F_D = 2300\text{ N}$
- $\alpha = 10^\circ \pm 1^\circ$
- $\beta = 9^\circ \pm 1^\circ$

ASTM F2996-20 kalça sapı modeline ait proximal düzlemdeki  $\beta$  ve lateral düzlemdeki  $\alpha$  konumlandırmaları Şekil 3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Femoral kalça sapının  $\beta$  ve  $\alpha$  açılarında döndürülerek konumlandırılması.  
(Rotating and positioning of the femoral hip stem according to  $\beta$  and  $\alpha$  angles)

Yapılan ağ optimizasyonu çalışması sonucunda analiz için optimum ağ eleman boyutu seçilmiştir. Ağ eleman boyutu 5mm'den 1'ye kadar değiştirilerek birkaç eleman boyutu geliştirilmiştir. Ağ sıklaştırma iterasyon sayıları sonucunda elde edilen gerilme artış grafiği Şekil 4'te verilmiştir.



**Şekil 4.** Ağ sıklaştırmasına bağlı gerilme artışı (Stress increase due to mesh densification)

Ağ eleman boyutu 5 mm'lik ilk boyuttan 1 mm'ye indikçe gerilmelerin önemli ölçüde arttığı görülebilir. Ağ boyutunun 1mm'den daha küçük olması, gerilmelerde büyük bir değişiklik oluşturmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmadaki tüm modellerin analizi için 1mm ağ boyutu uygulanmıştır. Ayrıca tüm analizlerde ASTM F2996-20 standardında verilen %5 yakınsama sınırının aşılmadığı kontrol edilmiştir. 4 düğüm noktalı tetragonal (dört yüzlü) elemana ait sonlu elemanlar analizlerinde elde edilen eleman ve düğüm noktalarının sayısı ile yakınsama sonucu elde edilen maksimum asal gerilmeler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Ağ yoğunluğu ile asal gerilmelerin değişimi (Variation of principal stresses due to mesh density)

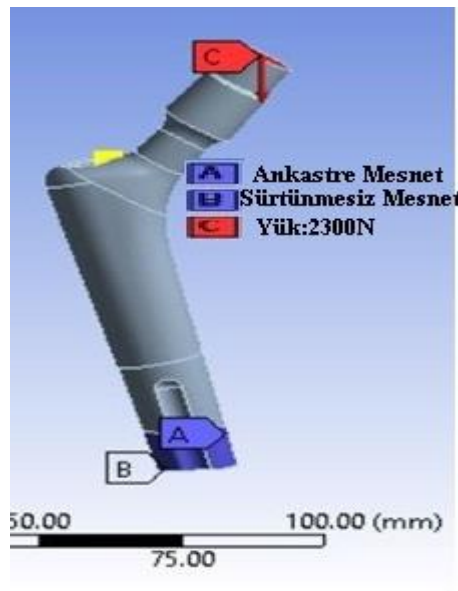
Ağ Sıklaştırma Sayısı	Maximum Asal Gerilme (MPa)	Rölatif Değişim (%)	Düğüm noktası	Eleman Sayısı
1	339.59		23376	122019
2	387	13.04	25968	136160
3	408.81	5.47	34829	184637
4	419.45	2.56	63375	341258
5	422.71	0.77	126398	689134
6	424.02	0.30	289155	1590024

Sonlu elemanlar analizi için malzeme olarak doğrusal elastik izotropik malzeme tanımlaması yapılmıştır. Femur sapı için kullanılan malzeme özellikleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Femur sapı için tanımlanan malzeme özellikleri (Defined material properties for the femoral stem)

Malzeme	Young Modülü (GPa)	Poisson Oranı
Ti-6Al-4V	113.7	0.3

Sınır şartları ASTM F2996-20'ye göre uygulanmış ve yükleme düzeninde ISO 7206-4:2010'da belirtilen yük değerleri kullanılmıştır. Kalça protez sapı, en kötü durum senaryosuna göre baş/boyun offset bölgesinde ISO 7206-4:2010'a göre kesilmiştir. Başın merkezinden gelen bu kısım, implant üzerindeki gerilme dağılımını temsil etmektedir. İlk kesitin 10 mm altında ikinci bir kesit alınmıştır. Kalça sapı, distal kısmın tüm yüzeylerinde ikinci kesime kadar her yönde dönme ve ötelenmelere karşı sınırlandırılmıştır. Sapın bu şekilde sınırlandırılması, rijit sabitlemenin etkisi nedeniyle ilgili bölgede gerilme yığılmalarından kaynaklanan aşırı hatalı gerilmelerin meydana gelmesini engeller. ASTM F2996-20'de belirtilen "worst-case" (en kötü durum) senaryosuna göre femur başı +8mm uzatılarak en yüksek gerilme durumlarının oluşması sağlanmıştır. Oluşturulan sonlu elemanlar modellerine ait yükleme düzeni ve sınır şartları Şekil 5'te gösterilmiştir.



**Şekil 5.** ASTM F2996-20'e göre yükleme ve sınır şartları  
(Loading and boundary conditions according to ASTM F2996-20)

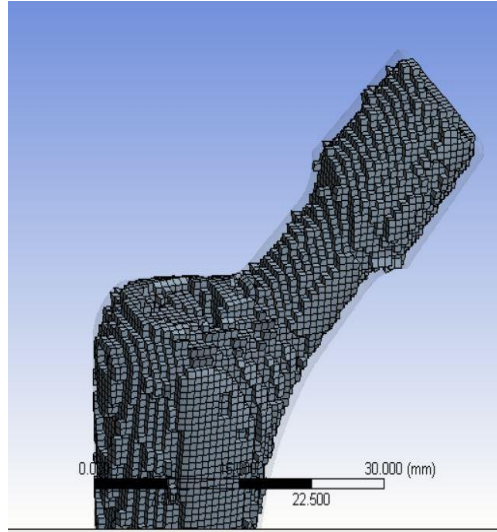
Ağ yapısının oluşturulması sonlu elemanlar metodunda ciddi bir öneme sahiptir. Bu nedenle sonlu elemanlar ağ yapısının hazırlanması büyük öneme sahiptir. Mühendislik problemlerinin doğru ve hassas bir şekilde çözülebilmesi için birkaç farklı sonlu eleman ağ yapısı oluşturularak sonuçların doğrulanmasına ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu çalışmada ASTM F2996-20 modeli farklı eleman tipi ve farklı düğüm noktalarına sahip toplamda 4 farklı ağ tipi ile analiz edilerek ağ tipi ve düğüm noktası sayısının asal gerilmeler ve birim şekil değiştirmeler üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Oluşturulan modellere ait eleman tipleri ve bu elemanlara ait düğüm noktaları tablo 3'te gösterilmiştir.

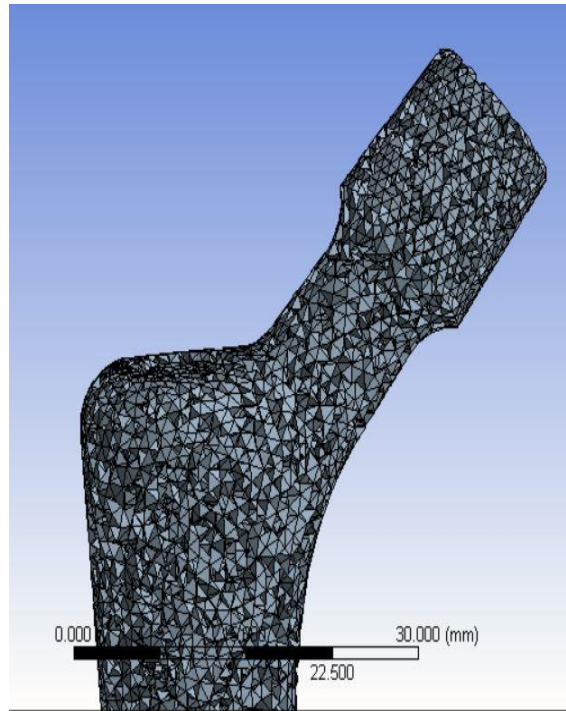
**Tablo 3.** Oluşturulan Sonlu elemanlar modelleri (Created finite element models)

Model No	Eleman tipi	Düğüm noktası
1	Tetragonal	4
2	Tetragonal	10
3	Hexagonal	8
4	Hexagonal	20

Hexagonal(altı yüzlü) ve tetragonal elemanlar kullanılarak oluşturulan modeller üzerindeki elemanlar Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



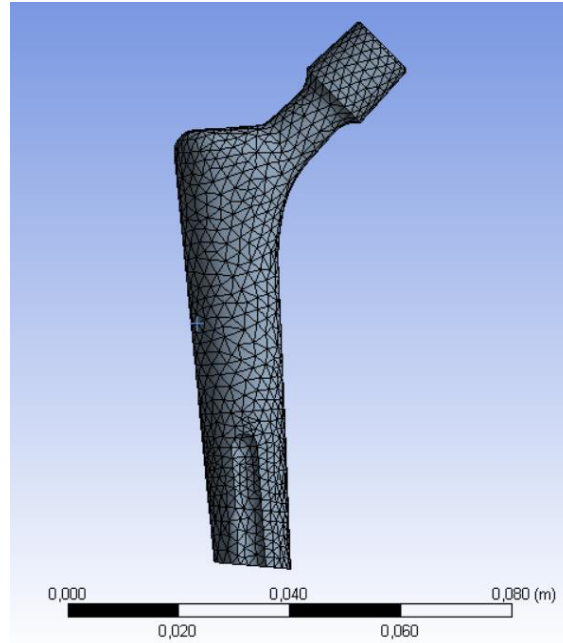
Şekil 6. Hexagonal ağ eleman tipi (Hexahedral mesh element type)



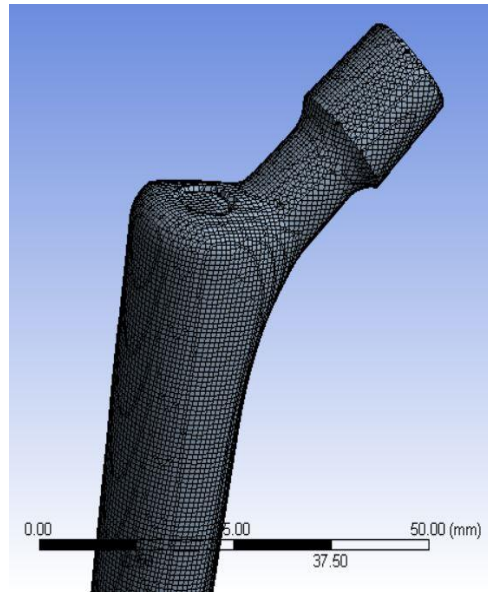
Şekil 7. Tetragonal ağ eleman tipi (Tetrahedral mesh element type)

Oluşturulan sonlu elemanlar modellerinin tamamı için aynı yükleme ve sınır koşullarının uygulanması suretiyle statik yapısal analizler tamamlanmıştır. ASTM F2996-20 modeli üzerinde oluşturulan tetragonal ve hexagonal ağ yapıları Şekil 8 ve Şekil 9 'da gösterilmiştir.





Şekil 8. ASTM F2996-20 Modeli üzerinde oluşturulan tetragonal ağ yapısı  
(Tetrahedral mesh structure created on ASTM F2996-20 Model)



Şekil 9. ASTM F2996-20 Modeli üzerinde oluşturulan hexagonal ağ yapısı  
(Hexahedral mesh structure created on ASTM F2996-20 Model)

#### 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

Yapılan statik analizler sonucunda boyun bölgesi, sökme/takma deliği ve sabitleme bölgelerindeki gerilme ve birim şekil değiştirmeler incelenmiştir. Analizler sonucu, kullanılan farklı eleman tiplerinin ağ optimizasyonu yapıldığı takdirde maksimum asal gerilmeler ve maksimum birim şekil değiştirme değerlerinde önemli bir değişim olmadığı görülmüştür. Oluşturulan sonlu elemanlar modellerine ait maksimum asal gerilmeler ve birim şekil değiştirmeler sırasıyla Tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Eleman tipi ve düğüm noktası sayısına bağlı maksimum asal gerilmeler ve birim şekil değiştirmeler (Maximum principal stresses and strains depending on element type and number of nodes)

Model No	Eleman tipi	Maksimum Asal gerilmeler (MPa)	Maksimum birim şekil değiştirmeler
1	4 Nodlu Tetragonal	424.04	0.0911
2	10 Nodlu Tetragonal	426.04	0.0927
3	8 Nodlu Hexagonal	418.48	0.0964
4	20 Nodlu Hexagonal	430.28	0.0971

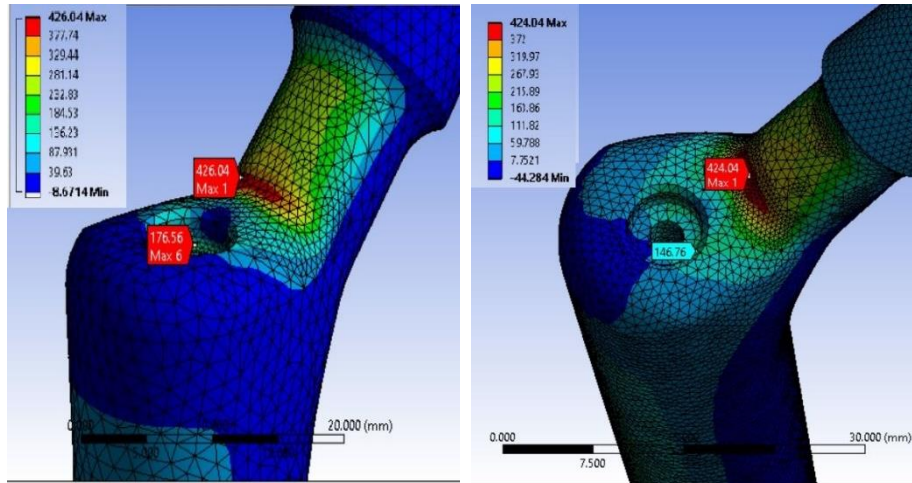
Genel olarak tetragonal elemanlar daha karmaşık ve kompleks geometrilere kolaylıkla uyum sağlayabilmektedir. Ayrıca altı yüzlü hexagonal elemanlarla karşılaştırıldığında, tetragonal eleman modeli aynı eleman kenarı uzunluğu için daha az sayıda düğüm kullanmaktadır. Çözüm süresi ve çözüm sonrası işlem süreleri her iki tip eleman (tetragonal ve hexagonal) için de hemen hemen aynı olup, toplam analiz süresi yüksek dereceli kuadratik tetragonal elemanlarda hexagonal elemanlardan (hem düşük dereceli lineer hexagonal hem de yüksek dereceli kuadratik hexagonal elemanlar) çok daha düşüktür. Bu nedenle ASTM F2996-20 standardı, kalça protezi sonlu elemanlar analizleri için kuadratik tetragonal eleman kullanılmasını önermektedir.

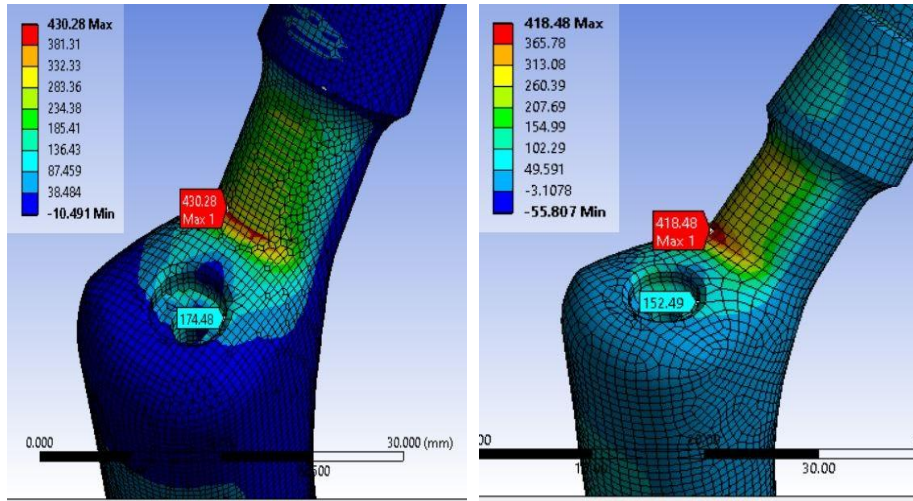
Tamamı 10 düğüm noktalı tetragonal eleman kullanılarak oluşturulan ASTM Çok katılımcılı çalışma ile ANSYS asal gerilme sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 5'te gösterilmiştir.

**Tablo 5.** ASTM F2996-20 çok katılımcılı FEA model sonuçları ile ANSYS maksimum aksel gerilme değerleri (MPa) (ANSYS maximum axial stress values with ASTM F2996-20 multi-participant FEA results) (MPa)

Katılımcılar	Boyun Bölgesi	Sökme/takma deliği	Sabitlenme Bölgesi
1 No'lu Şirket	413	183	174
2 No'lu Şirket	425	188	168
3 No'lu Şirket	432	194	169
4 No'lu Şirket	395	176	168
5 No'lu Şirket	409	168	158
Üniversite 1	403	165	169
Üniversite2	404	167	160
<b>ANSYS Analizi</b>	<b>426</b>	<b>185</b>	<b>167</b>
Ortalama	413	178	166
Standart Sapma	13	10	5

Farklı eleman tiplerine ait maksimum gerilme ve birim şekil değiştirmelerin meydana geldiği bölgeler Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir.

**Şekil 10.** 10 düğüm noktalı (solda) ve 4 düğüm noktalı (sağda) tetragonal modellere ait maksimum aksel gerilmeler ve maksimum gerilme bölgeleri (Maximum axial stresses and maximum stress regions for 10-noded (left) and 4-noded (right) tetrahedral models.)



**Şekil 11.** 20 düğüm noktalı (solda) ve 8 düğüm noktalı (sağda) hexagonal modellere ait aksenal gerilme durumları ve maksimum gerilme bölgeleri (Axial stress states and maximum stress regions of hexahedral models with 20 noded (left) and 8 noded (right)).

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Total kalça protezi tasarımında protez performansı ve kullanım ömrünün artırılmasına yönelik çalışmalar gelişen cerrahi yöntemlerin yanı sıra malzeme ve üretim teknolojileriyle beraber son yıllarda oldukça hız kazanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi yeni protez tasarımlarının dayanım performansları hakkında prototip üretimi ve fiziksel testler yapılmaksızın gerçeğe oldukça yakın önemli bilgiler sağlamaktadır. Ağ optimizasyonu simülasyon sonuçlarının hassas ve güvenilir olmasını sağlayan önemli bir doğrulama aracıdır. Göz önünde bulundurulması gereken diğer bir konu da eleman ve düğüm noktası sayısıdır. Uygun eleman tipi ve eleman boyutu seçimi sayesinde yakınsama hatalarından kaçınarak en kısa çözüm süresinde istenilen sonuçları elde etmek özellikle büyük ve kompleks modeller söz konusu olduğunda bir zorunluluk haline gelebilmektedir. Keskin köşeli ve sivri uçlara sahip geometrik özellikteki modellerde oluşabilecek gerilme yığılmaları ve bu bölgelerdeki birim şekil değiştirmelerin dikkatle incelenmesi önemlidir.

Bu çalışmada ASTM F2996-20 kalça protez modeli ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak ASTM F2996-20 ve ISO 7206-4(2010) da belirtilen konumlandırma, sınır şartları ve yükleme koşulları uygulanarak statik gerilme ve deformasyon analizleri yapılmıştır. Protez malzemesi olarak günümüzde üstün mekanik özellikleri ve yüksek biyouyumluluğu sayesinde cerrahi protez malzemesi olarak kullanılan Ti-6Al-4V kullanılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- ANSYS 19 paket programında oluşturulan ağ eleman boyutunun 1mm'den küçük olması durumunda gerilme ve birim şekil değiştirmeler üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı fakat işlem süresini oldukça arttırarak çözümü ekonomiklikten uzaklaştırdığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle sonlu elemanlar analizlerinde ağ optimizasyonu ve eleman boyutu seçimi hem analiz sonuçlarının hassasiyeti hem de yüksek çözüm sürelerinden kaçınarak zaman açısından ekonomik analizlerin yapılması için oldukça önemlidir.
- Ağ yapısı oluşturulurken 4 düğüm noktalı ve 10 düğüm noktalı olmak üzere 2 farklı tip tetragonal eleman, 8 düğüm noktalı ve 20 düğüm noktalı olmak üzere 2 farklı tip hexagonal eleman kullanılarak toplamda 4 farklı eleman tipine sahip sonlu eleman ağ yapıları oluşturulmuştur. Kullanılan farklı eleman tiplerinin ağ optimizasyonu yapıldığı takdirde analiz sonuçlarına önemli derecede etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Sonlu elemanların medikal protezlerin tasarımında kullanımı yüksek maliyet ve zaman gerektiren tasarım ve doğrulama süreçlerinin hızlanmasına katkı sağlayarak sonlu elemanlar ile ilgili standart ve yönetmeliklerin geliştirilmesini sağlayacaktır.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

**Kaynaklar (References)**

- Abdullah, K.A.1997. Stress and Stability Analysis of the Neck-Stem Interface of the Modular Hip Prosthesis, Queen's University Department of Mechanical Engineering, PHD Thesis,177p, Ontario.
- Altinel, L. 2021. <https://www.leventaltinel.com/kalca-protezi/> Erişim tarihi:09.02.2021
- ASTM F2996-20. 2020. Standard Practice for Finite Element Analysis (FEA) of Non-Modular Metallic Orthopaedic Hip Femoral Stems, American Society for Testing and Materials (ASTM), 11s.
- Atik, F., Özkan, A., Uygur, İ. 2012. İnsan Uyluk Kemiği ve Kalça Protezinin Gerilme ve Deplasman Davranışının Kıyaslanması, Sakarya University Journal of Science, 16(3), 249-253.
- Bilgen, Ö. F., Bilgen, S., Ermutlu, C. 2011. Kalça Protezlerinde Malzeme ve Tasarım Özellikleri, Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği Dergisi, 147-157.
- Charnley, J. 1964. The bonding of prostheses to bone by cement. The Journal of bone and joint surgery. British volume, 46(3), 518-529.
- Chethan, K. N., Zuber, M., Shenoy, S., Kini, C. R. 2019. Static structural analysis of different stem designs used in total hip arthroplasty using finite element method. Heliyon, 5(6), 8s.
- Colic, K., Sedmak, A., Grbovic, A., Tatic, U., Sedmak, S., Djordjevic, B. 2016. Finite element modeling of hip implant static loading, Procedia Engineering 149, 257-262.
- İnce, A. 2018. Primer ve Sekonder Kalça Osteoartrili Hastalarda Çimentosuz ve Seramik Yüzeyli Total Kalça Protezi Uygulamalarımız- Kısa ve Orta Dönem Sonuçları, Sağlık Bilimleri Üniversitesi Antalya Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Tıpta Uzmanlık Tezi, 98s, Antalya.
- ISO 7206-4(2010), Implants for Surgery- Partial and Total Hip Joint Prostheses- Part 4: Determination of Endurance Properties and Performance of Stemmed Femoral Components, ISO- International Organization for Standardization; Geneva, Switzerland.
- Kayabaşı, O. 2011. Probabilistic Approach on The Analysis of a Kayabaşı-Ekici Type Hip Prosthesis Using Approximate Solution Techniques, Marmara University Department of Mechanical Engineering, PHD Thesis.168s, Istanbul.
- Knight, R., Aujla, R., and Biswas, S.P. 2011. Total hip arthroplasty-over 100 years of operative history, Orthop. Rev., 3(2), 72-74.
- Terzi M., Güvercin Y., Ateş S.M., Sekban D.M., Yaylacı M. 2020. Effect of different abutment materials on stress distribution in peripheral bone and dental implant system. Sigma Journal of Engineering And Natural Sciences, 38(3), 1515-1527.
- Yaylacı M, Terzi C. 2018. Temas problemlerinde sonlu elemanlar yönteminin doğruluğunun incelenmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(3), 511-519.
- Yaylacı, M., Avcar, M. 2020. Finite element modeling of contact between an elastic layer and two elastic quarter planes. Computers and Concrete, 26(2), 107-114.
- Yaylacı, M., Terzi, C., Avcar, M. 2019a. Numerical analysis of the receding contact problem of two bonded layers resting on an elastic half plane. Structural Engineering and Mechanics, 72(6), 775-783.
- Yaylacı, M., Bayrak, M.Ç., Avcar, M. 2019b. Finite Element Modeling of Receding Contact Problem. International Journal of Engineering and Applied Sciences 11(4) 468-475.
- Yaylacı M. 2016. The investigation crack problem through numerical analysis. Structural Engineering and Mechanics, 57(6), 1143-1156.



## FDM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN PLA NUMUNELERİN ÇEKME ÖZELLİKLERİNE İŞLEM PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Selim BACAK<sup>1\*</sup>, Hatice VAROL ÖZKAVAK<sup>1</sup>, Muzaffer TATLI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Eriyik Yığıma Modelleme (FDM), Eklemeli İmalat, Mekanik Özellikler, İşlem Parametreleri, Anova Analizi.</i>	Çalışmada eriyik yığıma modelleme (FDM) yöntemi ile 3B yazıcı kullanarak üretilen PLA numunelerin mekanik özelliklerden olan çekme dayanımına işlem parametrelerinin etkisi belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada işlem parametreleri olarak 2 farklı doluluk oranı (%20 ve %100), 3 farklı baskı hızı (100,150 ve 200 mm/s), 3 farklı nozul sıcaklığı (180, 205 ve 220°C) ve 3 farklı desen çeşidi (Cubic, Grid, Triangle) seçilmiştir. Çalışmada, %20 doluluk oranına göre %100 doluluk oranında daha yüksek çekme gerilmesi elde edilmiştir. %20 doluluk oranındaki numuneler kendi aralarında kıyaslandığında elde edilen en yüksek çekme gerilmesi değeri 220°C nozul sıcaklığında, 100 mm/s baskı hızında yapılan Grid desen çeşidinde 43.12 MPa olarak ölçülmüştür. %100 doluluk oranında ise en iyi sonuç 220°C de, 100 mm/s baskı hızında üretilen numunede 59.21 MPa çıkmıştır. Çalışmada %20 doluluk oranındaki numuneler için istatistik analiz yapılmıştır. Varyans analiz (ANOVA) yöntemi sonucu güven düzeyi %94,4 elde edilmiştir.

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PROCESSING PARAMETERS ON TENSILE PROPERTIES OF PLA SAMPLES PRODUCED BY FDM METHOD

Keywords	Abstract
<i>Fused Deposition Model (FDM), Additive Manufacturing, Mechanical Properties, Process Parameters, Anova Analysis.</i>	In the study, it was aimed to determine the effect of process parameters on the tensile strength of PLA samples produced by using 3D printer with the Fused Deposition Modeling (FDM) method. For this purpose, 2 different fill rates (20% and 100%), 3 different printing speeds (100, 150 and 200 mm/s), 3 different nozzle temperatures (180 °C, 205 °C and 220 °C) and 3 different pattern types (Cubic, Grid, Triangle) are selected. In the study, a higher tensile stress was obtained at a rate of 100%, compared to 20%. When the samples with 20% filling ratio are compared among themselves, the highest tensile stress value obtained was measured as 43.12 MPa in the Grid pattern type made at a nozzle temperature of 220 °C and at printing speed of 100 mm/s. The best result at 100% filling rate was 59.21MPa in the sample produced at 220°C, printing speed of 100 mm/s. In the study, statistical at analysis was done for samples with 20% fill rate. As a result of the variance analysis (ANOVA) method, the confidence level was achieved as 94.4%.

### Alıntı / Cite

Bacak, S., Varol Özkavak, H., Tatlı, M., (2021). FDM Yöntemi ile Üretilen PLA Numunelerin Çekme Özelliklerine İşlem Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 209-216.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Bacak, 0000-0002-9640-2893  
H. V. Özkavak, 0000-0002-0314-0119  
M. Tatlı, 0000-0001-9075-3791

### Makale Süreci / Article Process

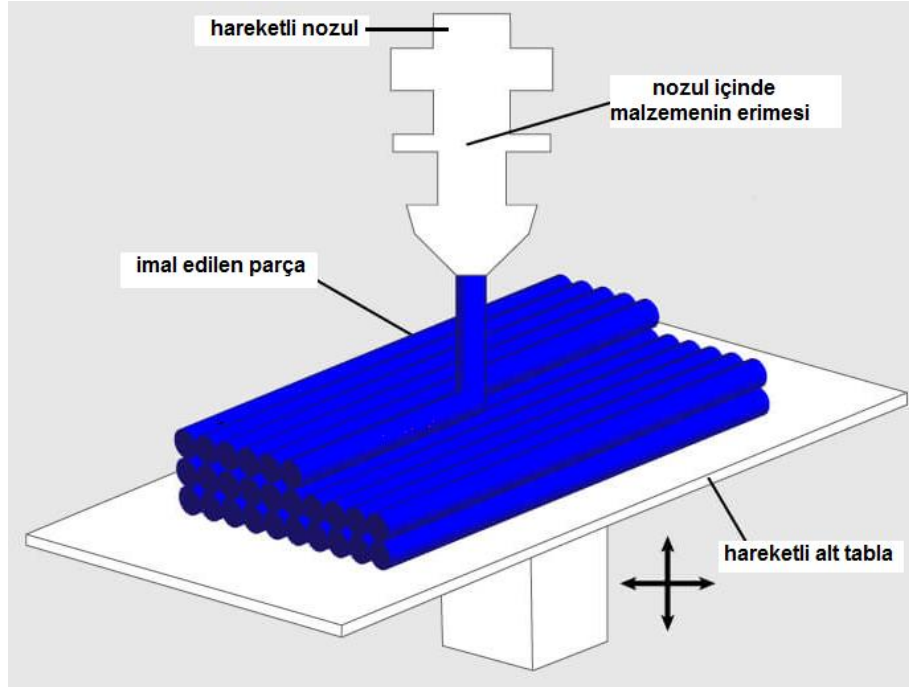
Başvuru Tarihi / Submission Date	10.06.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	09.10.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	03.02.2021
Yayın Tarihi / Published Date	30.03.2021

### 1. Giriş (Introduction)

Günümüz teknolojisinde üretim süresi ve bunun sonucu olarak piyasaya sunma süresinin azaltılması rekabet açısından önem arz etmektedir. Bu durum üretim hızı yüksek olan değişik prototipleme teknolojilerinin ortaya

\* İlgili yazar / Corresponding author: selimbacak@isparta.edu.tr, +90-246-214-6919

çıkmasına neden olmuştur (Kürşad vd., 2019). Bu amaçla ortaya çıkan teknolojilerden birisi de eklemeli imalat teknolojisidir. Eklemeli imalat tabaka tabaka tek kesit şeklinde üretim yapan ve 3B yazıcı olarak da bilinen bir yöntemdir (ASTM International,2010). Bu yöntemde üretim süreci üretilecek parçanın 3 boyutlu katı modelinin STL formatına dönüştürülmesi ile başlar. STL formatına dönüşüm sağlandıktan sonra modeli mümkün olan en küçük katmanlara ayrılır ve ayrılan katmanlar 3B yazıcıya gönderilerek parça üretimi sağlanır (Upcraft vd., 2003). Bu işlem için metal polimer veya seramik malzemeler lazer veya elektron ışını ile eritilerek (seçici lazer sinterleme (SLS) /Eritme (SLM)) veya uygun bir sıvı bağlayıcı (3B baskı) istenilen desende katılaştırılarak oluşturulmaktadır (Kruth vd.,2003; Li vd.,2009). Bir diğer yöntem de doğrudan erimiş birikim modellemesi olarak da tanımlanan eritilmiş plastik lifler (FDM) teknolojisidir (Düdek , 2013; Comb vd., 2005). FDM teknolojisi tel şeklinde mum veya plastik malzeme içerisinde malzemeyi erime noktasının üzerindeki bir sıcaklığa çıkarabilecek özelliğe sahip özel bir nozul kullanarak ekstürüze edilir. Ekstürüze edilen malzeme nozuldan akarak sertleşir, alttaki katmana yapışır ve bu işlem belirlenen katman sayısı kadar devam ederek parça imalatı sağlanmış olur. FDM sisteminin şematik görünüşü Şekil 1’de verilmektedir.



**Şekil 1.** FDM teknolojisinin şematik gösterilişi (Schematic representation of FDM technology) (<https://3dedi.com/blog/3d-baski-nedir.html>)

FDM teknolojisi ile üretilen parçaların kalitesine etki eden parametreler doluluk oranı, katman kalınlığı, extruder sıcaklığı, baskı hızı olarak tanımlanmaktadır. Bu parametrelerden olan ve parça mukavemetini önemli ölçüde etkileyen doluluk oranının artmasıyla hacim sabit kalmak kaydı ile malzeme yoğunluğu artmaktadır. Malzeme yoğunluğundaki artışın nedeni parça içindeki federlerin sayısının artırılmasından kaynaklanmaktadır. Malzeme yoğunluğundaki artış malzeme mukavemetindeki artışa neden olmaktadır (Evlen vd., 2020).

FDM yöntemi ile yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı baskı hızı, nozul sıcaklığı ve doluluk oranları parametrelerinin mekanik özellikler üzerine etkisi ele alındığı belirlenmiştir. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak 2 farklı doluluk oranında (%20 ve %100), 3 farklı baskı hızı (100,150 ve 200 mm/s), 3 farklı nozul sıcaklığı (180°C, 205°C ve 220°C) işlem parametrelerinin yanında 3 farklı desen çeşidi ile üretilen numunelerin mekanik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca çalışmada %20 doluluk oranı deney sonuçlarının istatistiksel analizi yapılarak deneylerin güven düzeyi belirlenmiştir. Böylelikle doluluk oranı, baskı hızı, nozul sıcaklığı gibi işlem parametrelerinin yanında desenin mekanik özelliklere etkisi de incelenmesi açısından literatüre katkı sağlanması planlanmaktadır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Çalışmada eriyik yığıma modelleme (FDM) yöntemi ile 3B yazıcı kullanarak üretilen PLA numunelerin mekanik özelliklerden olan çekme dayanımına işlem parametrelerinin etkisi belirlenmesi amaçlanmıştır. Doluluk oranının mekanik özelliklere etkisini incelemek amacıyla literatürde birçok çalışma mevcuttur. Çelebi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada PLA polimer malzemeden 3 farklı doluluk oranında (%5, %50 ve %100) üretilmiş, numunelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yazarlar çalışma sonunda çekme dayanımlarında %50'ye varan farklılıklar oluştuğu ve oluşan bu farklılıkların nedeninin yazdırma işlemi sırasında meydana gelen mikro

çatlaklar olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Çelebi vd., 2017). Özdemir ve arkadaşları PET ve PLA malzemeleri kullanarak %10, 20, 30 ve %50 doluluk oranında numuneler hazırlamış ve bu numunelerin tek eksenli çekme deneyler, sertlik ve yüzey pürüzlülük değerlerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda PET ve PLA malzemelerin sertlik değeri malzemenin doluluk oranı arttıkça arttığı sonucuna ulaşmışlardır (Özdemir vd., 2016). FDM yöntemi ile üretilen, parçaların kalitesine etki eden diğer parametreler katman kalınlığı, tarama açısı, tarama genişliği, hava boşluğu, dolgu yoğunluğu, baskı yönü ve besleme hızı olarak yapılan çalışmalarla belirlenmiştir (Çavdar vd., 2006; Tuner vd., 2014). Çantlı ve arkadaşları ABS polimeri kullanarak %100 doluluk oranında farklı yazdırma hızı (30-70 mm/s) ve farklı işlem sıcaklıklarında (230°C, 240°C ve 250°C) numuneler üretmişlerdir. Üretilen numunelerin Shore-D sertlik değerlerini ve çekme dayanımlarını belirlemişlerdir. Çalışma sonunda baskı hızı artırıldığında parça geometrilerinde hatalar meydana geldiği ve ideal yazdırma hızının 50mm/s olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Çantlı vd., 2017). Anitha ve arkadaşları yaptıkları çalışmada FDM işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini Taguchi yöntemi kullanarak incelemişlerdir. Çalışmada değiştirilen işlem parametreleri katman kalınlığı, baskı hızı ve yol genişliğidir. Çalışma sonunda yüzey pürüzlülüğüne en etkili parametrenin katman kalınlığı olduğuna ulaşmışlardır (Anitha vd., 2001).

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

#### 3.1. Malzeme ve Ekipman (Material and Equipment)

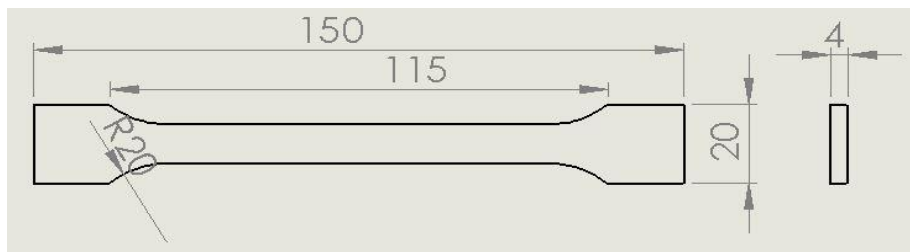
Çalışmada FDM esaslı 3B yazıcı ile farklı işlem parametreleri kullanarak numuneler üretilecek ve üretilen numunelerin çekme dayanımına seçilen işlem parametrelerinin etkisi belirlenecektir. Numune üretiminde malzeme olarak Polilaktik Asit (PLA+) seçilmiştir. PLA filamentler, daha az toksik içermesinden dolayı daha düşük sıcaklıklarda çalışılabilen ve yenilenebilir kaynaklardan daha çok faydalanılmaktadır (Günay vd., 2020). PLA malzemeden yapılmış filament mısır tanesinden çıkarılmış ve saflaştırılmış; yüksek sertlik, iyi parlaklık ve şeffaflık özelliklerine sahip 1.75 mm çapına sahip bir malzemedir. Çalışmada kullanılan PLA + malzeme ESUN firmasından temin edilmiş olup firma tarafından firmanın PLA malzemeler listesinden seçilmiştir. Tablo 1'de kullanılan PLA+ malzemesinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri verilmektedir.

**Tablo 1.** PLA+ filamentin özellikleri (Properties of PLA+ Filaments)

Baskı sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Bozulma sıcaklığı (°C, 45 MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma uzaması (%)	Eğme dayanımı (MPa)	Darbe dayanımı (kJ/m <sup>2</sup> )
205-225	1.24	52	60	29	87	7

PLA+ esaslı çekme numuneleri kapalı sistem hareketli basım tablasına sahip bir 3B yazıcıda üretilmiştir. Çalışmada 0.4 mm nozul çapına sahip, FDM teknolojisine uygun ve x,y eksen hassasiyeti 1.25 mikron olan 3B yazıcı kullanılmıştır.

Çalışmada, çekme testi numuneleri ASTM D638-IV standardına uygun olarak hazırlanmış olup Şekil 2'de verilmektedir. İlgili numune katı modelleri CAD yazılımında çizimi gerçekleştirilmiş, 3B yazıcı için uygun formata dönüştürülmüş ve G kodları üretilerek üretime hazır hale getirilmiştir.



**Şekil 2.** Deneysel çalışmada kullanılan numune şekli (Shape of the sample used in the experimental study)

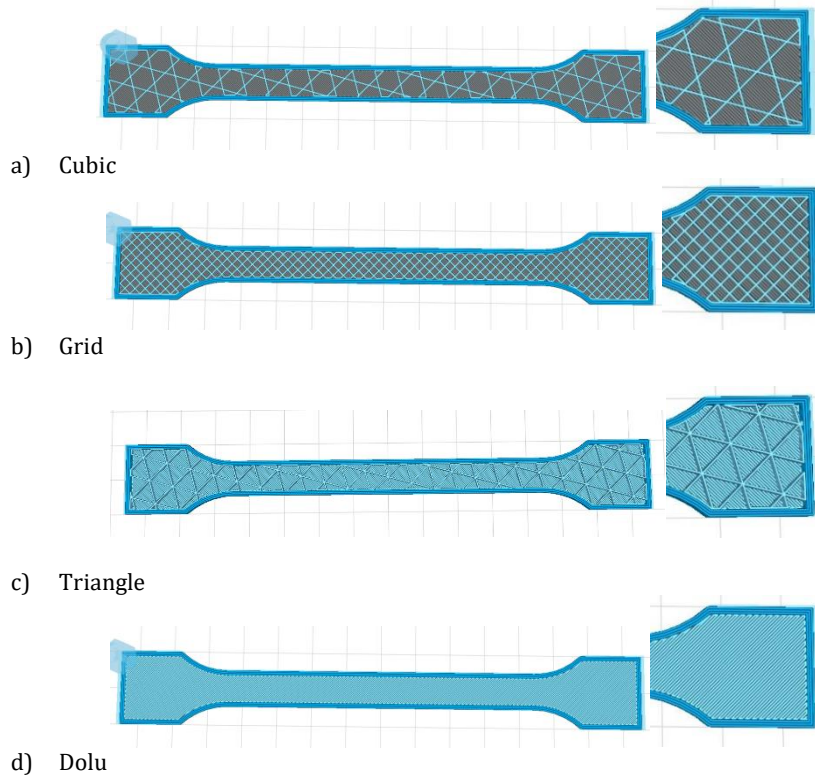
#### 3.2. Deney Tasarımı ve Optimizasyon (Experimental Design and Optimization)

Çalışmada FDM yöntemi ile PLA+ filament malzemeden üretilen numunelerin mekanik özelliklerine işlem parametrelerinin etkisini belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada kullanılan işlem parametreleri Tablo 2'de verilmektedir. Numune üretimi sırasında tabla sıcaklığı 50 °C olarak sabit tutulmuştur. Üretim esnasındaki oda sıcaklığı 25 °C ölçülmüştür. Tablo 2 de işlem parametreleri gösterilmektedir.

**Tablo 2.** İşlem Parametreleri (Process Parameters)

İşlem parametreleri	Değer
Tarama açısı (°)	0
Katman kalınlığı (mm)	0.2
Doluluk oranı (%)	20, 100
Baskı hızı (mm/s)	100, 150, 200
Nozul sıcaklığı (°C)	180, 205, 220
Tabla sıcaklığı (°C)	50
Ortam sıcaklığı (°C)	25
Alt kabuk katman sayısı	4
Üst kabuk katman sayısı	4
Dış duvar sayısı	3
Destek durumu	Yok
Geri çekme hızı (mm/s)	20
Fan hızı (%)	100
Desen çeşidi	Cubic, Grid, Triangle

Çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak desen yapısının çekme dayanımına etkisi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan desenler Şekil 2'de verilmektedir.

**Şekil 2.** Deneysel çalışmalarda kullanılan numune desenleri (Sample Patterns used in experimental studies)



Numunelerin 3B yazıcı tablası üzerindeki yerleşimleri tüm üretim aşamaları için aynı seçilmiştir. Çekme testleri Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi bünyesinde bulunan 20 kN kapasiteli MARES marka test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Çekme testleri 4 mm/s çekme hızında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada ayrıca seçilen işlem parametrelerinin çekme dayanımına bağlı olarak istatistiksel analizi yapılmıştır. Bu amaçla %94,4 güven düzeyinde varyans analizi (ANOVA) uygulanmış ve çekme dayanımı üzerine doluluk oranı, baskı hızı, sıcaklık ve desen çeşidinin etki seviyeleri belirlenmiştir.

#### 4. Deneysel Sonuçlar(Experimental Results)

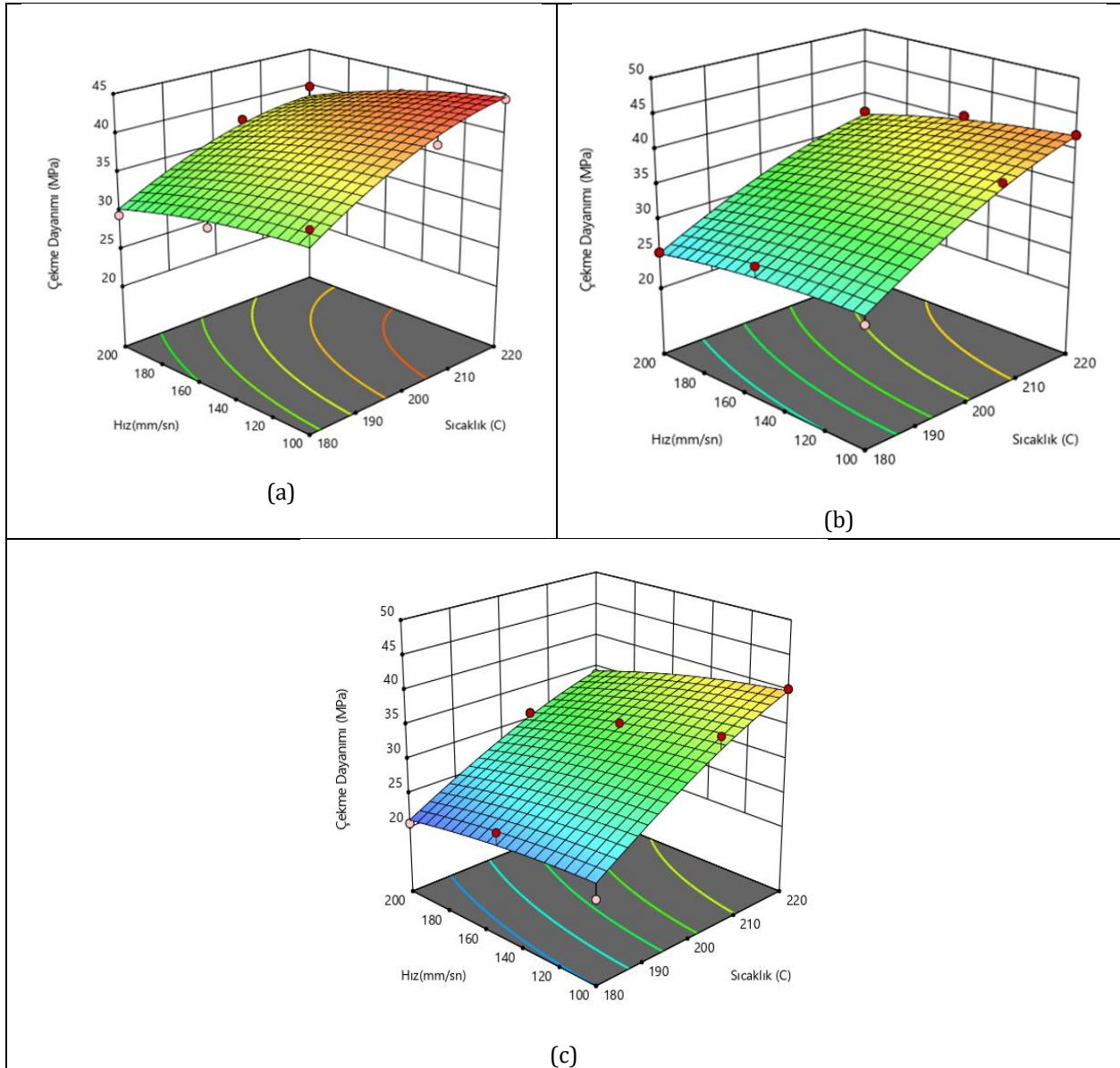
Bu çalışmada 2 farklı doluluk oranında (%20 ve %100), 3 farklı baskı hızı (100,150 ve 200 mm/s), 3 farklı nozul sıcaklığı (180, 205 ve 220°C) işlem parametrelerinin yanında 3 farklı desen çeşidi (Cubic, Grid, Triangle) ile üretilen numunelerin mekanik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla üretilen 36 adet numuneye çekme deneyi uygulanmıştır. Çekme deney sonuçları incelendiğinde çekme dayanımlarına etki eden parametreler doluluk oranı, desen yapısı, sıcaklık ve hız olarak belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan desen çeşitlerinin mekanik özelliklere etkisi incelendiğinde en yüksek dayanım Grid deseninde elde edilmiştir.

Yapılan çekme deney sonuçları incelendiğinde sıcaklığın çekme dayanımı üzerinde etkili bir parametre olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma için en yüksek çekme dayanımı 220°C de elde edilmiştir. Tüm işlem parametreleri için nozul sıcaklığının kıyaslaması yapıldığında 220°C de en yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Sıcaklık artışı viskoziteyi düşürmektedir. Düşen viskozite değeri ekstrüde edilen malzeme kesitindeki dairesel şeklin oval hale dönüşmesine neden olmaktadır. Oval şekle dönüşen malzeme katmanları arasındaki temas alanının artmasına neden olarak yapışmanın da artmasını sağlamaktadır. Katmanlar arası yapışmanın artması çekme dayanımı üzerinde olumlu etki oluşturduğu bilinmekte olup çekme dayanımındaki artışın nedeni olarak ifade edilebilir (Sood vd. 2012).

Numunelerin imalatında kullanılan farklı hız değerlerinin çekme gerilmesine etkisi diğer parametrelerden daha düşük olmuştur. Sonuçlar incelendiğinde en iyi çekme dayanım değerleri 100 mm/s hızında üretilen deney numunelerinde ortaya çıkmıştır. Buna sebep düşük hızda üretilen baskı numunelerinde baskı sürelerinin artması daha kaliteli bir numune elde edilmesi olarak açıklanabilir.

Şekil 3'te %20 doluluk oranında üç farklı desen çeşidinin sıcaklık ve hız değişkenlerine göre etkileşimleri görülmektedir. %20 doluluk oranında elde edilen en yüksek çekme gerilmesi değeri 220 °C de, 100 mm/s baskı hızında yapılan Grid desen çeşidinde 43.12 MPa olarak ölçülmüştür. En düşük gerilme değeri ise 180 °C de, 200 mm/s üretim hızında yapılan Triangle desen çeşidinde 20,48 MPa olarak elde edilmiştir. Sıcaklık ve hız değişimlerinin çekme gerilmesine etkileri incelendiğinde sıcaklık değişiminin daha etkin bir rol oynadığı görülmektedir. Benzer sonuçlar yapılan ANOVA analizi sonucunda ortaya çıkan yüzdellik etkileşim paylarında da görülmektedir.



**Şekil 3.** (a) Grid desen, (b) Cubic desen, (c) Triangle desen çeşitlerinin sıcaklık ve hız değerlerine göre çekme gerilmelerinin değişimi ((a) Grid pattern, (b) Cubic pattern, (c) Triangle pattern variation of tensile stresses according to temperature and speed values)

Çalışmada ayrıca %100 doluluk oranı için de desen, hız ve sıcaklık işlem parametrelerinin, çekme dayanımına etkisi de incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda %100 doluluk oranı en yüksek gerilme değeri 220 °C de ve 100 mm/s hızında 59.21 MPa çıkmıştır. En düşük gerilme değeri ise 180 °C de 200 mm/sn hızında 48.71 MPa olarak ölçülmüştür. Bu durum önceki çalışmalara benzer olup beklenen bir sonuç olmuştur (Günay vd.,2020).

Çalışmada farklı işlem parametrelerinde üretilen ve çekme deneyi sonrası elde edilen deneysel verilerin aynı zamanda istatistiksel analizi yapılmıştır. İstatistiksel analiz için %20 doluluk oranı ile üretilmiş numunelerden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Çalışmada istatistiksel analiz için Varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Tablo 3'te yapılan analiz sonuçları verilmektedir. Analizin güven düzeyi %94,4 elde edilmiştir. Yapılan analiz ile sıcaklık, hız ve desen çeşitlerinin çekme gerilmesi üzerindeki etki seviyeleri de belirlenmiştir. Ayrıca analizin sinyal/gürültü oranı da (S/N) analizin güvenilir değerinde bir değer olarak 23.07 çıkmıştır. S/N oranı, kayıp fonksiyonunun dönüştürülmüş şeklidir aynı zamanda süreç değişkenliğinin ve analizin güvenilirliğinin de bir ölçütüdür (Günay vd.,2020). Bu nedenle elde edilen bu düzey, istatistiksel analiz açısından anlamlı bir sonuç olarak değerlendirilebilir.

**Tablo 3.** Çekme dayanımı için yapılan ANOVA analizi sonuçları (ANOVA analysis results for tensile strength)

Kaynak	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	R <sup>2</sup> Değeri	S/N Oranı	% Dağılım
<b>Model</b>	8.34	11	0.758	40,92	< 0.0001	0,944	23,077	
A-Sıcaklık	5.54	1	5.54	298,85	< 0.0001			64,26
B-Hız	0.6831	1	0.6831	36.87	< 0.0001			7.92
C-Desen	1.7	2	0.8481	45.78	< 0.0001			19.72
AB	0.0119	1	0.0119	0.6434	0.435			
AC	0.2649	2	0.1325	7.15	0.0066			3.07
BC	0.0028	2	0.0014	0.0756	0.9275			
A <sup>2</sup>	0.1186	1	0.1186	6.4	0.0231			1.37
B <sup>2</sup>	0.024	1	0.024	1.3	0.2726			
<b>Hata</b>	0.2779	15	0.0185					3.22
<b>Toplam</b>	8.62	26						

Tablo 3 incelendiğinde kareler toplamı, serbestlik derecesi, kareler ortalaması, F değeri ve her bir parametrenin önem seviyesini gösteren P değerleri açıkça görülmektedir. Parametrelerin önem seviyesi, ANOVA tablosundaki P değeri dikkate alınarak belirlenmektedir. Ayrıca, R<sup>2</sup> ve S/N değerleri ile beraber her bir değişkenin çekme gerilimi üzerindeki yüzde etki oranları hesaplanmış olup tabloda verilmiştir.

Parametrelerin yüzde etki oranları incelendiğinde, en fazla öneme sahip değişken %64.26 ile sıcaklık olarak belirlenmiştir. İstatistiksel olarak önem sıralamasında, desen çeşidi %19.72 ve baskı hızı %7,92 şeklinde hesaplanmıştır. Ayrıca sıcaklık\*desen bileşkesi de analiz sonucunda etki eden anlamlı bir parametre olarak belirlenmiştir.

Yapılan analiz sonucu en verimli desenin Grid olduğu belirlenmiştir. Analizde bu desen için elde edilen denklem eşitlik 1'de verilmektedir.

$$6 = -13.58840 + 0.175264 * \text{sıcaklık} + 0.009772 * \text{hız} - 0.000031 * \text{sıcaklık} * \text{hız} - 0.000379 * \text{sıcaklık}^2 - 0.000025 * \text{hız}^2 \quad (1)$$

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışmada farklı işlem parametreleri kullanarak FDM yöntemi ile üretilmiş PLA+ malzemeden üretilmiş numunelerin çekme dayanımına işlem parametrelerinin etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Bu çalışma için 220 °C, 205 °C, 180 °C olmak üzere üç farklı sıcaklık seçilmiş olup en yüksek çekme dayanımı 220 °C de elde edilmiştir.
- Çalışmada 3 farklı desen çeşidi kullanılmış olup en yüksek dayanım Grid deseninde elde edilmiştir.
- Deneylerde kullanılan üç farklı hız değerlerinin (100, 150, 200 mm/s) çekme gerilmesi bakımında etkisi diğer parametrelerden daha düşük olup en yüksek dayanım değeri 100 mm/s hızında üretilen deney numunelerinde ortaya çıkmıştır.
- Tüm parametrelerin etkisi birlikte incelendiğinde %20 doluluk oranında elde edilen en yüksek çekme gerilmesi değeri 220 °C de, 100 mm/s üretim hızında üretilen Grid desen çeşidinde 43.12 MPa olarak ölçülmüştür.
- Deneysel sonuçlarının istatistiksel analizi ANOVA yöntemi kullanılarak yapılmış ve güven düzeyi %94,4 elde edilmiştir. Ayrıca analizin sinyal/gürültü oranı da (S/N) analizin güvenilir değerinin üzerinde bir değer olarak 23.07 çıkmıştır.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

## Kaynaklar (References)

- Anitha, R., Arunachalam, S., Radhakrishnan, P.,2001. Critical parameters influencing the quality of prototypes in fused deposition modelling. *J Mater Process Technol* 118(1-3):385-388.
- ASTM International, 2010. Standard Terminology for additive manufacturing technologies. West Conshohocken.
- Comb, JW., Friedeman, WR., Leavit, PJ., Skubic, RL., Batchelde, JS.,2005. High-precision modeling filament. United States patent US6866807B2, Sept 2.
- Çanlı, E., Aydın, M., Yıldırım, F., Günay M., Kaya, B., 2017. Investigation of the FDM process performance at different printing parameters, 2. 3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu, İstanbul.
- Çavdar, F., Filiz H. Doğan, C., 2006. Bir Hızlı Prototipleme Makinesi Tasarımı. Timak-Tasarım İmalat Analiz Kongresi, Balıkesir.
- Çelebi, A., Demirdal, S., Akbulut, M., 2017. 3 Boyutlu Yazıcı İle Üretilen Polylaktik asit (PLA) Numunelerde Doluluk Oranlarının Mekanik Özelliklere Etkisi. 2. 3b Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu, İstanbul.
- Dudek, P., 2013. FDM 3B printing technology in manufacturing composite elements. *Arch Metall Mater*;58(4):1415-8.
- Evlen, H., Erel, G., Yılmaz, E. Açık ve kapalı sistemlerde doluluk oranının parça mukavemetine etkisinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, In press.
- Günay, M., Gündüz, S., Yılmaz, H., Yaşar, N., Kaçar, R., 2020. PLA Esaslı Numunelerde Çekme Dayanımı için 3D Baskı İşlem Parametrelerinin Optimizasyonu. *Politeknik Dergisi* 23(1): 73-79.
- Kruth, JP., Wang, X., Laou, i T., Froyen, L., 2003. Lasers and materials in selective laser sintering. *Assembly Autom* ;23(4):357-71.
- Kürşad, H., Sezer, H.K., O., Eren., 2019. FDM 3B printing of MWCNT re-inforced ABS nano-composite parts with enhanced mechanical and electrical properties. *Journal of Manufacturing Processes* 37, 339-347.
- Li, X., Wang, CT., Zhang, WG., Li, YC., 2009. Fabrication and characterization of porous Ti6Al4V parts for biomedical applications using electron beam melting process. *Mater Lett* ;63(3):403-5.
- Özdemir, M. A., Evlen, H., Çalışkan, A., 2016. Doluluk oranının PLA ve PET Malzemelerin Mekanik Özellikleri , üzerine Etkisi. 3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu, İstanbul.
- Sood, AK., Ohdar, R., Mahapatra, S., 2009. Improving dimensional accuracy of fused deposition modelling processed part using grey Taguchi method. *Mater Des* 30(10):4243-4252.
- Tuner, B. N., Strong, R., Gold, S.A., 2014. A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. process design and modeling. *Rapid Prototyping Journal*, 3: 192-204.
- Upcraft, S., Fletcher, R., 2003. The rapid prototyping technologies. *Assembly Autom*, 23(4), 318-30.
- <https://plastics.ulprospector.com/generics/1/c/t/acrylonitr-ile-butadiene-styrene-abs-properties-processing>.
- <https://3Bedi.com/blog/3B-baski-nedir.html>



## KALSİYUM ALÜMİNAT ÇİMENTOLU HAFİF BETONUN FİZİKO-MEKANİK VE TERMAL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Metin DAVRAZ<sup>1\*</sup>, Murat KORU<sup>2</sup>, Burak YANARDAĞ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üni., Senirkent Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Isparta-Türkiye

<sup>2</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üni., Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>3</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Kalsiyum Alüminat  
Çimentosu,  
Hafif Beton,  
Fiziko-Mekanik Özellikler,  
Isıl İletkenlik*

### Öz

Kalsiyum alüminat çimentosu yol uygulamaları, endüstriyel zemin uygulamaları, yüksek sıcaklık direnci gerektiren refrakter uygulamaları vb. gibi durumlarda üstün performans göstermektedir. Bu çalışmada, hidrojen peroksit, hidrojen peroksit +2mm genişletilmiş perlit ve yalnızca köpük kullanımıyla olmak üzere, 3 farklı yöntemle kalsiyum alüminat çimentolu hafif beton numuneleri üretilmiştir. Hafif beton karışımları 40×40×160 mm prizma ve Ø60×25 mm ölçülerinde silindirik kalıplara dökülmüş ve kalıptan çıkarıldıktan sonra 23 °C ve % 90 bağıl nemde kürlenmiştir. Sertleşmiş hafif beton numuneleri üzerinde kuru birim hacim kütle, eğilme-basınç dayanımı, kapiler su emme ve ısı iletkenlik deneyleri yürütülmüştür. Ayrıca hidrojen peroksit kullanım oranı, genişletilmiş perlit kullanım oranı vd. karışım parametrelerinin numune fiziko-mekanik özelliklerine etkileri analiz edilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen bulgular ışığında hafif beton numunelerinin fiziko-mekanik özellikleri karşılaştırılmış ve optimum özelliğe sahip numune türü belirlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışma kapsamında kalsiyum alüminat çimentosuyla kuru yoğunluğu: 269-348 kg/m<sup>3</sup>, basınç dayanımı: 245-464 kPa, eğilme dayanımı: 155-375 kPa ve ısı iletkenliği 0.068-0.092 W/mK özelliklerine sahip hafif beton numuneleri üretimi gerçekleştirilmiştir.

## INVESTIGATION OF PHYSICO-MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH CALCIUM ALUMINATE CEMENT

### Keywords

*Calcium Aluminate Cement,  
Lightweight Concrete,  
Physico-Mechanical  
Properties,  
Thermal Conductivity.*

### Abstract

Calcium aluminate cement shows superior performance, road applications, industrial floor applications, refractory applications requiring high temperature resistance etc. in areas like. In this study, lightweight concrete samples with calcium aluminate cement were produced by using 3 different methods: hydrogen peroxide, hydrogen peroxide +2mm expanded perlite and only foam. Lightweight concrete mixes were poured into 40×40×160 mm prisma and Ø60×25 mm measure cylindrical molds and cured at 23 °C and 90% relative humidity after being removed from the mold. Dry density, bending-compressive strength, capillary water absorption and thermal conductivity tests were conducted on the hardened lightweight concrete samples. In addition, the effects of mixture parameters such as hydrogen peroxide usage ratio, expanded perlite usage ratio on sample physico-mechanical properties were analyzed. According to the findings obtained from the experimental results, the physico-mechanical properties of lightweight concrete samples were compared and the type of sample with optimum properties was determined. As a result, in this study, light concrete samples were produced using by calcium aluminate cement, which has a dry density of 269-348 kg/m<sup>3</sup>, compressive strength of 245-464 kPa, flexural strength of 155-375 kPa and thermal conductivity of 0.068-0.092 W/mK.

### Alıntı / Cite

Davraz, M., Koru, M., Yanardağ, B., (2021). Kalsiyum Alüminat Çimentolu Hafif Betonun Fiziko-Mekanik ve Termal Özelliklerinin Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 217-229.

\* İlgili yazar / Corresponding author: metindavraz@isparta.edu.tr, +90-246-511-2739

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
M. Davraz, 0000-0002-6069-7802	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	30.06.2020
M. Koru, 0000-0002-6949-645X	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	30.11.2020
B. Yanardağ, 0000-0002-3908-506X	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	05.12.2020
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

## 1. Giriş (Introduction)

Kalsiyum alüminat çimentosu (KAC) Portland çimentosunun (PÇ) yaklaşık 8 aylık basınç dayanımını 1-2 günde sağlayabilmektedir. Ayrıca PÇ içeren kompozitlerden çok daha yüksek sıcaklıklarda dayanımını koruyabilmekte, asidik ortamlardan etkilenmemekte ve darbeye, aşınmaya karşı yüksek direnç gösterebilmektedir. Ulusal ve uluslararası literatür incelendiğinde KAC kullanılarak üretilmiş köpük betona yönelik bilimsel çalışmalar mevcut olmakla birlikte bu konuda yürütülen çalışma sayısı greceli olarak azdır.

KAC, en yaygın özel çimento çeşidi olmasına karşın dünya çapında yıllık üretimi PÇ'nin % 0.1 oranından daha düşüktür (Scrivener, 2003). Bu kadar az kullanılmasının en büyük nedenlerinden birisi, geçirdiği dönüşüm reaksiyonlarının yarattığı dengesizliktir. Hidratasyon sürecinde ortaya çıkan dönüşüm reaksiyonları sonucunda gözeneklilik artmakta ve dayanım düşmektedir (Bizzozero, 2014). Fakat Mangabhai (1990), tarafından yapılan çalışmada KAC'nun yapı malzemesi olarak kullanılması için hiçbir engel bulunmadığı belirtilmiştir.

KAC'nun hidratasyon süreci PÇ'dan farklıdır. Genel olarak PÇ hidratasyonunun %60-80'i 28 günde gerçekleşmektedir. 28 günden sonra hidratasyon yavaşlayarak devam etmektedir. Bununla birlikte KAC'daki hidratasyonun büyük bir bölümü sadece ilk 24 saat içinde gerçekleşmektedir (Kan vd., 2017). PÇ, kalsiyum ve silisyum oksitleri ile C<sub>2</sub>S ve C<sub>3</sub>S fazlarını oluşturup su ile tepkimeye girdiğinde kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) ve kalsiyum hidrat (C-H) oluşumlarını sağlamaktadır. KAC, kalsiyum ve alüminyum oksitleri ile mono kalsiyum alüminat (CA) oluşturup su ile tepkimeye girdiğinde sıcaklığa bağlı olarak kararlı ya da yarı kararlı hidratasyon ürünlerini (2C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub> vd.) oluşturmaktadır (Sucu ve Delibaş, 2015).

Ramamurthy vd. (2009), tarafından yapılan çalışmada; köpük hacmindeki artışın karışımın kararlılığını etkilemesi sebebiyle karışım su/katı oranının gereksinimleri karşılayacak şekilde seçilmesi gerektiğini bildirmiştir. Küresel ve uygun aralıklarla bulunan hava boşluğu gözeneklerinin bu düzenli dağılım özelliği sebebiyle köpük betonun iyi mekanik özelliklere sahip olmasını sağladığı belirtilmiştir.

Orcay (2010), tarafından yapılan yüksek lisans tezinde; geliştirilmiş polistren ile üretilmiş yalıtım betonlarının mekanik özellikleri ve ısı iletkenlikleri incelenmiştir. Birim hacim ağırlıkları 400-1800 kg/m<sup>3</sup> arasında olan 5 farklı geliştirilmiş polistrenli hafif beton üretilmiştir. Geliştirilmiş polistrenli hafif betonların tamamından elde edilen bulgular hafif betonun ısı iletkenliğinin birim hacim ağırlığının artmasına bağlı olarak doğrusal bir şekilde artırdığını göstermiştir.

Vilches vd., (2012), tarafından yapılan bir çalışmada; ultra hafif köpük beton yoğunluğunun artması ile yüksek sıcaklık direncinin artması, 400 kg/m<sup>3</sup> yoğunluk için 150 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa göre 3 kat daha fazla olması ve yeterli yüksek sıcaklık direnci için 250 kg/m<sup>3</sup>'ten daha yüksek bir yoğunlukta tasarımların yapılması gerektiğini ifade etmiştir.

Davraz ve Kılınçarslan (2015), tarafından yapılan çalışmada; PÇ, kalker tozu, polipropilen elyaf ve süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılarak 300 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajı ve sabit 0.30 su/katı oranında hazırlanan harçlara 80 g/l yoğunlukta köpük ilave edilerek numuneler üretilmiştir. 300 ile 1400 kg/m<sup>3</sup> aralığındaki 12 farklı kuru yoğunlukta üretilen numunelerin 28 günlük basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve ısı iletkenlik katsayıları belirlenmiştir.

Çetin vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada; 300, 400 ve 500 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı içeren köpük beton numunelerinin hızlı ve yüksek erken dayanım kazanımı incelenmiştir. PÇ ile birlikte kullanıldığında hem yüksek dayanım hem de çok kısa priz süresi elde edilen KAC'nun köpük beton blokları şeklinde kullanımı değerlendirilmiştir. Yapılan deneylerde farklı Portland çimentosu/kalsiyum alüminat çimentosu oranlarında dayanım değerleri ve kuru haldeki numunelerin ısı iletkenlik katsayıları belirlenmiştir. KAC içeren karışımların dayanımlarında ise PÇ ile önemli bir fark görülmemiştir.

Engin (2018), tarafından yapılmış olan yüksek lisans tez çalışmasında; geliştirilmiş perlit agregası ve katkı maddeleri kullanılarak ısı yalıtım özelliği kazandırılmış ultra hafif betonlar üretilmesi amaçlanmıştır. Kuru birim hacim ağırlığı 150 kg/m<sup>3</sup>'e kadar düşürülen ultra hafif beton numunelerinin ısı iletkenlik katsayısı 0.039 W/mK, basınç dayanımı 0.13 MPa ve su emmesi % 242.3 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında “kuru yoğunluğu ( $D_{kuru}$ )  $\leq 500 \text{ kg/m}^3$  ve basınç dayanımı  $\geq 250 \text{ kPa}$  ve ısı iletkenlik katsayısı ( $\lambda \leq 0.065 \text{ W/mK}$ ” değerlerini sağlayan KAC çimentolu hafif beton numunelerinin üretilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (SDÜ DEYMAM)’nde yürütülmüştür. Beton üretimlerinde bağlayıcı olarak ÇİMSA AŞ. üretimi ISIDAÇ 40 çimentosu kullanılmıştır. Söz konusu çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** KAC özellikleri (KAC Properties) (ÇİMSA A. Ş., 2020)

Kimyasal Özellikleri (%)		Fiziksel Özellikleri	
SiO <sub>2</sub>	3.60	Hacim Sabitliği (mm)	1.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39.80	0.045 mm Elekte Kalıntı (%)	23.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.05	0.090 mm Elekte Kalıntı (%)	6.5
CaO	36.20	Özgül Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> /g)	3000
MgO	0.65	Priz Başlangıcı (dak)	280
		Priz Sonu (dak)	295
		Özkütle (g/cm <sup>3</sup> )	3.25
Mekanik Özellikleri (MPa)			
6 Saatlik Basınç Dayanımı			47.0
24 Saatlik Basınç Dayanımı			70.0

Köpük üretiminde sentetik köpük ajanı (CONTOPP® Foambuilder SFS3) kullanılmıştır. Üretici firma tavsiyesi doğrultusunda 50 L suya 1 L köpük ajanı ilavesiyle hazırlanan karışım, basıncı 4 atm’e ayarlı köpük jeneratörüne beslenerek köpük üretilmiştir. KAC bağlayıcılı hafif beton numuneleri;

- I. Yalnızca genişletme/yapıcı madde kullanılarak,
- II. Genişletme maddesi +2mm genişletilmiş perlit kullanılarak ve
- III. Köpük ilavesiyle, olmak üzere 3 farklı yöntemle üretilmiştir.

Harç üretiminde kıvam artırıcı olarak karboksi metil selüloz (CMC), priz hızlandırıcı olarak lityum karbonat (LK) kullanılmıştır. I ve II nolu yöntemde harç bileşimine gaz yapıcı madde olarak % 30 seyreltik hidrojen peroksit (HP) ve katalizör olarak potasyum iyodür (KI) ilave edilmiştir. II. yöntemde göre üretilen harçlarda hafif agrega olarak kullanılan genişletilmiş perlit İzmir’den Bergama Madencilik İnşaat Makine Perlit San. Tic. A. Ş.’den temin edilmiştir. Perlitin kimyasal yapısı, fiziksel özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Genleştirilmiş perlit fiziksel ve kimyasal özellikleri (Physical and chemical properties of expanded perlite)

Kimyasal Özellikleri (%)		Fiziksel Özellikleri	
SiO <sub>2</sub>	72.92	Renk	Gri, beyaz
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.82	Özkütle (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>	2.276
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.04	Gevşek yığın yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>b</sup>	86
CaO	1.04	Görünür tane yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>b</sup>	0.199
Na <sub>2</sub> O	2.69	Etüv kurusu tane yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>b</sup>	0.158
K <sub>2</sub> O	7.00	Doygun yüzeyi kuru tane yoğ. (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>b</sup>	0.365
MgO	0.19	24 saatte kütlece su emme (%) <sup>b</sup>	132
LOI	2.16	Tane boyutu	+2 mm
<sup>a</sup> Gaz piknometresi ile belirlenmiştir. <sup>b</sup> TS EN 1097-6 standardına göre belirlenmiştir.			

Yöntem I’de belirli oranlarda HP ve CMC’un etkilerini belirleyebilmek için 10 farklı karışım yapılmıştır (Tablo 3). Karışım tasarımında KI (HP kütlelerinin %10’u) ve LK (KAC kütlelerinin % 0.1’i) oranları sabit tutulmuştur.

Yöntem II’de belirli oranlarda +2 mm genişletilmiş perlit ilavesinin etkilerini görebilmek için 4 farklı karışım tasarımı yapılmıştır (Tablo 4). HP oranı KAC kütlelerinin %2’si oranında sabit tutulmuştur. Ek olarak, tasarımda KI, LK, CMC ve ilave su oranları sabit tutulmuştur.

**Tablo 3.** Yöntem I'e göre hazırlanan harç tasarımları (~250 cm<sup>3</sup> için) (Mortar designs prepared according to Method I) (for ~250 cm<sup>3</sup>)

HP oranı sabit, CMC oranı %0.01-%0.05 arasında değişken										
Bileşenler	HP1		HP2		HP3		HP4		HP5	
	W (g)	%	W (g)	%	W (g)	%	W (g)	%	W (g)	%
KAC	65		65		65		65		65	
HP	1.95	3	1.95	3	1.95	3	1.95	3	1.95	3
LK	0.065	0.1	0.065	0.1	0.065	0.1	0.065	0.1	0.065	0.1
Su	32.5		32.5		32.5		32.5		32.5	
KI	0.195	10	0.195	10	0.195	10	0.195	10	0.195	10
CMC	0.007	0.01	0.013	0.02	0.020	0.03	0.026	0.04	0.033	0.05
s/c	0.50		0.50		0.50		0.50		0.50	
CMC oranı sabit, HP Oranı %1-%5 arasında değişken										
Bileşenler	HP6		HP7		HP8		HP9		HP10	
	W (g)	%	W (g)	%	W (g)	%	W (g)	%	W (g)	%
KAC	65		65		65		65		65	
HP	0.65	1	1.30	2	1.95	3	2.60	4	3.25	5
LK	0.065	0.1	0.065	0.1	0.065	0.1	0.065	0.1	0.065	0.1
Su	32.5		32.5		32.5		32.5		32.5	
KI	0.065	10	0.130	10	0.195	10	0.260	10	0.325	10
CMC	0.007	0.01	0.007	0.01	0.007	0.01	0.007	0.01	0.007	0.01
s/c	0.50		0.50		0.50		0.50		0.50	
$\% HP = W_{HP} * 100 / W_{KAC}$					$\% KI = W_{KI} * 100 / W_{HP}$					
$\% LK = W_{LK} * 100 / W_{KAC}$					$\% CMC = W_{CMC} * 100 / W_{KAC}$					
$W_{HP}$ : HP kütlesi, $W_{KAC}$ : KAC kütlesi, $W_{LK}$ : LK kütlesi, $W_{KI}$ : KI kütlesi, $W_{CMC}$ : CMC kütlesi										

**Tablo 4.** Yöntem II'ye göre hazırlanan harç tasarımları (~250 cm<sup>3</sup> için) (Mortar designs prepared according to Method II) (for ~250 cm<sup>3</sup>)

CMC ve HP oranı sabit; Perlit oranı %5-%20 arasında									
Bileşenler	P1		P2		P3		P4		
	W (g)	%	W (g)	%	W (g)	%	W (g)	%	
KAC	73.32		68.6		63.9		59.2		
PLT	3.90	5	7.80	10	11.7	15	15.6	20	
HP	1.47	2	1.37	2	1.28	2	1.19	2	
LK	0.073	0.1	0.06	0.1	0.06	0.1	0.05	0.1	
Su	36.66		34.3		31.9		29.6		
KI	0.15	10	0.14	10	0.13	10	0.12	10	
CMC	0.007	0.01	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	
İlave Su	9.75	2.5	19.5	5.0	29.2	7.5	39.0	10.	
s/c	0.50		0.50		0.50		0.50		
$\% Perlit = W_{perlit} * 100 / M_{KAC}$					$\% KI = W_{KI} * 100 / W_{HP}$				
$\% HP = W_{HP} * 100 / M_{KAC}$					$\% CMC = W_{CMC} * 100 / W_{KAC}$				
$\% LK = W_{LK} * 100 / M_{KAC}$					$\% İlavesu = W_{su} * 100 / W_{perlit}$				
$W_{perlit}$ : Perlit kütlesi					$W_{su}$ : İlave su kütlesi				

Yöntem III'de farklı köpük dozajlarının etkilerini görebilmek için 3 farklı harç tasarımı yapılmıştır (Tablo 5). Karışım tasarımında LK oranları sabit tutulmuştur.



**Tablo 5.** Yöntem III'e göre hazırlanan harç tasarımları (~1000 cm<sup>3</sup> taze harç için) (Mortar designs prepared according to Method III) (~1000 cm<sup>3</sup> for fresh mortar)

Köpük dozajı değişken						
Bileşenler	K1		K2		K3	
	W (g)	%	W (g)	%	W (g)	%
KAC	130		190		250	
K	70		60		50	
LK	0.13	0.1	0.19	0.1	0.25	0.1
Su	52		76		100	
İlave Su	308		284		260	
s/c	0.40		0.40		0.40	
k/c	0.54		0.32		0.20	
<i>k/c: Köpük/çimento oranı</i>						

Harçların karışımında el mikseri tipi karıştırıcı kullanılmıştır. Bileşenler 1 mg hassasiyetli elektronik terazi ile tartılmıştır. Her bir karışım tasarımı için 2 adet 40×40×160 mm prizma takımı ve ısıl iletkenlik testi için 1 adet Ø50 mm çaplı 100 mm yüksekliğinde çelik silindir kalıp kullanılmıştır. Karışıma önce karışım suyu, katı bileşenler ilave edilmiş ve 1 dak süreyle 75-80 d/dak hızla karıştırılmıştır. Sonrasında karışıma hidrojen peroksit ilave edilmiş ve 15 s süreyle yeniden karıştırılmıştır. Daha sonra karışım derhal kalıplara dökülmüştür (Şekil 1).

**Şekil 1.** Prizma kalıplara dökülmüş ve genişmiş hafif beton (Lightweight concrete poured into prism molds and expanded)

Numuneler 3 gün kalıpta bekletildikten ve yeterli dayanım kazandıktan sonra iklim kabininde 20 °C ve %95 bağıl nem ortamında kürlenmiştir (Şekil 2).

**Şekil 2.** İklim kabininde koşullandırılan prizma (a) ve silindirik (b) numuneler (Prism (a) and cylindrical (b) samples conditioned in climate cabin)

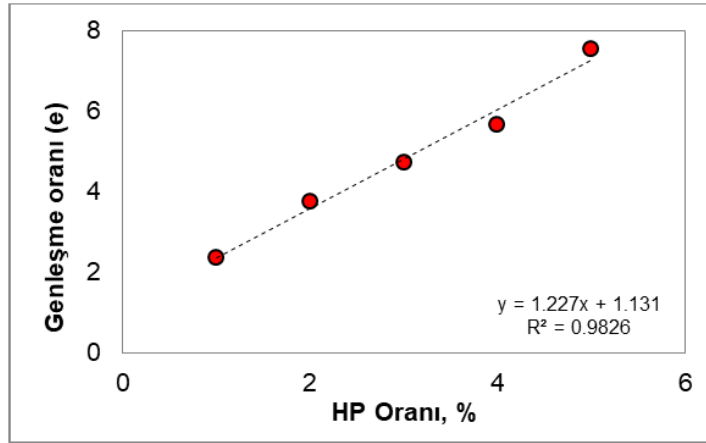
Kür süresini tamamlayan numuneler hava dolaşımli etüvde değişmez kütle kadar kurutulmuştur (Şekil 3).

**Şekil 3.** Hava dolaşımli etüvde değişmez kütle kadar kurutulan prizma numuneleri (Prism samples dried to a constant mass in an air circulation oven)

Değişmez kütleyle kadar kurutulan silindirik numuneler elmas testere ile 25 mm kalınlıkta, yüzeyleri paralel biçimde kesilerek 3'er adet ısı iletkenlik deney numunesi elde edilmiştir. Prizma numuneler kalıptan çıkarılmadan yüzeyleri düzeltilmiştir. Elde edilen numunelerin kuru yoğunlukları ( $D_{\text{Kuru}}$ ) TS EN 678, TS EN 1015-10 standartlarına göre, eğilme ve basınç dayanımları TS EN 1015-11 standardına göre ve ısı iletkenlik katsayıları TS EN 12664 standardına göre belirlenmiştir. Isıl iletkenlik katsayısı ölçümleri ısı akış ölçer yöntemine göre Lasercomp Fox 50 cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca numunelerin morfolojik özellikleri SEM görüntü çekimi yapılarak incelenmiştir.

### 3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

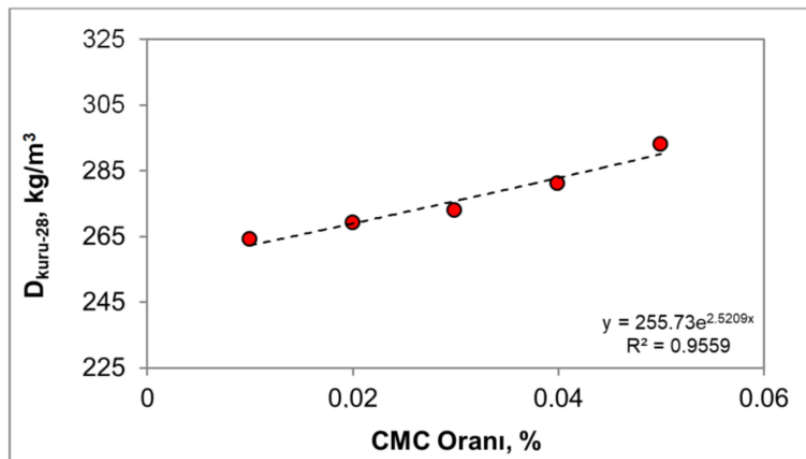
Yöntem I'e göre üretilen numunelerin hacimce genişleme oranları incelenmiş ve bulgular Şekil 4'de verilmiştir. Yöntem I kapsamında CMC oranlarından başka, diğer bileşen oranları sabit tutularak HP oranlarındaki artışın genişlemeye etkisi araştırılmıştır. HP oranı ve genişleme oranı arasında lineer bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. HP6, HP7, HP8, HP9 ve HP10 numunelerinde genişleme oranı sırasıyla 2.36, 3.77, 4.72, 5.66 ve 7.55 olarak hesaplanmıştır. Buradan çimento kütlelerinin %5'i oranında HP kullanımının hacmi 7.5 kat kadar artırdığı sonucuna varılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. HP oranı-genişleme oranı ilişkisi (Relationship between HP ratio-expansion ratio)

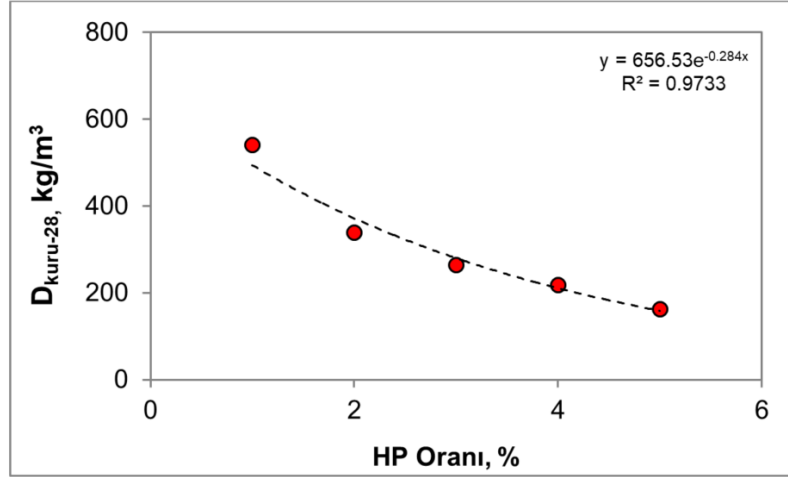
Yöntem II kapsamında HP oranı sabit tutularak farklı oranlarda perlit, çimentoya ikame edilerek kullanılmıştır. P1, P2, P3 ve P4'te oranlar sırasıyla çimento kütlelerinin % 5, 10, 15 ve 20'si iken karışımlardan aynı oranda çimento eksiltiştir. Karışımların genişleme öncesi ilk hacimlerinde lineer bir artış söz konusu iken nihai hacimlerinde ve bu duruma bağlı olarak genişleme oranı değerlerinde lineer bir azalma olmuştur (sırasıyla 4.15, 3.59, 3.08 ve 2.69). Bulgular sadece genişleme ve buna bağlı taze yoğunluk açısından değerlendirildiğinde, HP ile birlikte perlit kullanımının olumsuz bir etki yarattığını ortaya koymuştur.

Sabit HP oranında, farklı CMC oranlarına göre hazırlanan numunelerde CMC oranı artışına bağlı olarak kuru yoğunluk değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. HP1, HP2, HP3, HP4 ve HP5 için 28 günlük kuru yoğunlukları sırasıyla 264, 269, 273, 281 ve 293  $\text{kg/m}^3$ 'tür (Şekil 5).



Şekil 5. Sabit HP oranında CMC oranı- $D_{\text{kuru-28}}$  ilişkisi (Relationship between CMC ratio- $D_{\text{Dry-28}}$  at fixed HP ratio)

Sabit CMC oranında farklı HP oranlarının (HP6, HP7, HP8, HP9 ve HP10) kuru yoğunluk değerlerine etkisi hafif beton numuneleri üzerinde incelenmiştir. Bulgular değerlendirildiğinde, karışıma dâhil edilen HP miktarı arttıkça kuru yoğunluk değerlerinin üstel olarak azaldığı belirlenmiştir (Şekil 6). Bu numunelerde kuru yoğunluk değerleri sırasıyla 541, 339, 264, 218, 163 kg/m<sup>3</sup>tür.

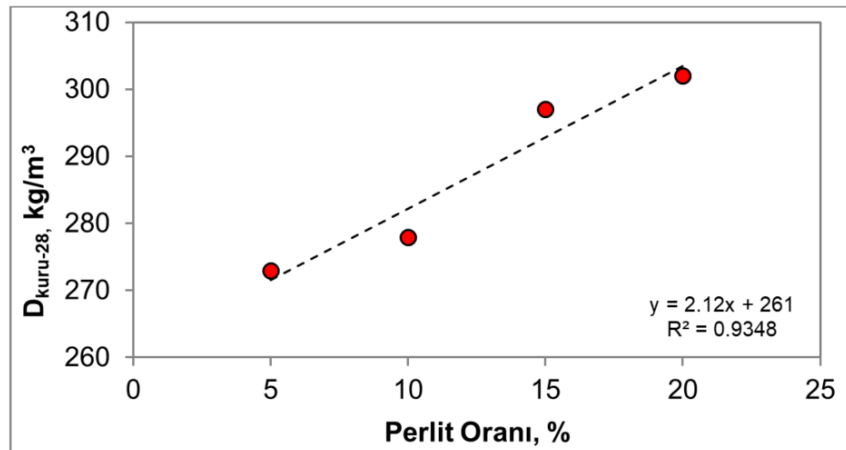


Şekil 6. Sabit CMC oranında HP oranı-D<sub>kuru-28</sub> ilişkisi (Relationship between HP ratio-D<sub>Dry-28</sub> at fixed CMC ratio)

CMC oranının %0.01'den %0.05'e artması, 28 günde numunelerin kuru yoğunluk değerlerinde %10 civarında bir artışa neden olmuştur. Bu durum, CMC oranındaki artışa bağlı olarak karışım kıvamı ve aderansındaki artışa, bu artışın HP - KI reaksiyonuyla açığa çıkan O<sub>2</sub>'nin çimento hamurunu kabartma etkisini baskılamasına dayandırılmıştır. HP oranındaki artış ise numunelerin kuru yoğunluk değerlerinin düşmesini sağlamıştır. HP'in her %1 oranındaki artışı kuru yoğunluk değerinde ortalama %25 oranında azalmaya neden olmuştur.

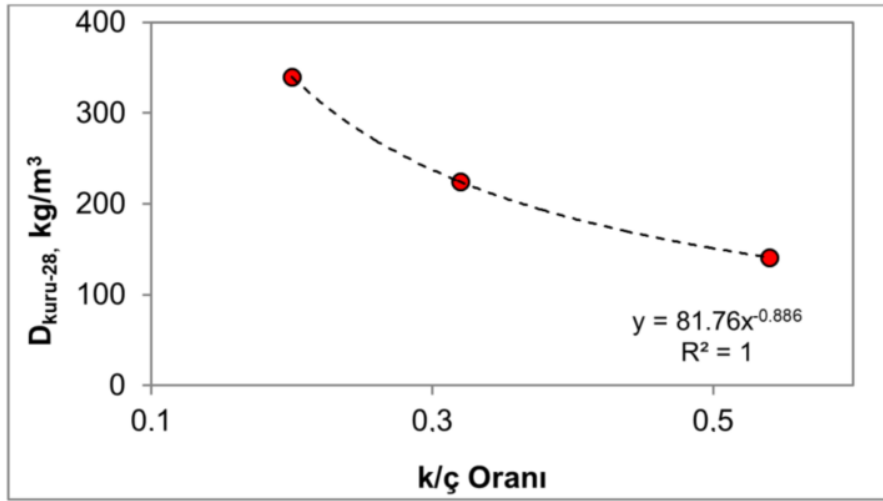
Sabit HP ve farklı perlit oranlarında hazırlanan hafif beton numunelerinin kuru yoğunluk bulguları incelenmiştir. Kuru yoğunluk değerleri perlit oranı artışına bağlı olarak bir miktar artmıştır. P1, P2, P3 ve P4 için kuru yoğunluk değerleri sırasıyla 273, 278, 297, 302 kg/m<sup>3</sup> tür (Şekil 7).

Perlit (+2 mm) çimentoya ikame edilerek kullanılmıştır. İkame edilen perlit miktarına eşdeğer çimento, karışımdan eksiltiştir. Perlit miktarı arttıkça numunelerin kuru yoğunluk değerlerinde %10'a varan oranda artış olmuştur. Bu durum, azalan çimento miktarına bağlı olarak genişleyen matris hacmindeki azalmayla (%10 civarında) ilişkilendirilmiştir.



Şekil 7. Perlit oranı-D<sub>kuru-28</sub> ilişkisi (Relationship between perlite ratio-D<sub>Dry-28</sub>)

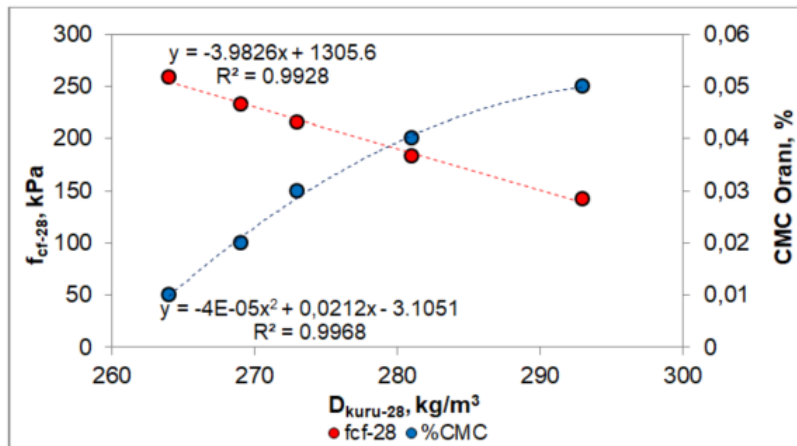
Yöntem III kapsamında, Yöntem I ve II'ye göre üretilen hafif beton numuneleriyle benzer kuru yoğunluk değerlerine sahip numuneler üretilmiştir. Bu amaçla köpük beton numunelerinde köpük dozajlarına göre farklı k/c oranlarında 3 grup numune dökülmüştür. Numunelerin kuru yoğunluk bulguları incelendiğinde, k/c oranındaki azalmaya bağlı olarak K1, K2 ve K3 hafif beton numunelerinin kuru yoğunluk değerleri sırasıyla 141, 225 ve 340 kg/m<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. k/c oranı-D<sub>kuru-28</sub> ilişkisi (Relationship between k/c ratio-D<sub>Dry-28</sub>)

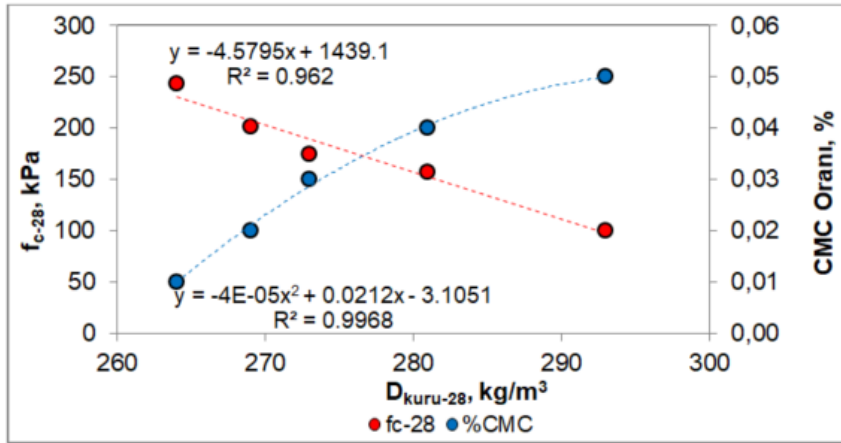
Normal şartlarda çimento dozajı ve s/c oranı değişmediğinde kuru yoğunluk ile eğilme ve basınç dayanım değerleri arasında doğru orantılı bir artış olması beklenir. Ancak Yöntem I'e göre üretilen hafif beton numunelerinde CMC oranı artışı sonucu kuru yoğunluk değerlerinin artmasıyla birlikte eğilme ve basınç dayanım değerleri azalmıştır. Bu sonuç, KAC içeren hafif betonlarda CMC'nin eğilme ve basınç dayanım değerlerini olumsuz yönde etkilediğini açık biçimde göstermiştir. Eğilme dayanımının basınç dayanımına göre daha yüksek oluşu CMC oranındaki artışla ilişkilidir. CMC oranı arttıkça eğilme ve basınç dayanımları azalmıştır. Ancak basınç dayanımındaki azalma eğilme dayanımına göre daha yüksektir. CMC selüloz türevli bir madde olması nedeniyle her ne kadar çimento hidratasyonunu olumsuz yönde etkilese de eğilme dayanımında kısmi bir katkısı olduğu ileri sürülebilir.

%0.01 CMC içeren HP1'in kuru yoğunluğu 264 kg/m<sup>3</sup> ve eğilme dayanımı 259 kPa iken, %0.05 CMC içeren HP5'te kuru yoğunluğu 293 kg/m<sup>3</sup>'e yükselmesinin karşılık basınç dayanım 142 kPa'a kadar azalmıştır. Bir başka deyişle %0.01 oranındaki CMC artışı eğilmede yaklaşık %10 oranında dayanım kaybına neden olmuştur (Şekil 9).



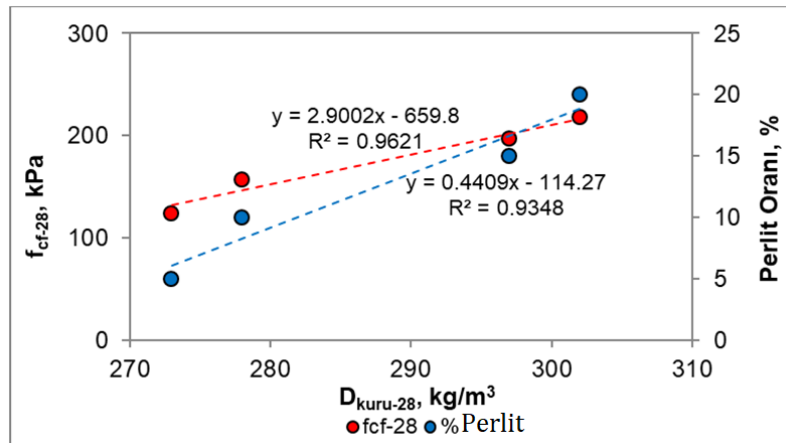
Şekil 9. f<sub>cf-28</sub>-D<sub>kuru-28</sub>-CMC oranı ilişkisi (Relationship between f<sub>cf-28</sub>-D<sub>Dry-28</sub> CMC ratio)

Benzer durum, basınç dayanımı değerleri içinde için de söz konusudur. % 0.01 CMC içeren HP1'in kuru yoğunluğu 264 kg/m<sup>3</sup> ve basınç dayanımı 243 kPa iken % 0.05 CMC içeren HP5'te kuru yoğunluğu 293 kg/m<sup>3</sup>'e yükselmesinin karşılık basınç dayanımı 100 kPa'a gerilemiştir. CMC oranındaki her % 0.01 oranındaki artış, basınç dayanımında %15-20 azalmaya neden olmuştur (Şekil 10). Dikkat çekici bir diğer nokta da eşdeğer kuru yoğunluklar için eğilme dayanımının, basınç dayanımından daha yüksek olmasıdır. Ayrıca CMC oranları %0.01, 0.02, 0.03, 0.04 ve 0.05 için eğilme dayanımı/basınç dayanımı oranları sırasıyla 1.07, 1.17, 1.23, 1.17 ve 1.42 olmuştur.



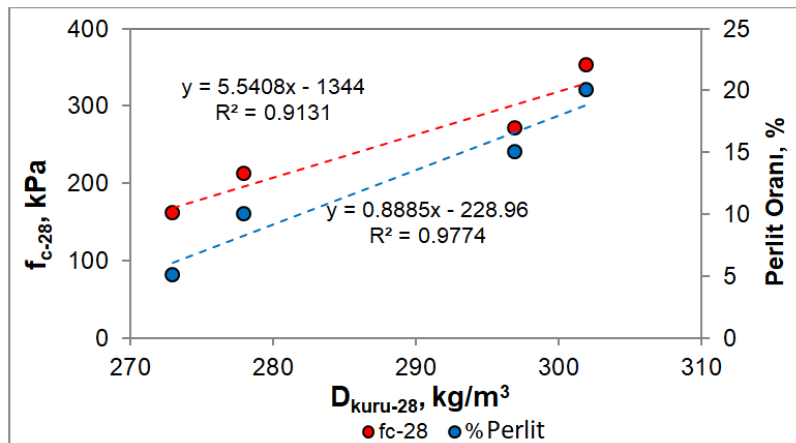
Şekil 10.  $f_{c-28}$ - $D_{kuru-28}$ -CMC oranı ilişkisi (Relationship between  $f_{c-28}$ - $D_{Dry-28}$  CMC ratio)

Yöntem II'ye göre üretilen hafif beton numunelerinde P1 (perlit oranı %5) kuru yoğunluğu 273 kg/m<sup>3</sup> iken P4'te (perlit oranı %20) 302 kg/m<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir. Buna karşılık eğilme dayanımı P1'de 124 kPa iken P4'te 218 kPa'a ulaşmıştır. Bir başka deyişle %15 oranından daha fazla perlit kullanımı kuru yoğunluğunu %10 artırırken eğilme dayanımını %75 oranında iyileştirmiştir (Şekil 11).



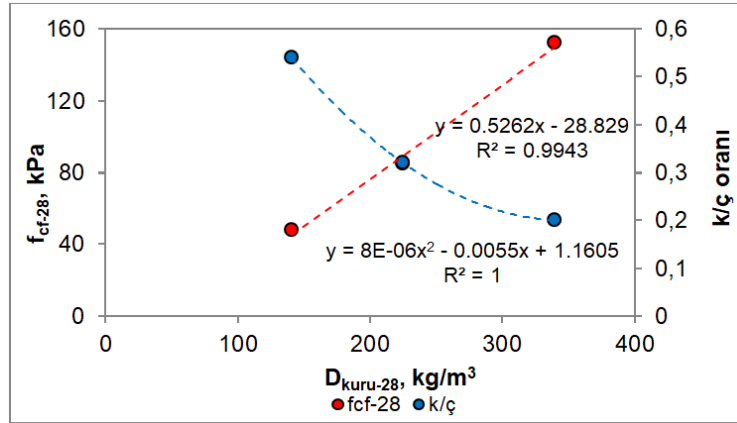
Şekil 11.  $f_{cf-28}$ - $D_{kuru-28}$ -perlit oranı ilişkisi (Relationship between  $f_{cf-28}$ - $D_{Dry-28}$ -perlite ratio)

Eğilme dayanımına göre basınç dayanımında iyileşme daha fazladır. Basınç dayanım P1'de 161 kPa iken P4'te 352 kPa değerine ulaşmıştır. Perlit kullanımında %15 artış kuru yoğunluğunu %10 artırırken basınç dayanımını %118 oranında iyileştirmiştir (Şekil 12). P1, P2, P3 ve P4 numunelerinin  $f_{cf-28}/f_{c-28}$  oranları sırasıyla 0.77, 0.74, 0.73 ve 0.62 olarak hesaplanmıştır.

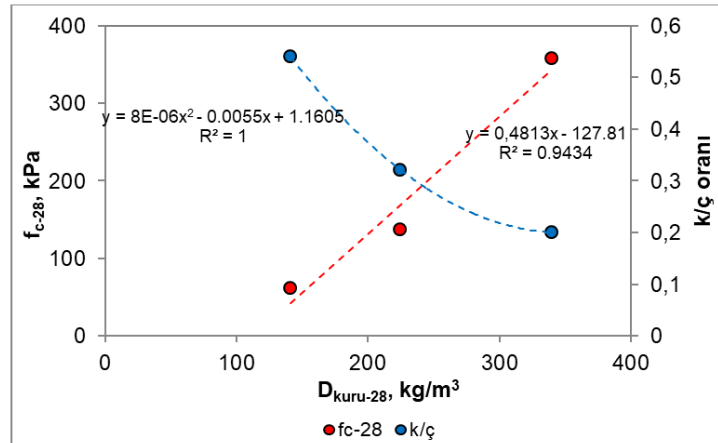


Şekil 12.  $f_{c-28}$ - $D_{kuru-28}$ -perlit oranı ilişkisi (Relationship between  $f_{c-28}$ - $D_{Dry-28}$ -perlite ratio)

Yöntem III'e göre üretilen hafif numunelerinde k/c oranı ve kuru yoğunluk arasındaki korelasyon oldukça yüksektir ( $r^2 = 1$ ). K1 ve K3 numuneleri karşılaştırıldığında, k/c oranının azalmasına bağlı olarak kuru yoğunluğu %141 oranında artarken eğilme dayanımı da %217 oranında iyileşmiştir. Aynı ilişki açısından basınç dayanımı incelendiğinde bu artış %587 oranındadır. Yani kuru yoğunluktaki artışa bağlı olarak eğilme dayanımı yaklaşık 2, basınç dayanımı ise 6 kat artmıştır (Şekil 13 ve 14). K1, K2 ve K3 numunelerinin  $f_{cf-28}/f_{c-28}$  oranları sırasıyla 0.79, 0.63 ve 0.42 tür.

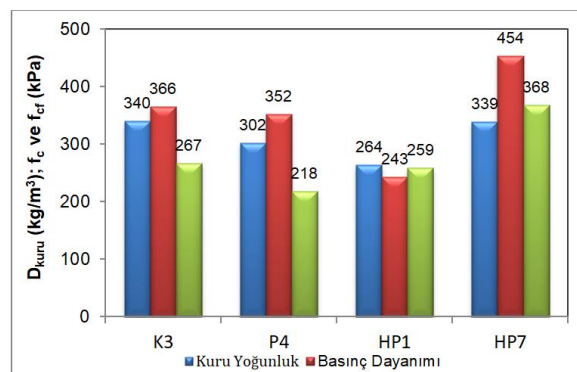


Şekil 13.  $f_{cf-28}$ - $D_{kuru-28}$ -k/c oranı ilişkisi (Relationship between  $f_{cf-28}$ - $D_{Dry-28}$ -k/c ratio)



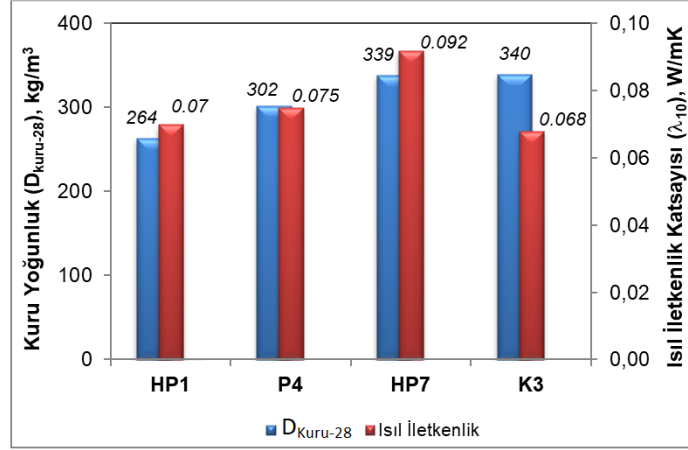
Şekil 14.  $f_{c-28}$ - $D_{kuru-28}$ -k/c oranı ilişkisi (Relationship between  $f_{c-28}$ - $D_{Dry-28}$ -k/c ratio)

Bulgular ışığında Yöntem I, II ve III'e göre üretilen hafif beton numuneleri içerisinde optimum fiziko-mekanik özellikleri sağlayan numuneler belirlenmiştir. Buna göre HP1, HP7, P4 ve K3 numuneleri hedef kriterlerin çoğuna uygunluk göstermiştir. HP1, HP7 ve P4 numunelerinde kuru yoğunluk ile basınç dayanımı arasında doğrusal bir ilişki vardır (sırasıyla 264  $kg/m^3$ -243 kPa, 339  $kg/m^3$ -454 kPa ve 302  $kg/m^3$ -352 kPa). Ancak K3'te basınç dayanımı, yüksek kuru yoğunluğuna rağmen beklenen seviyede artış göstermemiştir (340  $kg/m^3$ -366 kPa). Bu durumun köpük ajanının KAC hidratasyonuna olumsuz bir etkisinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. Optimum hafif beton numunelerinde  $D_{kuru}$ -  $f_c$ -  $f_{cf}$  ilişkisi ( $D_{dry-28}$ -  $f_c$ -  $f_{cf}$  relationship in optimum lightweight concrete samples)

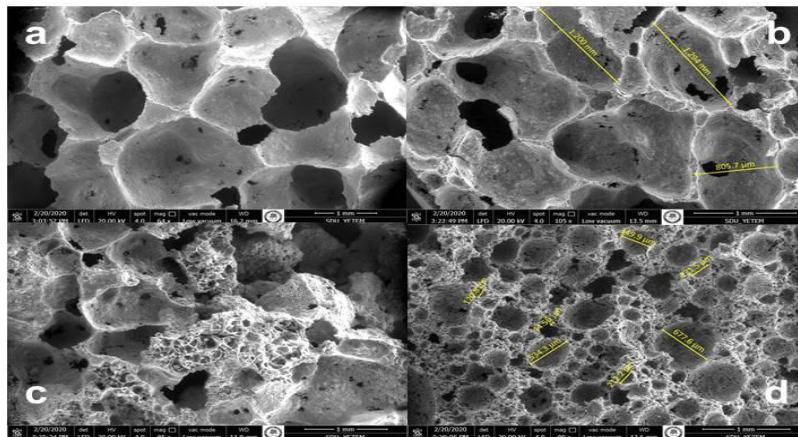
Hafif beton üretim yöntemlerinden optimum kuru yoğunluk ve basınç dayanımını sağlayan numunelerin (HP1, HP7, P4 ve K3) TS EN 12664 standardına uygun olarak, Isı akış ölçer yöntemine göre ısı iletkenlik katsayıları ( $\lambda_{10}$ ) ölçülmüştür. Ölçümler, SDÜ DEYMAM'da LaserComp Fox 50 cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Sıcak ve soğuk plakalar arasındaki  $\Delta T$ , 10 K olarak seçilmiş ve bulgular Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. Optimum özelliklerdeki hafif beton numunelerinde  $D_{kuru-28}$ - $\lambda_{10}$  ilişkisi ( $D_{dry-28}$ - $\lambda_{10}$  Relationship in optimum lightweight concrete samples)

Ulusal standartlarda (TS ve TS EN) ısı yalıtım malzemeleri için  $\lambda_{10}$  sınır değerleri mevcut değildir. Bununla birlikte uluslararası genel kabule göre  $\lambda_{10} \leq 0.065$  W/mK olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi,  $\lambda_{10} > 0.065$  W/mK olan malzemeler yapı malzemesi olarak tanımlanmaktadır (Karaağaç vd., 2016). Sınır değerleri gözetildiğinde HP1, HP7, P4 ve K3 numuneleri yapı malzemesi sınıfına girmektedir. Ancak K3 ve HP1 numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları (sırasıyla 0.068 ve 0.070 W/mK) ısı yalıtım malzemesi üst sınırına oldukça yakındır. Hâlbuki kuru yoğunlukları K3'e çok yakın olan HP7'nin ısı iletkenliği çok daha yüksektir (0.092 W/mK). Genleştirme maddesi olarak HP kullanılan HP1, HP7 ve P4 numunelerinde ısı iletkenlik katsayısı kuru yoğunluğu ile ilişkiliyken K3'te bu ilişki bozulmuştur (Şekil 16).

Optimum hafif beton numunelerinin boşluk yapısı ve özellikleri hakkında bilgi edinebilmek için SDÜ YETEM'de SEM görüntüleri alınmıştır (Şekil 17). HP1 numunesinin SEM görüntüsü incelendiğinde gözenek dağılımının homojen ve yaklaşık olarak küresel formda hücrelerden oluştuğu görülmektedir. Bununla birlikte boşluk boyutları 1 mm'den büyük ve gözeneklerin bir kısmı birbirleriyle bağlantılıdır. HP7 numunesinde de boşluk boyutları ağırlıklı olarak 1 mm'den büyüktür. Bununla birlikte HP1'e göre yarı küresel hücre yapısı bozulmuş olup gözenekler arası bağlantıyı oluşturan kanalların daha yaygın olduğu görülmektedir. P4 numunesinde genel olarak yarı küresel gözenek formu bozulmuştur. Bu durumun, karışıma dâhil olan perlit agregasından kaynaklandığı görüntüden anlaşılmaktadır. Ayrıca perlit agregaları görüntüde net bir biçimde ayırt edilebilmektedir. Perlit agregaları haricinde hacmi dolduran hücrelerin neredeyse tamamı birbirleriyle bağlantılıdır. K3 numunesinde hücre boşluklarının farklı büyüklükte küresel formda olduğu görülmektedir. Boşluk boyutlarının önemli bir bölümü 500  $\mu$ m'den daha küçüktür. Hatta boyutları 100  $\mu$ m'den daha küçük hücreler, yapı içerisinde önemli oranlarda mevcuttur.



Şekil 17. Hafif beton numuneleri SEM görüntüleri (SEM images of lightweight concrete samples) (HP1: a; HP7: b; P1: c ve K3: d)

SEM görüntüleri incelendiğinde, hafif beton numuneleri içerisinde en küçük gözenek boyutunu ve en homojen hücre dağılımını K3 numunesi sergilemiştir. Ayrıca bu numunede bağlantılı boşluklar, diğer numunelere göre daha azdır. Isıl yalıtım malzemelerinde ısı iletkenlik katsayısı, kuru yoğunluk ile yakından ilişkilidir. Bununla birlikte gözenek boyutlarının ısı iletkenliğe etkisi de göz ardı edilmemelidir. Kuru yoğunluk değerine olan etki daha çok katılarda görülen ısı iletimi ile ilişkilendirilebilirken, gözenek boyutu gazlarda görülen ısı taşınımı (konveksiyonla iletim) ile ilişkilendirilebilir. Bu durum, K3 numunesinin ısı iletkenlik katsayısının neredeyse aynı yoğunluk değerine sahip olan HP7 numunesinden yaklaşık %30 oranında düşük olma nedenini açıklamaktadır.

#### 4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışma kapsamında, KAC bağlayıcı hafif betondan kuru yoğunluğu  $500 \text{ kg/m}^3$ ,  $\lambda_{10} \leq 0.065 \text{ W/mK}$ ,  $f_c \geq 250 \text{ kPa}$ , yanma direnci A1 sınıfı ve konvansiyonel yalıtım malzemeleri ile rekabet edebilir ürünlerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Numuneler 3 farklı yöntemle üretilmiştir. Yöntem I'de genleştirme maddesi olarak hidrojen peroksit kullanılmış, Yöntem II'de hidrojen peroksit oranı azaltılarak, karışıma genleştirilmiş perlit ilave edilmiş ve Yöntem III'de ise hafif beton, karışıma köpük ilavesiyle elde edilmiştir.

Yöntem I'e göre üretilen numunelerde artan CMC oranı genleşme katsayısına etkilememiştir (tüm numunelerde  $e=4.72$ ). Ancak aynı yöntemde HP oranındaki artışa bağlı olarak genleşme katsayısı da lineer olarak artmıştır. Çimento kütlesinin %5 oranında HP kullanımı hacmi 7.5 kat kadar artırmıştır. Yöntem II'de sabit HP oranında ve çimento ile yer değiştirme yöntemine göre ilave edilen perlit miktarında %5, %10, %15 ve %20 artışta genleşme oranları sırasıyla 4.15, 3.59, 3.08 ve 2.69 olarak gerçekleşmiştir. ~~PLT~~ Perlit oranı-genleşme oranı arasında ters orantı söz konusudur. Bu sonuç karışımda artan perlit miktarının HP'nin genleşme etkisini bastırıldığını açık bir biçimde ortaya koymuştur.

Sertleşmiş beton numunelerinde CMC oranındaki artış, kuru yoğunluk değerlerinde de artışa neden olmuştur. Bu artış, priz süresindeki artan gecikmeye bağlı gelişen hacim kaybıyla ilişkilendirilmiştir. Bulgular optimum CMC oranının %0.01 olarak seçilmesini desteklemiştir. Yöntem I kapsamında üretilen HP6 numunesi haricindeki numunelerde kuru yoğunluğun  $\leq 500 \text{ kg/m}^3$  hedefini sağlamıştır. Bulgular, KAC çimentolu hafif beton eldesinde kuru yoğunluğun  $\leq 500 \text{ kg/m}^3$  hedefi için HP oranının en az %2 olarak seçilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Yöntem I'e göre üretilen hafif beton numunelerinde HP oranı artışı sonucu kuru yoğunluk değerlerinin azalmasıyla, eğilme ve basınç dayanımları da önemli oranda azalmıştır. Eğilme dayanımı değerleri için kuru yoğunluklardaki her  $100 \text{ kg/m}^3$ lük azalma,  $\approx 180 \text{ kPa}$ 'lık dayanım kaybına neden olmuştur. Kuru yoğunluklardaki azalma numunelerinin basınç dayanım değerlerini olumsuz etkilemiştir. Kuru yoğunluklarda her  $100 \text{ kg/m}^3$ lük azalma basınç dayanımında ortalama  $380 \text{ kPa}$ 'lık azalışla sonuçlanmıştır. Yöntem II'ye göre üretilen hafif beton numunelerinde %15 oranında perlit kullanımı kuru yoğunluğu %10 artırırken, eğilme dayanım değerlerini %75 oranında iyileştirmiştir. %15 oranında perlit kullanımı basınç dayanım değerlerini de %118 oranında iyileştirmiştir. Yöntem III'e göre üretilen hafif beton numunelerinden K1 ve K3 numuneleri karşılaştırıldığında, köpük/çimento oranının azalmasına bağlı olarak kuru yoğunluğu %141 oranında artarken, eğilme dayanımını da %217 oranında artırmıştır. Aynı ilişki açısından basınç dayanımı değerleri incelendiğinde bu artış %587 değerindedir.

Hafif beton numuneleri içerisinde optimum fiziko-mekanik özellikleri sağlayan numuneler, Yöntem I'den HP1 ve HP7, Yöntem II'den P4 ve Yöntem III'den ise K3 numunesi olarak belirlenmiştir. Numunelerde  $0.065 \text{ W/mK}$  hedefi sağlanamamıştır. Bununla birlikte K3 ve HP1 numunelerinin ısı iletkenliği (sırasıyla  $0.068$  ve  $0.070 \text{ W/mK}$ ) ısı yalıtım malzemesi üst sınırına oldukça yakındır. HP1, HP7 ve P4 numunelerinde genleştirme maddesi olarak HP kullanılmış olup bu numuneler için ısı iletkenlik katsayısı değerleri kuru yoğunluk ile ilişkiliyken, K3'te bu ilişki bozulmuştur. Numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde numunelerin ısı iletkenlik değerlerinin yalnızca kuru yoğunluk ile değil aynı zamanda gözenek boyutlarıyla da ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. K3 numunesinin ısı iletkenlik katsayısı değerinin neredeyse aynı kuru yoğunluğa sahip olan HP7 numunesinden yaklaşık % 30 oranında düşük olma nedenini açıklamaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma kapsamında KAC ile 3 farklı yöntemle  $\lambda_{10} \leq 0.065 \text{ W/mK}$  hedefi tam olarak sağlanamamıştır. Bununla birlikte kuru yoğunluğu  $350 \text{ kg/m}^3$  altında ve basınç dayanımı  $\geq 250 \text{ kPa}$  olan hafif beton numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. KAC çimentolu hafif beton eldesinde HP ve köpük kullanımı karşılaştırıldığında; HP kullanımında daha hafif ve daha yüksek dayanımda hafif beton yapılabilmekte iken gözenek boyutları daha büyük ve dolayısıyla ısı iletkenlik değerleri daha yüksektir. Buna karşılık köpük kullanımında kuru yoğunluklar artmakta ancak gözenek boyutu daha küçük ve homojen dağılıma sahip olması nedeniyle ısı iletkenlik azalmaktadır.



## Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma TÜBİTAK 118M091 nolu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir. Yazarlar TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederler.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

## Kaynaklar (References)

- Bizzozero, J., 2014. Hydration and Dimensional Stability of Calcium Aluminate Cement Based Systems. Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL), Ph.D. Thesis, 189p, Lausanne.
- Çetin, C., Delibaş, T., Kırca, Ö., Yaman, İ., Ö., 2015. Köpük Beton İmalatlarında Kalsiyum Alüminat Çimentosu Kullanımı, 9. Ulusal Beton Kongresi, 16-18 Nisan, Antalya, 163-170.
- ÇİMSA A. Ş., 2020. ISIDAÇ 40 Calcium Aluminate Cement Building Chemicals Applications. Erişim Tarihi: 15.01.2020. <https://www.cimsa.com.tr/ca/docs/4FE58AA58E3A4B7B85FA9E4EE011A8/5D52AAA7A978476984B32DCB0B058D42.pdf>.
- Davraz, M., Kılınçarslan, Ş., Koru, M. Koru, 2015. Farklı Yoğunluktaki Köpük Betonların Dayanım ve Isıl İletkenlik Özellikleri, 9. Ulusal Beton Kongresi, 16-18 Nisan, Antalya, 93-102.
- Engin, C., 2018. Farklı Tane Boyutlu Genleştirilmiş Perlit Agregası ile Üretilen Ultra Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65s, Van.
- Kan, Y., Pei, K., Cheng, M., 2017. A Study of Fracture Properties of High Alumina Shielding Concrete (HASC). 24th Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, August 20-25, Busan, Division I: 10p.
- Karaağaç İ., Durmuş G., Uluer O., Aktaş M., Tülü F. A., 2016. Kompozit ısı yalıtım levhalarında ısı iletim katsayısı tespit yaklaşımları. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 3, No 1, s. 133-142.
- KNOPP Group, 2020. CONTOPP® Foambuilder SFS3. Erişim Tarihi: 15.01.2020. [http://www.knopp-hemie.com/main/getfile.php?download\\_id=349&language=english](http://www.knopp-hemie.com/main/getfile.php?download_id=349&language=english).
- Mangabhai, R. J. (Ed.) (1990). Calcium Aluminate Cements. Chapman and Hall, 396p, New York.
- Ramamurthy, K., Nambiar, E. K., Ranjani, G. I. S., 2009. A Classification of Studies on Properties of Foam Concrete. Cement and Concrete Composites, 31 (6), 388-396.
- Scrivener, K. L. (2003). Calcium Aluminate Cements. In Newman, J., Choo, B. S. (Eds.), Advanced Concrete Technology Constituent (2/1-2/30), Elsevier Ltd, Oxford.
- Sucu, M., Delibaş, T., 2015. Kalsiyum Alüminat Çimentosu Bazlı Tamir Betonları. Hazır Beton Dergisi, 131, 88-94.
- TS EN 1015-10, 2001. Kâgir Harcı-Deney Metotları-Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlesinin Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 1015-11, 2000. Kâgir Harcı-Deney Metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 12664, 2009. Yapı malzemeleri ve mamulleri - Isıl direncin, korumalı tablalı ısıtıcı ve ısı akı ölçerinin kullanıldığı metotlarla tayini - Isıl direnci orta ve düşük seviyede olan kuru ve rutubetli mamuller, TSE, Ankara.
- TS EN 206, 2014. Beton - Özellik, performans, imalat ve uygunluk, TSE, Ankara.
- TS EN 678, 1995. Gaz ve köpük beton-Kuru yoğunluk tayini, TSE, Ankara.
- Orcay, E. A., 2010. Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isıl İletkenlik Katsayıları. İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67s, İstanbul.
- Vilches, J., Ramezani, M., Neitzert, T., 2012. Experimental Investigation of the Fire Resistance of Ultra Lightweight Foam Concrete. International Journal of Advanced Engineering Applications, 1 (4), 15-22.



## KÜRESEL BULANIK KÜMELER İLE GÜVENİLİRLİK ANALİZİ

Esra ÇAKIR\*, Ziya ULUKAN

Galatasaray Üniversitesi, Mühendislik ve Teknoloji Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Küresel Bulanık Sayılar,  
Bulanık Mantık Güvenilirlik  
Analizi,  
Geri Dönüşüm Tesisi  
Güvenilirlik Değerlendirmesi,  
Sürdürülebilir Çevre.*

### Öz

Geri dönüşüm süreci, sürdürülebilir bir çevre için atık yönetiminde önemli bir adımdır. Ancak, geri dönüşüm sürecindeki bazı adımlar insan sağlığı için risk oluşturabilir. Depolamada yetersizlik nedeniyle açık alanda uzun süre kalan oksitler çevreyi tehdit edebilir. Makinelerde oluşan insan veya yazılım kaynaklı hatalar nedeniyle zehirli atıklar çevreye yayılabilir. Bu nedenle, geri dönüşüm tesislerinde oluşabilecek birçok problemi öngörebilmek ve doğru çalışma sürecini tasarlayabilmek için sistem güvenilirliği şarttır. Bu çalışmada, geri dönüşüm tesislerinin sistem güvenilirliği için bir yöntem önerilmiştir. Güvenilirliği ölçmek için alanında uzman kişilerce ölçütler ve sistemin bu ölçütlere uygunluğu belirlenir. Bu bilgilere bağlı olarak güvenilirlik göstergesi hesaplanır. Performans önem göstergesi hesaplanarak kritik durumda olan ve güvenilirliği etkileyen en riskli gruplar tespit edilir. Önerilen yöntemde ölçüt değerlendirmelerinde küresel bulanık sayılardan yararlanılmaktadır. Bulanık ifadelerle oluşturulan performans ve güvenilirlik göstergeleri kullanılarak sistemin güvenilirlik seviyesi belirlenmiştir. Böylece, sistem güvenilirliğini etkileyen öncelikli sorunlar tespit edilmiştir. Uygulama için literatürde var olan bir çalışmadan yararlanılmış, analizin geçerliliğini göstermek için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## RELIABILITY ANALYSIS WITH SPHERICAL FUZZY SETS

### Keywords

*Spherical Fuzzy Set,  
Fuzzy Logic Reliability  
Analysis,  
Recycling Facility Reliability  
Evaluation,  
Sustainable Environment.*

### Abstract

The recycling process is an important step in waste management for a sustainable environment. However, some steps in the recycling process can pose a risk to human health. Oxides that remain in the open area for a long time due to insufficient storage may threaten the environment. Toxic wastes can spread to the environment due to human or software errors that occurs in the machines. Therefore, system reliability is essential to predict many problems that may arise and to design the correct working process in recycling facilities. In this study, an alternative method is proposed for the system reliability of recycling facilities. In order to measure reliability, the criteria and compliance of the system with these criteria are determined by the experts. Depending on their information, the reliability index is calculated. By calculating the performance importance index, the most risky groups that are in critical condition and affect reliability are identified. Spherical fuzzy numbers are used in the proposed method to evaluate criteria. The reliability level of the system is determined by using performance and reliability indices created with fuzzy expressions. Thus, main problems affecting system reliability are identified. In application, a study in the literature is used and the results are compared to show the validity of the analysis.

### Alıntı / Cite

Çakır, E., Ulukan, Z., (2021). Küresel Bulanık Kümeler ile Güvenilirlik Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 230-239.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Çakır, 0000-0003-4134-7679  
Z. Ulukan, 0000-0003-4805-2726

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	05.07.2020
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	03.01.2021
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	18.01.2021
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

\* İlgili yazar / Corresponding author: ecakir@gsu.edu.tr, +90-212-227-4480

## 1. Giriş (Introduction)

Geri dönüşüm tesisleri, sürdürülebilir çevreye katkılarından dolayı atık yönetiminde önemli bir role sahiptir. Artık kullanılmayacak materyallerin geri dönüştürülerek kullanılması ekonomik, çevresel ve sosyal anlamda yerküreye önemli katkı sağlamaktadır. Fakat atık yönetimindeki bazı süreçlerde meydana gelebilecek aksaklıklar çevreye sağlanan faydanın yanında zarara neden olabilir. Örneğin, bir geri dönüşüm tesisinde depolama sorunlarından dolayı ortaya çıkacak fazla atık, zehirli maddeler üretilmesine sebep olabilir. İnsan veya makine arızası nedeniyle zehirli atık temiz sulara salınabilir. Bu nedenle, geri dönüşüm tesislerinde sistemin güvenilirlik ölçümleri düzenli olarak yapılmalıdır. Sistemde olası arızalar tespit edilmeli, güvenilirliğe etkisi araştırılmalı, sistem performansı değerlendirilmeli ve iyileştirme çalışmaları başlatılmalıdır. Performans değerlendirilmesinde kesin olmayan durumlar veya belirsiz görüşleri ifade eden değerlerden yararlanmakta fayda vardır. Bu nedenle literatürde birçok çalışmada belirsizlik durumlarını ifade etmek için kullanılan bulanık sayılar performans değerlendirilmesinde kullanılabilir. Böylece güvenilirlik hesabında uzman görüşleri daha anlamlı ifadelerle analiz edilmiş olur.

Bu çalışmanın amacı, bir geri dönüşüm tesisinde süreçlerde meydana gelebilecek ve güvenilirliği etkileyebilecek arızaları tespit etmek, etkisini araştırmaktır. Sorunların çözümüne öncelik verilmesi için güvenilirliği artıracak durumların belirlenmesi gerekir. Öncelik belirlemede küresel bulanık sayılardan yararlanılarak yeni bir bulanık güvenilirlik analizi ile literatüre katkı sağlanmıştır.

Makalenin genel yapısı şu şekildedir: Bölüm 2, literatürde çalışmayla ilgili son yayınları vurgulamaktadır. Bölüm 3, bulanık güvenilirlik göstergesi ve küresel bulanık sayılarla performans önem göstergesini öneren metodolojiyi sunar. Bölüm 4'te literatürde yer alan bir çalışmanın verilerinden yararlanılarak (Çakır ve Ulukan, 2019), geri dönüşüm tesisi için önerilen yöntem uygulanmıştır. Uygulamada tesisin sistem güvenilirlik göstergeleri hesaplanması ve bunların güvenilirlik üzerindeki etkilerinin önerilen yöntem kullanılarak araştırılması esas alınmıştır. Bölüm 5'te, literatürde var olan çalışmanın sonuçları ile bu çalışmanın sonuçları karşılaştırılmış, yorumlanmıştır. Son olarak, çalışmanın genel değerlendirmesi ve gelecek çalışmalar için öneriler Bölüm 6'da verilmektedir.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Son elli yıl içinde güvenilirlik analizinde kullanılan yöntem ve teoriler hızla gelişmiştir ve birçok araştırma makalesine konu olmuştur (Chadna ve Ram, 2014). Dilbilimsel metodoloji, gerçek dünya sorunlarıyla ilgili karar verme, modelleme ve hazırlık için önemli bir yardımcıdır. Şimdiye kadar bulanık mantık ve güvenilirlik teorisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Cheng ve Mon, 1993; Kahraman, 2006; Kai-Yuan vd., 1991; Ross, 2009; Zadeh, 1975). Bu araştırmacılar, süreç mimarisinde bulanık başarı/ başarısızlık, kalite ve maliyet gibi diğer faktörleri tanıtmışlardır.

1965 yılında, Zadeh tarafından önerilen ve  $[0, 1]$  aralığında değerler alabilen bulanık mantığın tanıtılmasından sonra, bulanık parametrelerle ilgili çalışmalar hız kazanmıştır (Zadeh, 1965). Fakat zamanla yetersiz kaldığı noktalar keşfedilerek araştırmacıların çoğu tarafından eleştirilmektedir. Üyelik işlevlerinin tam gerçek sayılarla eşleştirilmesi sorunu için üyelik alanlarının sınırları bulanık olarak kabul edilmesi önerilmiş ve böylece ikinci dereceden bulanık kümeler (tip-2) (Zadeh, 1975) tanıtılmıştır. Daha sonra literatürde farklı bulanık küme uzantıları önerilmiştir. Örneğin, sezgisel bulanık kümeler kümeler Atanassov tarafından tanıtıldı (Atanassov, 1986; Atanassov, 1989) ve üye olmama derecesini belirleme durumunun olabileceğini belirterek, DM'lerin kararsızlık derecesinin olması gerektiği vurgulandı. Yager, bulanık çoklu kümeler kavramını literatüre ekledi (Yager, 1986). Bu çoklu setlerde, bir üye aynı veya farklı üyelik derecelerine sahip aynı kümeye ait olabilir. 1999'da Smarandache, belirsiz ve tutarsız bilgiler içeren problemlerle başa çıkmak için "neutrosophic" setleri tanıttı (Smarandache, 1999). Garibaldi ve Özen üyelik fonksiyonlarının zamanla değişebileceğini ve dinamik bir ortam içerebileceğini düşünüyordu ve böylece "nonstationary" bulanık kümeler, uzmanların neden olduğu değişkenliği modellemek için bulanık bir sistemin üyelik işlevlerine belirsizlik eklemek için geliştirildi (Garibaldi ve Özen, 2007). Daha sonra "hesitant" bulanık kümeler kavramı literatüre ilk olarak Torra tarafından tanıtılmıştır (Torra, 2010). Sezgisel bulanık kümelerin bir uzantısı olarak, "Pythagorean" bulanık kümeler Yager tarafından tanıtıldı (Yager, 2013). Bu bulanık uzantılar ışığında, karar vericiler için daha geniş bir tercih alanı sağlamak için Kutlu Gündoğdu ve Kahraman tarafından yeni bir bulanık küme olan küresel bulanık sayılar kavramı geliştirilmiştir (Gündoğdu ve Kahraman, 2019). Bu bulanık küme tanımı ile, karar vericiler üyelik ve üyelik dışı derecelerden bağımsız olarak bir kritere göre alternatif hakkında tereddüt bilgilerini atayabilirler. Küresel bulanık sayılar, üyelik derecesi, üye olmama derecesi ve tereddüt derecesinin karesi toplamının bire eşit veya küçük olması koşulunu karşılar.

Bulanık mantıktan yararlanan güvenilirlik konusundaki çalışmalarına bakıldığında; 1994'te Utkin, hata ve tamir için bulanık zaman konseptini kullanarak; "bulanık zamana bağlı kullanılabilirlik ve kullanılamazlık" ve "bulanık

operasyonel kullanılabilirlik ve kullanılamazlık” kavramlarını tanıtmıştır (Utkin, 1994). Aynı yıl, yapay zekâ metodolojisi kullanılarak performans testi yönteminin bir özetini sunmuştur (Utkin, 1994). 2003’te Jiang ve Chen mühendislik problemlerinin çözümüne odaklanan bulanık bir tutarlılık modelini göstermektedir. Bu hesaplama modelinin teorik temeli, sayısal değişimle geleneksel olasılığın empirik formunu kullanarak bulanık olasılığın hesaplanmasının mümkün olmasıdır (Jihang and Chen, 2003). 2005’te Noore ve Cross, sistem performansı şablonu olarak bulanık işlem tabanlı güvenilirlik çerçevesi kullandılar. Bu sayede merkezi olmayan ve homojen olmayan bilgisayar ağlarının genel kapasite tabanlı güvenilirliğini ölçtüler (Noore ve Cross, 2005). Cihazın çıktı başarısızlık oranını açıklamak için bulanık güvenilirlik değerlendirme (FGDY) yöntemi kullanılmıştır. Bulanık güvenilirlik göstergesi (BGG) ise uzmanlar tarafından farklı parametreler için performans puanları ve ağırlıkları şeklinde belirlenen dilsel değişkenlerle ifade edilmiştir. Sürecin tutarlılığı çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yöntemleri kullanılarak ölçülmüştür (Noore ve Cross, 2005). 2014’te Tyagi, ara değerli ezgisel bulanık kümeleri kullanarak güç tezgâhının performans değerlendirmesini incelemiştir (Tyagi, 2014). 2015’te De-zi ve Na bulanık sayılara bağlı olarak aero-jenerik performansı tahmin etmek için bir yöntem geliştirmiştir (De-zi ve Na, 2015). Yine 2015’te Gao ve Xie, bulanık paralel mekanik sistemler için dinamik performans modellerini kurdular (Gao ve Xie, 2015). Tu ve diğerleri, Markov Zinciri temelli hata ağacı tekniğini kullanarak güvenlik açısından kritik sistem tutarlılığı değerlendirme modelinin kapsamlı bir çalışmasını yayınlamıştır (Tu vd., 2015).

Bu çalışma, kaynak araştırması ışığında, sistem güvenilirlik düzeyini hesaplamak için yeni bir bulanık güvenilirlik modeli geliştirmekte ve güvenilirliği etkileyen temel sorunu bulmada literatüre katkıda bulunmaktadır.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

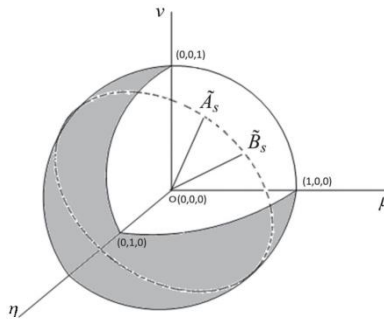
Bu bölümde, küresel bulanık sayılar ile önerilen yöntemin tanımları verilmiştir. Ardından uygulama adımları gösterilmiştir.

#### 3.1. Matematiksel Model (Mathematical Model)

**Tanım 1:** (Gündoğdu ve Kahraman, 2019)  $X$  sıradan sabitlenmiş bir küme olsun,  $X$  üzerinde tanımlanan küresel bulanık bir küme (KBK) olan  $\tilde{A}$ :

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x), \eta_A(x), v_A(x)) | x \in X\} \tag{1}$$

$\mu_{\tilde{A}}(x)$ ,  $\eta_{\tilde{A}}(x)$  ve  $v_{\tilde{A}}(x)$  sırasıyla pozitif üyelik derecesini, nötr üyelik derecesini ve negatif üyelik derecesini temsil eder ve  $\mu_{\tilde{A}}(x), \eta_{\tilde{A}}(x), v_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]$  ve  $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x)^2 + \eta_{\tilde{A}}(x)^2 + v_{\tilde{A}}(x)^2 \leq 1$  koşullarını sağlar.  $\tilde{A}$ ’nın ret derecesi  $\pi_{\tilde{A}}(x) = \sqrt{1 - \mu_{\tilde{A}}(x)^2 - \eta_{\tilde{A}}(x)^2 - v_{\tilde{A}}(x)^2}$  olarak ifade edilir.  $(\mu_{\tilde{A}}(x), \eta_{\tilde{A}}(x), v_{\tilde{A}}(x))$  ifadesi basitçe  $\alpha = (\mu, \eta, v)$  şekilde gösterilebilen küresel bulanık sayı (KBS) olarak adlandırılır. Şekil 1’de küresel bulanık küme görselleştirilmiştir.



**Şekil 1.** Küresel bulanık sayı geometrik gösterimi (Geometric representation of spherical fuzzy number) (Gündoğdu ve Kahraman, 2019).

**Tanım 2:** (Gündoğdu ve Kahraman, 2019)  $\alpha_1 = (\mu_1, \eta_1, v_1)$  ve  $\alpha_2 = (\mu_2, \eta_2, v_2)$  herhangi iki KBS olsun ve  $\lambda$  pozitif gerçek sayı olsun, öyleyse:

$$\alpha_1 \oplus \alpha_2 = \{\sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2 - \mu_1^2 \mu_2^2}, \eta_1 \eta_2, \sqrt{(1 - \mu_2^2)v_1^2 + (1 - \mu_1^2)v_2^2 - v_1^2 v_2^2}\} \tag{2}$$

$$\alpha_1 \otimes \alpha_2 = \{\mu_1 \mu_2, \sqrt{\eta_1^2 + \eta_2^2 - \eta_1^2 \eta_2^2}, \sqrt{(1 - \eta_2^2)v_1^2 + (1 - \eta_1^2)v_2^2 - v_1^2 v_2^2}\} \tag{3}$$

$$\lambda \alpha_1 = \{\sqrt{1 - (1 - \mu_1^2)^\lambda}, \eta_1^\lambda, \sqrt{(1 - \mu_1^2)^\lambda + (1 - \mu_1^2 - v_1^2)^\lambda}\} \tag{4}$$

$$\alpha_1^\lambda = \{\mu_1^\lambda, \sqrt{1 - (1 - \eta_1^2)^\lambda}, \sqrt{(1 - \eta_1^2)^\lambda + (1 - \eta_1^2 - v_1^2)^\lambda}\} \quad (5)$$

Küresel bulanık sayı olan  $\alpha = (\mu, \eta, v)$ 'nin tamamlayıcısı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\alpha^c = (v, \eta, \mu) \quad (6)$$

**Tanım 3:** (Gündoğdu ve Kahraman, 2019)  $\alpha = (\mu, \eta, v)$  bir KBS olsun, buna göre  $\alpha$ 'nın gösterge skoru aşağıdaki gibi tanımlanır: [23]

$$SI(\alpha) = \sqrt{|100 * [(\mu_\alpha - v_\alpha)^2 - (\eta_\alpha - v_\alpha)^2]}| \text{ for } \mu_\alpha \geq v_\alpha \quad (7)$$

$$\frac{1}{SI(\alpha)} = \frac{1}{\sqrt{|100 * [(\mu_\alpha - v_\alpha)^2 - (\eta_\alpha - v_\alpha)^2]}|} \text{ for } \mu_\alpha \leq v_\alpha \quad (8)$$

Herhangi iki KBS için  $\alpha_1 = (\mu_1, \eta_1, v_1)$  ve  $\alpha_2 = (\mu_2, \eta_2, v_2)$ ,

eğer  $s(\alpha_1) > s(\alpha_2)$  ise, o zaman  $\alpha_1 > \alpha_2$

eğer  $s(\alpha_1) = s(\alpha_2)$  ise, o zaman  $\alpha_1 = \alpha_2$  'dir.

### 3.2. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

Önerilen yöntemin amacı, bir sistemin ne kadar güvenilir olduğunu ölçmek ve sistem güvenilirliğini etkileyen birincil durumları bulmak için bulanık ÇKKV yaklaşımını uygulamaktır. Bulanık güvenilirlik değerlendirme yaklaşımı (BGDY), bulanık sayılarla iki ana amacın gerçekleştirilmesini sağlar. Bu yaklaşımda, güvenilirliği etkileyen her ölçütün önem dereceleri ve performans derecelendirmeleri seçilen uzmanlar tarafından bulanık ifadelerle değerlendirilmiştir. Bulanık güvenilirlik göstergesi (BGG) küresel bulanık sayılarla ifade edilir. Böylece, sistemin güvenilirlik seviyesi uygun dilbilim ile karşılaştırılarak belirlenir. Daha sonra, güvenilirliği etkileyen birincil ölçütler, uzmanlar tarafından belirlenen bir sınıra göre her bir ölçütün bulanık performans önem göstergesi (BPÖG) hesaplanarak bulunur. Kaynak araştırması ışığında önerilen yöntemin belirlenmiş bir konuda uygulama adımları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

#### Adım 1 - Sistem güvenilirliği ölçütlerini belirleme

Uygulama alanı olarak belirlenmiş konuyla ilgili sistem güvenilirliğini etkileyen ölçütler uzmanlar tarafından belirlenir.

#### Adım 2 - Dilsel değişkenlerin küresel bulanık ölçeklerini belirleme

Konunun uzmanları tarafından uygun bir bulanık küme seçilir. Performans ve güvenilirlik ölçütlerinin önemini belirlemede kullanılacak bulanık ölçekler kararlaştırılır.

#### Adım 3 - Küresel bulanık sayıları kullanarak performans derecelendirmelerini ve önem derecelerini değerlendirme

Adım 2'de belirlenmiş bulanık ölçekler kullanılarak, uzmanlar tarafından performans derecelendirmelerine (PD) ve önem derecelerine (ÖD) karar verilir. Buckley'nin bulanık geometrik ortalama yöntemi (Buckley, 1985) kullanılarak değerlendirmeler toplanır. Elde edilen dilsel değerler "yaklaşık muhakeme yöntemi" (approximate reasoning approach) ile belirlenen ölçütlerdeki bulanık bir sayıya yaklaştırılır.

#### Adım 4 - Bulanık güvenilirlik göstergesini (BGG) hesaplama

BGG, bulanık PD ve bulanık ÖD güvenilirlik ölçütlerinden oluşur. Bu gösterge, genel sistem güvenilirliğini ifade eder ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$BGG = \frac{SI(\sum_{i=1}^n PD_i \otimes ÖD_i)}{SI(\sum_{i=1}^n PD_i)} * 10 \quad (9)$$

#### Adım 5 - Bulanık güvenilirlik göstergesini (BGG) uygun bulanık güvenilirlik dizinine eşleme

Güvenilirlik düzeyini belirlemek için, elde edilen BGG değeri ya eşit olduğu bir dilsel ifadeyle eşleşir ya da en yakın dilsel ifadeye Jaccard göstergesi (Ramli ve Mohammad, 2009) yardımıyla yakınsar.

**Adım 6 - Bulanık performans önem göstergesini (BPÖG) hesaplama**

Güvenilirliği artırmak için iyileştirilmesi gereken temel sorunu belirlemek için bulanık performans önem göstergesi (BPÖG) kullanılır. Bu gösterge, sistem performans derecelendirmeleri ve ölçütlerin önem dereceleri kullanılarak hesaplanır. Dizin değeri ile sistem performansı arasındaki ilişki doğru orantılıdır. Diğer bir deyişle, yüksek gösterge değeri ölçütün sistem performansı üzerinde yüksek bir etkiye sahip olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, bulanık performans önem göstergesi sistem güvenilirliğini etkileyen temel konuyu belirlemek için kullanılabilir. Her ölçüt için BPÖG (Chadna ve Ram,2014) aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$BPÖG_i = SI(ÖD_i^C \otimes PD_i) \quad (10)$$

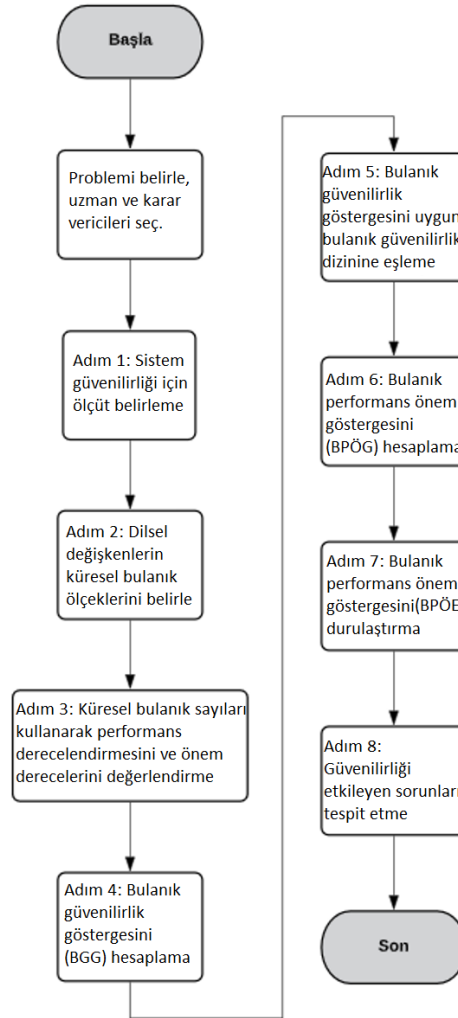
**Adım 7 - Bulanık performans önem göstergesini (BPÖG) durulaştırma**

Bulanık BPÖG'leri sıralamak için sayıların gösterge skorları Denklem (7)'ye göre hesaplanır.

**Adım 8 - Güvenilirliği etkileyen sorunları tespit etme**

Adım 7'de hesaplanan gösterge skorları sistemdeki bir arızanın güvenilirliğe etkisini gösterir. Sistem uzmanları tarafından bu ölçütlere bir limit koyulabilir ve eğer bir ölçüt bu limitin altına düşerse, o ölçüte daha fazla öncelik verilebilir. Böylece sistem güvenilirliğini artırmak için belirlenen ölçütlere ilişkin bir iyileştirme çalışması yapılmalıdır.

Önerilen yöntemin uygulama adımları Şekil 2'de bir akış şeması olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Önerilen yöntemin akış şeması (Flowchart of the proposed methodology)

**4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)**

Bu bölümde, geri dönüşüm tesisine küresel bulanık güvenilirlik değerlendirme yaklaşımı (KBGDY) uygulanmaktadır. Bir geri dönüşüm tesisinin çalışmasını aksatabilecek 6 adet olası hata belirlenmiştir. Bu olası hatalara dayanarak, sistemin güvenilirliği tartışılmaktadır.

### Adım 1 - Sistem güvenilirliği ölçütlerini belirleme

Sistem güvenilirliği ve iyileştirmesi uzman görüşü gerektiren bir konudur. Sistemi oluşturan faktörler ve aralarındaki ilişkinin analizi iyi yapılmalıdır. Sistemdeki hatalar süreci yavaşlatabilir ve hattı durdurabilir. Bu nedenle, uzmanlardan alınan bilgilere göre, geri dönüşüm tesisi için sistem güvenilirliğinin ölçülmesinde kullanılacak ölçütler aşağıdaki gibidir:

*C1 - İnsan hataları:* Çalışanların operasyonda yaptıkları hatalardır. Örneğin; “makine kullanım hatası, yönetim hataları, yanlış karar verme, tesis işletimindeki süreç problemlerini çözememe, kişisel çıkarlar, personelin bilgi eksikliğinden kaynaklanan sorunlar, vb.”

*C2 - Makine yazılımı hatası:* Makinelerde kullanılan yazılımların neden olduğu hatalardır. Örneğin, “kullanılan bilgisayarlarla ilgili teknik sorunların olması, atık ayıklama için kullanılan makinenin yanlış programlanması veya arızalanması, tesis içindeki konveyörlerin yanlış yazılım nedeniyle çalışmanın kesintiye uğraması vb.”

*C3 - Atık taşıma sorunları:* Bu hatalar, atıkların tesise getirilmesi ve depolama alanlarında taşınması sürecinde meydana gelir. Örneğin, “iç veya dış etkenlerin yol açtığı kazalar, nakliye araçlarının bozulması, yetersiz araç kapasitesi, atık tipine uygun araç tipi eksikliği vb.” nedeniyle atık transferinin bozulması.

*C4 - Düzensiz makine bakımı:* Fabrika içerisinde veya dış ortamda kullanılan cihazların düzensiz bakımından kaynaklanan hatalardır. Örneğin, “değiştirilmesi gereken makinelerin yenilenmemesi, aşırı veya yanlış atık nedeniyle aşınmış makinelerin tamir edilememesi, hatalı çalışma nedeniyle makinenin arızalanması vb.”

*C5 - Atık depolama alanı yetersizliği:* Yetersiz depolama alanı nedeniyle oluşan hatalardır. Örneğin, “araçlardan boşaltılacak atıklar için yer kapasitesinin az olması, ara işlemde yetersiz depolama alanı, geri dönüşüm malzemesini saklama kapasitesinin eksikliği vb.”

*C6 - Zehirli atık fazlalığı:* Fazla atık malzemenin birikmesinden kaynaklanan hatalardır. Örneğin, “dönemsel olarak artan veya azalan atık miktarını depolayamamak, işleme kapasitesini zorlamak, zehirli atık oluşumuna neden olmak, atık yönetimi sürecini iyi tasarlamamak vb.” durumlar tesis çevresinde yaşayan insanların yaşam kalitesini düşürmektedir.

### Adım 2 - Dilsel değişkenlerin küresel bulanık ölçeklerini belirleme

Bulanık sayıların kullanılması, karar verme sürecindeki belirsizliği ifade etmek için önemlidir. Belirsizlik ile baş edebilme kabiliyeti nedeniyle, küresel bulanık kümeler güvenilirliği ölçmek için idealdir (Ashraf vd.,2019; Gündoğdu ve Kahraman, 2019; Gündoğdu ve Kahraman, 2020). Bu çalışmada, performans ve güvenilirlik ölçütlerinin önemini belirlemek için küresel bulanık sayılar kullanılmıştır. Belirlenen küresel bulanık ölçekler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Performans ve güvenilirlik ölçütlerinin önemini belirlemede kullanılan küresel bulanık ölçekler (Spherical fuzzy scales used in determining the importance of performance and reliability measures)

Dilsel İfade	Küresel bulanık ölçekler ( $\mu, \eta, \nu$ )
Kesinlikle daha önemli (KDÖ)	(0.9, 0.1, 0.0)
Çok yüksek önemli (ÇYÖ)	(0.8, 0.2, 0.1)
Yüksek önemli (YÖ)	(0.7, 0.3, 0.2)
Biraz daha önemli (BDÖ)	(0.6, 0.4, 0.3)
Eşit önemli (EÖ)	(0.5, 0.4, 0.4)
Biraz az önemli (BAÖ)	(0.4, 0.6, 0.3)
Az önemli (AÖ)	(0.3, 0.7, 0.2)
Çok az önemli (ÇAÖ)	(0.2, 0.8, 0.1)
Kesinlikle az önemli (KAÖ)	(0.1, 0.9, 0.0)

### Adım 3 - Küresel bulanık sayıları kullanarak performans derecelendirmelerini ve önem derecelerini değerlendirme

Belirlenen dilsel ifadeleri kullanarak beş karar verici, güvenilirlik ölçütlerinin performans derecelendirmelerine (PD) ve önem derecelerine (ÖD) karar vermiştir.

Değerlendirmeleri toplamak için Buckley'nin bulanık geometrik ortalama yöntemi (Buckley, 1985) kullanılmıştır. Dilsel değerler “yaklaşık muhakeme yaklaşımı” (approximate reasoning approach) ile bulanık bir sayı ile yaklaştırılmıştır (Gueesgen ve Albrecht, 2000). Tablo 2'de performans derecelendirmelerinin ve önem derecelerinin toplu sonuçları gösterilmektedir.

**Tablo 2:** Küresel bulanık sayılarla ifade edilmiş toplu performans derecelendirmeleri ve önem dereceleri. (Aggregated performance ratings and importance degrees expressed in spherical fuzzy numbers)

Ölçütler	PD	Küresel bulanık PD	ÖD	Küresel bulanık ÖD
C1	BDÖ	(0.6, 0.4, 0.3)	BDÖ	(0.6, 0.4, 0.3)
C2	BAÖ	(0.4, 0.6, 0.3)	ÇYÖ	(0.8, 0.2, 0.1)
C3	ÇAÖ	(0.2, 0.8, 0.1)	KDÖ	(0.9, 0.1, 0.0)
C4	ÇAÖ	(0.2, 0.8, 0.1)	BAÖ	(0.4, 0.6, 0.3)
C5	EÖ	(0.5, 0.4, 0.4)	YÖ	(0.7, 0.3, 0.2)
C6	AÖ	(0.3, 0.7, 0.2)	EÖ	(0.5, 0.4, 0.4)

**Adım 4 - Bulanık güvenilirlik göstergesini (BGG) hesaplama**

Denklem (9) bulanık güvenilirlik göstergesini hesaplamak için kullanılmıştır.

$$BGG = \frac{SI((BDÖ \otimes BDÖ) \oplus (BAÖ \otimes ÇYÖ) \oplus (ÇAÖ \otimes KDÖ) \oplus (ÇAÖ \otimes BAÖ) \oplus (EÖ \otimes YÖ) \oplus (AÖ \otimes EÖ))}{SI(BDÖ \oplus BAÖ \oplus ÇAÖ \oplus ÇAÖ \oplus EÖ \oplus AÖ)} * 10$$

$$BGG = \frac{8.61}{11.18} * 10 = 7.698$$

**Adım 5 - Bulanık güvenilirlik göstergesini (BGG) uygun bulanık güvenilirlik dizinine eşleme**

Tablo 3'te, BGG'nin dilsel ifadeleri ve karşılık gelen üyelik dereceleri gösterilmektedir. Jaccard göstergesi (Ramli ve Mohamad, 2009) kullanılarak BGG değeri ve üyelik fonksiyonlarının benzerliği ölçülmüştür. Böylece, BGG değeri "çok güçlü" (BGG≈ÇG) üyelik derecesine yakınsamıştır. Bu sonuç sistem güvenilirlik riskinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.

**Tablo 3:** Bulanık güvenilirlik göstergesinin dilsel ifadeleri ve karşılık gelen üyelik derecesi (Linguistic expressions of the fuzzy reliability indexes and the corresponding degree of membership)

Dilsel ifade	Küresel bulanık ölçekler (μ, η, ν)	Gösterge Skoru (SI)
Kesinlikle güçlü (KG)	(0.9, 0.1, 0.0)	8.944
Çok güçlü (ÇG)	(0.8, 0.2, 0.1)	6.928
Oldukça güçlü (OG)	(0.7, 0.3, 0.2)	4.899
Biraz güçlü (BG)	(0.6, 0.4, 0.3)	2.828
Tamamen eşit (TE)	(0.5, 0.4, 0.4)	1.00
Biraz zayıf (BZ)	(0.4, 0.6, 0.3)	0.354
Oldukça zayıf (OZ)	(0.3, 0.7, 0.2)	0.204
Çok zayıf (ÇZ)	(0.2, 0.8, 0.1)	0.144
Kesinlikle zayıf (KZ)	(0.1, 0.9, 0.0)	0.112

**Adım 6 - Bulanık performans önem göstergesini (BPÖG) hesaplama**

Güvenilirlik ölçümünde, sonuç üzerinde en fazla etkiye sahip olan olumsuz ögeyi bulmak da önemlidir. Eğer bu soruna bir çözüm bulunursa, sistem iyileştirme oranı artacaktır. Bu çalışmada, güvenilirlik riski ölçüm sonucunun "çok güçlü (ÇG)" olduğu bulunmuştur. Elde edilen sonuç sistem güvenilirliğinin tehlikede olduğunu gösterir. Bu nedenle, sistem güvenilirliğini tehlikeli sınıftan çıkarmak için, sonucu etkileyen temel sorunu belirlemek ve sistem uzmanları tarafından çözüm bulmak gerekir. Bulanık performans önem göstergesi (BPÖG) sistem güvenilirliğini etkileyen temel konuyu belirlemek için kullanılmalıdır.

Denklem (10)'a göre, geri dönüşüm tesisi sisteminin güvenilirliği için ölçütlerin BPÖG değerleri hesaplanmıştır ve sonuçlar Tablo 4'te gösterilmektedir.



**Tablo 4:** Güvenilirlik ölçütleri için bulanık performans önem göstergesi (BPÖG) (Fuzzy performance importance index (FPII) for reliability criteria)

Ölçütler	BPÖG <sub>i</sub>
C1	(0.18, 0.543, 0.587)
C2	(0.4, 0.621, 0.662)
C3	(0.0, 0.802, 0.542)
C4	(0.06, 0.877, 0.249)
C5	(0.1, 0.485, 0.692)
C6	(0.12, 0.756, 0.388)

**Adım 7 - Bulanık performans önem göstergesini (BPÖG) durulaştırma**

Bulanık BPÖG'leri sıralamak için sayıları kesin sayılara dönüştürmek gerekir. Denklem (7), küresel bulanık sayıların durulaştırılması için kullanılmıştır. Skor değeri hesaplanmış ve normalize edilmiş BPÖG'lerin sıralaması Tablo 4'te listelenmiştir.

**Tablo 5:** Skor değeri hesaplanmış ve normalize edilmiş BPÖG sıralama puanları (Score values and normalized FPII ranking scores)

Ölçütler	Sıralama puanları
C4	0.23612
C1	0.23596
C3	0.20142
C5	0.17242
C2	0.15408
C6	0.0

**Adım 8 - Güvenilirliği etkileyen sorunları tespit etme**

Tablo 5'teki göstergeler sistemdeki bir arızanın güvenilirliğe etkisini göstermektedir. Sistem uzmanları tarafından bu ölçütlere bir limit konulabilir ve eğer bir ölçüt bu limitin altına düşerse, o ölçüte daha fazla öncelik verilmelidir. Bu çalışmada geri dönüşüm tesisi için BPÖG limiti uzman görüşü ile 0.15 olarak belirlenmiştir. Tablo 5'teki sonuçlara bakıldığında, "Zehirli atık fazlalığı (C6)" diğerlerinden daha az performans göstermektedir. Böylece sistem uzmanları tespit edilen sorunlara uygun çözümler bularak güvenilirliğini artırmak için çalışmalıdır.

**5. Tartışma (Discussion)**

Bu çalışmanın uygulama bölümünde kullanılan geri dönüşüm tesisinin bilgileri literatürde yer alan bir çalışmasından (Çakır ve Ulukan, 2019) alınmıştır. Yararlanılan çalışmada aralık tip-2 bulanık sayılarla güvenilirlik analizi için yöntem önerilmiş, bir geri dönüşüm tesisinin "insan hataları", "makine yazılımı hatası", "atık taşıma sorunları", "düzensiz makine bakımı", "atık depolama alanı yetersizliği" ve "zehirli atık fazlalığı" ölçütleri göz önünde bulundurularak sistem üzerinde performansı düşük olan durumlar tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise aynı ölçütler kullanılmış ve küresel bulanık yöntemin sonuçları literatürdeki çalışmayla uyumluluk göstermiştir. Tablo 6'da iki yöntemin sonuçları birlikte verilmiştir. İki çalışmada da kritik eşit 0.15 olarak belirlenmiş, bu değer altında performans oranına sahip ölçütler için sistem uzmanlarının çalışma yapması istenmiştir. Literatürde yer alan çalışmada bu seviyenin altında "Makine yazılımı hatası (C2)" ve "Zehirli atık fazlalığı (C6)" ölçütleri kalırken, bu çalışmanın deneysel sonuçlarına göre kritik eşik altında kalan ölçüt olarak sadece "Zehirli atık fazlalığı (C6)" saptanmıştır. Bu sonuçlara göre, sistemin güvenilirliği, belirlenen ölçütlerin iyileştirilmesiyle artırılabilir.

Önerilen yöntemde, performans ve güvenilirlik ölçütlerinin önemini belirlemek için küresel bulanık sayılar kullanılmıştır. Bu yöntem ek olarak, literatürde yer alan MCDM-ÇKKV yöntemleri de küresel bulanık sayılarla kullanılarak performans ve güvenilirlik ölçütlerinin önemi belirlenebilir. Fuzzy AHP (Şahin ve Şenol, 2014), fuzzy TOPSIS (Gündoğdu ve Kahraman, 2019), fuzzy WASPAS (Kutlu Gündoğdu ve Kahraman, 2019), fuzzy ANP (Şahin ve Soylu, 2020), fuzzy prioritized weighted aggregation operators (Tu vd., 2020), fuzzy Einstein interactive aggregation operators (Zeng vd., 2020) vb. geçerliliği kanıtlanmış entegre metodolojilerde küresel bulanık sayılar kullanılarak sonuçlar iyileştirilebilir.

**Tablo 6:** Aralık tip-2 ve küresel bulanık güvenilirlik modellerinin sonuçları (Results of type-2 and spherical fuzzy reliability models)

Aralık Tip-2 Bulanık Güvenilirlik Modellemesi			Küresel Bulanık Güvenilirlik Analizi	
Performans Sıralaması	Ölçütler	Sıralama puanları	Ölçütler	Sıralama puanları
1	C3	0.31	C4	0.236
2	C4	0.23	C1	0.235
3	C5	0.18	C3	0.201
4	C1	0.15	C5	0.172
5	C2	0.13	C2	0.154
6	C6	0,0	C6	0.0

## 6. Sonuç (Conclusion)

Sürdürülebilir bir çevre için geri dönüşüm vazgeçilmezdir. Ancak, geri dönüşüm sürecindeki bazı adımlar doğa için risk oluşturabilir. Salınan zehirli gazlar, yanlış prosedürler, işletme hataları, yetersiz depolama gibi konular sürdürülebilir çevreye yapılan katkının olumlu etkilerini silerek çevreye zarar verebilir. Bu nedenle, geri dönüşüm tesislerinde oluşabilecek birçok problemi öngörebilmek ve doğru çalışma sürecini tasarlayabilmek için sistem güvenilirliği önemlidir. Bu çalışma, geri dönüşüm tesisi güvenilirlik sisteminde küresel bulanık sayılarla oluşturulan yeni bir sistem güvenilirlik yöntemini göstermektedir. Makale, sistem güvenilirlik düzeyini hesaplamak için bulanık bir güvenilirlik yöntemi önermekte ve güvenilirliği etkileyen temel sorunu analiz ederek literatüre katkıda bulunmaktadır. Önerilen yöntemi doğrulamak amacıyla geri dönüşüm tesisi için sayısal bir örnek verilmiştir. Geri dönüşüm tesisi sistemi ölçütlerine göre “Zehirli atık fazlalığı (C6)” güvenilirliği etkileyen en önemli durum olarak belirlenmiştir. Sistem performansını etkileyen ve güvenilirliği düşüren bu ölçütlere ait sorunları gidermek için çalışmalar başlatılmalıdır.

Bu çalışmada ele alınmayan diğer durumlar şu şekilde özetlenebilir: çalışmada sadece altı ölçüt ile sistem güvenilirliği ölçülmüş olsa da gerçekte güvenilirliği etkileyen daha çok unsur bulunabilir. Ayrıca, güvenilirliği arttırmak için alınan önlemlerin maliyet açısından değerlendirmesinin yapılması da ele alınmamıştır. Gelecekteki çalışmalarda, sürdürülebilir çevre konusunda diğer tesisler incelenebilir ve farklı bulanık kümeler ile yeni ölçütlerin de yardımıyla güvenilirlik analizi yapılabilir.

## Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma, Galatasaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından # FBA-2020-1036 hibe numarasıyla desteklenmiştir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest has been declared by the authors.

## Kaynaklar (References)

- Akram, M., Alsulami, S., Khan, A., Karaaslan, F., 2020. Multi-Criteria Group Decision-Making Using Spherical Fuzzy Prioritized Weighted Aggregation Operators, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol. 13(1), 1429-1446.
- Ashraf, S., Abdullah, S., Qiyas, M., Khan, A., 2019. The Application of GRA Method Base on Choquet Integral Using Spherical Fuzzy Information in Decision Making Problems, *Journal of New Theory* 28 , 84-97.
- Atanassov, K.T., 1986. Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets Syst.* 20(1), 87–96.
- Atanassov, K.T., 1989. More on intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets Syst.* 33(1), 37–45.
- Buckley, J.J., 1985. Ranking Alternatives using Fuzzy Numbers, *Fuzzy Sets and Systems* 15(1), 21-31.
- Chandna, R., Ram, M., 2014. Fuzzy reliability modeling in the system failure rates merit context, *International Journal of System Assurance Engineering and Management* , 5(3) ,245–251.
- Chen S.M., Lee, L.W., 2010. Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method, *Expert Systems with Applications*, 37, 2790-2798.
- Cheng, C.H., Mon, D.L., 1993. Fuzzy system reliability analysis by interval of confidence, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 56, No. 1, 29-35, (1993).
- De-zi, Z., Na, C., 2015. Aeroengine reliability prediction based on fuzzy and interval number, *Procedia Engineering*, Vol. 99, 1284-1288.
- Gao, P., Xie, L., 2015. Fuzzy dynamic reliability models of parallel mechanical systems considering strength degradation path dependence and failure dependence”, *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2015, 1-9.

- Garibaldi, J.M., Ozen, T., 2007. Uncertain fuzzy reasoning: a case study in modeling expert decision making IEEE Trans. Fuzzy Syst. 15(1), 16–30.
- Guesgen, H.W., Albrecht, J., 2000. Imprecise reasoning in geographic information systems, Fuzzy Sets Syst 113:121–131.
- Gündoğdu, F.K., Kahraman, C., 2019. Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method, J. Intell. Fuzzy Syst. 36, 1–16.
- Gündoğdu, F.K., Kahraman, C., 2019. Spherical Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) and Its Application to Industrial Robot Selection, In: Kahraman C., Cebi S., Cevik Onar S., Oztaysi B., Tolga A., Sari I. (eds) Intelligent and Fuzzy Techniques in Big Data Analytics and Decision Making. INFUS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 1029. Springer- Cham.
- Gündoğdu, F.K., Kahraman, C., 2019. Spherical Fuzzy Sets and Spherical Fuzzy TOPSIS Method, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 36, no. 1, pp. 337-352.
- Jiang, Q., Chen, C.H., 2003. A numerical algorithm of fuzzy reliability, Reliab Eng Syst Saf 80:299–307.
- Kahraman, C., 2006. Fuzzy applications in industrial engineering, Springer, Vol. 201.
- Kai-Yuan, C., Chuan-Yuan W., Ming-Lian, Z. 1991. Fuzzy reliability modeling of gracefully degradable computing systems, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 33, No. 1, 141-157.
- Kutlu Gundogdu, F., & Kahraman, C. (2019). Extension of WASPAS with Spherical Fuzzy Sets. Informatica, 30(2), 269-292.
- Mendel, J.M., John, R.I., Liu, F.L. 2006. Interval type-2 fuzzy logical systems made simple”, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 14, (6), 808-821.
- Noore, A., Cross, P.L, 2005. Modeling the reliability of large distributed non-homogeneous networks, Inform Proc Lett 93:57–61.
- Onar, S.C., Oztaysi, B., Kahraman, C., 2014. Strategic decision selection using hesitant fuzzy TOPSIS and interval type-2 fuzzy AHP: a case study., International Journal of Computational intelligence systems; 5, 1002-1021.
- Ramli, N, Mohamad, D., 2009. On the Jaccard Index Similarity Measure in Ranking Fuzzy Numbers, MATEMATIKA, Vol.25, Number 2, 157–165.
- Ross, T.J., 2009. Fuzzy logic with engineering applications, John Wiley & Sons.
- Smarandache, F., 1999. A Unifying Field in Logics: Neutrosophy, Neutrosophic Probability, Set and Logic. American Research Press, Rehoboth.
- Şahin, B., Soylu, A., 2020. Intuitionistic fuzzy analytical network process models for maritime supply chain, Applied Soft Computing, Vol. 96, 106614.
- Sahin, B., Senol, Y., 2015. A Novel Process Model for Marine Accident Analysis by using Generic Fuzzy-AHP Algorithm. Journal of Navigation, 68(1), 162-183.
- Torra, V., 2010. Hesitant fuzzy sets. Int. J. Intell. Syst. 25(6), 529–539.
- Tu, J., Cheng, R., Tao, Q., 2015. Reliability analysis method of safety-critical avionics system based on dynamic fault tree under fuzzy uncertainty, Eksploatacja i Niezawodność, Vol. 17, No. 1, 156-163.
- Tyagi, S.K., 2014. Reliability analysis of a powerloom plant using interval valued intuitionistic fuzzy sets, Applied Mathematics, Vol. 5, No. 13, 2008-2015.
- Utkin, L., 1994. Knowledge based fuzzy reliability assessment, Microelectronics Reliability, Vol. 34, No. 5, 863-874.
- Utkin, L.V., 1994. Fuzzy reliability of repairable systems in the possibility context, Microelectronics Reliability, Vol. 34, No. 12, 1865-1876.
- Yager, R.R., 1986. On the theory of bags. Int. J. Gen. Syst. 13(1), 23–37.
- Yager, R.R., 2013. Pythagorean fuzzy subsets. In: Proceedings of the Joint IFSA World Congress NAFIPS Annual Meeting, pp. 57–61.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. Inf. Control Vol.8, No.3, 338–353.
- Zadeh, L.A., 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I, Information Sciences, Vol. 8, No. 3, 199-249.
- Zeng, S., Munir, M., Mahmood, T., Naeem, M., 2020. Some T-Spherical Fuzzy Einstein Interactive Aggregation Operators and Their Application to Selection of Photovoltaic Cells, Mathematical Problems in Engineering, <https://doi.org/10.1155/2020/1904362>.



## PORSELEN KARO YÜZEY MODİFİKASYONU

Gökhan AÇIKBAŞ<sup>1</sup>, Mehmet Behlül KAYALI<sup>2,3</sup>, Nurcan ÇALIŞ AÇIKBAŞ<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Bilecik, Türkiye

<sup>2</sup> Seranit Grup, 1. Organize Sanayi Bölgesi, Bilecik, Türkiye

<sup>3</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Hidrofobik Yüzeyler,  
Porselen Karo,  
Çinko Oksit,  
Seramik Sır,  
Temas Açısı.*

### Öz

Su damlasının üzerinde 90°'den büyük açı yaptığı yüzeyler hidrofobik yüzeyler olarak adlandırılır. Hidrofobik yüzeyler özellikle hijyen gerektiren ortamlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada endüstriyel porselen karo yüzeyinde hidrofobik yüzey özelliğinin alkol ve su bazlı iki farklı türde polimer kaplama yapılması ve kendinden hidrofobik özelliğe sahip çinko oksit tozu ile ticari porselen karo sıranın modifiye edilmesiyle eldesi amaçlanmıştır. Yüzeylerin morfolojik gelişimi taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiş ve faz gelişimi X-ışınları difraksiyon cihazı ile belirlenmiştir. Temas açısı gonyometresi kullanılarak polimer kaplanmamış ve alkol ve su bazlı polimer ile kaplanmış yüzeylerin temas açıları ölçülüp, kıyaslanmıştır. Sonuç olarak alkol bazlı polimer ile kaplanmış yüzeylerin su bazlı polimer ile kaplanmış yüzeylere göre daha iyi hidrofobik etki gösterdiği tespit edilmiştir. Mikron boyutunda çinko oksit ilavesi yapılan sır kompozisyonlarının endüstriyel fırında pişirim sonrasında willemite ( $Zn_2SiO_4$ ) fazı gelişimi gözlenirken, nano boyutta çinko oksit kullanımı zinsit fazı (ZnO) gelişimini sağlamıştır. Nano çinko oksit modifiyeli sırlarda yüzeyde çatlak oluşumu yüzeyin su emmesini sağladığından kaplanmamış yüzeylerin temas açısı ölçümü gerçekleştirilememiştir. Polimer kaplama sonrası en yüksek temas açısı 139° olarak N2 kodlu sır kompozisyonunda elde edilmiştir.

## PORCELAIN TILE SURFACE MODIFICATION

### Keywords

*Hydrophobic Surfaces,  
Porcelain Tile,  
Zinc Oxide,  
Ceramic Glaze,  
Contact Angle.*

### Abstract

The contact angle of the water droplet exceeds 90 degrees; surfaces are called as hydrophobic. Hydrophobic surfaces are widely used especially in hygienic environments. In the study, it was aimed to obtain the hydrophobic surface on the industrial porcelain tile surface by making two different types of polymer coating based on alcohol and water and modifying the commercially porcelain tile glaze with self-hydrophobic zinc oxide. Morphological development of the surfaces was examined by SEM and phase development was determined by XRD. The contact angle of the polymer coated and uncoated surfaces were measured with contact angle goniometer and the results compared. As a result, it has been found that surfaces coated with alcohol-based polymer have a better hydrophobic effect than surfaces coated with water-based polymer. After industrial firing of glaze compositions with the addition of micron-sized zinc oxide willemite phase was observed while the use of nano-size zinc oxide provided the development of zincite phase. The cracking was observed on the nano zinc oxide modified glaze surfaces which allow the surface to absorb water, so the contact angle couldn't be measured of uncoated surfaces. The highest contact angle after polymer coating was obtained as 139° in N2 glaze composition.

### Alıntı / Cite

Açıkbaş, G., Kayalı M. Behlül, Çalış Açıkbaş, N., (2021). Porselen Karo Yüzey Modifikasyonu, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 240-254.

\* İlgili Yazar / Corresponding author: nurcan.acikbas@mersin.edu.tr, +90-324-361-0001

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
G. Açıkbş, 0000-0002-5695-3658	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	12.07.2020
M. B. Kayalı, 0000-0003-2503-236X	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	11.02.2021
N. Çalış Açıkbş, 0000-0001-6193-8252	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	29.01.2021
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

## 1. Giriş (Introduction)

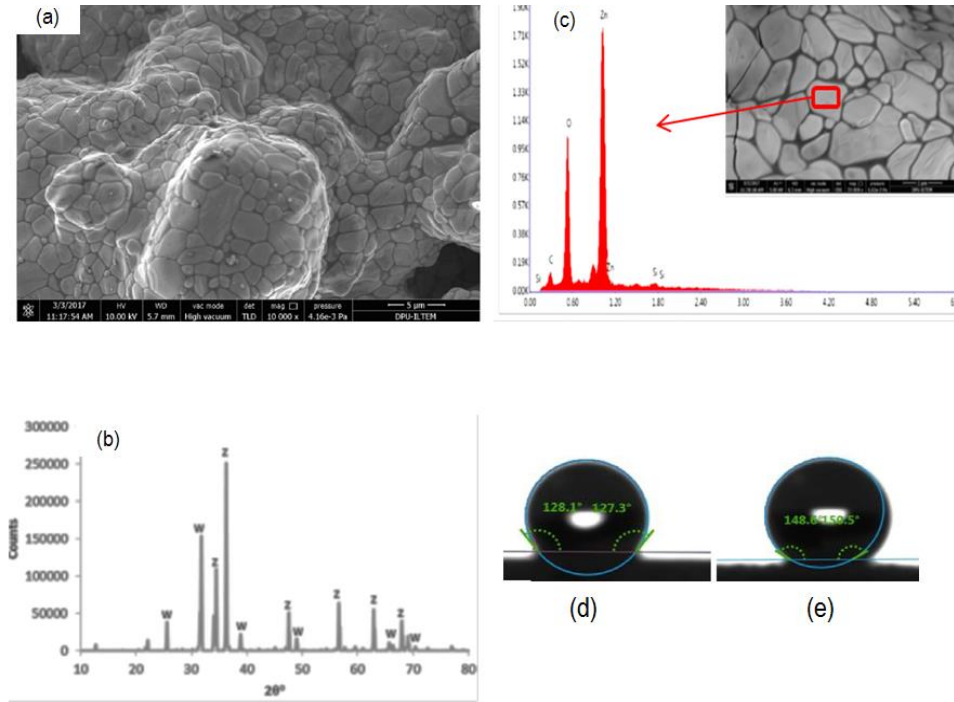
Porselen karo, yer ve duvar kaplamalarında kullanılan su emmesi % 0.5'ten düşük olan teknik özellikleri (kırılma ve ham mukavemeti, aşınma ve kimyasal dayanımı) yüksek olan kaplama malzemesi olarak tanımlanır. Seramik karolar hijyen gerektiren ortamlarda yer ve duvar döşemelerinde, iç ve dış cephe kaplamaları olarak evlerde, hastanelerde, alış-veriş merkezlerinde, gıda sanayisinde vb. bir çok alanda kullanılmaktadır (Acchar ve Dultra (2015)).

Porselen karo üretimi, duvar ve yer karosu üretim süreçlerine benzemekte, sırlama ve pişirim aşamaları birbirinden farklılık arz etmektedir. Porselen karoyu oluşturan en önemli hammaddeler kil, kaolen, feldspat ve kuvarstır. Bunların yanında yardımcı organik ve inorganik hammaddeler belli oranda reçeteye ilave edilirler. Geleneksel porselen karo üretimde yaklaşık olarak ağ. %30-40 arası kil, %10-15 arası kuvars ve %40-45 arası feldspat bulunur (Acchar ve Dultra (2015); Sánchez vd. (2006); Sánchez (2003); Sánchez vd. (2010)). Bünyenin üst yüzeyinin sır olarak adlandırılan bir cam tabakasıyla kaplanmasıyla sırlı seramik karolar üretilir. Bu sır tabakası karolara estetik özellikler (renk, parlaklık, desen vb.), teknik özellikler (sertlik, yüzeyden su geçirimsizliği vb.) ve fonksiyonel özellikler (antibakteriyel etki, hidrofobik etki vb.) kazandırmaktadır (Bresciani vd. (2002); Hasmaliza vd. (2016); Sciancalepore vd. (2014); Prochazka (2007)).

Literatürde porselen karo üzerine yapılan çalışmalar genellikle kompozisyonun, başlangıç hammaddelerinin partikül boyutunun, sinterleme parametrelerinin fiziko-mekanik özelliklere etkisi (Junior vd. (2011); Abadir vd. (2002); Junior vd. (2009); Beltrán vd. (1996), De Noni Jr vd. (2010); Junior vd. (2010)), atıkların porselen bünyelerde kullanımı [17-19], (Tarhan vd. (2017); Kaya vd. (2011); Tanisan & Turan (2011)), lekelenme direnci (Suvaci & Tamsu (2010); Alves vd. (2012); Dondi vd. (2005); Tucci vd. (2002)) ve kaymazlık özelliği üzerinedir (Vermol vd. (2011); Rincón vd. (2008); Mazzanti vd. (2014); Van Der (1934)). Seramik karo yüzeylerinin temas açısı ~30° olduğu için hidrofobik özellik göstermektedir (Kuisma vd. (2007); Määttä vd. (2007); Piispanen vd. (2009)). Bu nedenle ortamdaki kirler ve tozlar yüzeye yapışmaktadır. Hidrofobik seramik yüzeylerin temizlenmesi için çok fazla enerji ve kaynak tüketilir. Çoğu durumda kirliliği uzaklaştırmak için yüksek kalitede deterjanlar kullanılır. Bu sorunu çözmek için kendi kendini temizleyen (self cleaning) ve kolay temizlenen (easy-to-clean) yüzeylerin gelişimi gündeme gelmiştir. Su damlasının üzerinde 90°den fazla temas açısı yaptığı yüzeyler "hidrofobik yüzeyler-su itici" olarak adlandırılırlar. Katı yüzeylerin ıslanabilirliği kimyasal bileşim ve pürüzlülük seviyesi ile kontrol edilmektedir. Seramik yüzeylerde hidrofobik özellik eldesi ile toz ve kirlerin yüzeye yapışması engellenecek ve yüzey kolay temizlenecektir. Seramik karoların (porselen, duvar ve yer karosu) yüzey modifikasyonu ile (polimer kaplama ve/veya sır kompozisyonu) hidrofobik özellik eldesi üzerine literatürde çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların çoğu seramik yüzeylerin polimerik malzemeler ile kaplanması üzerinedir (Tunali & Selli (2013); Selli, & Tunali (2013)). Uçucu organik ilaveler kullanılarak yüzeyde morfoloji oluşturması yoluyla hidrofobik yüzey eldesine yönelik çalışmalar da vardır. (Açıkbş vd. (2008); Açıkbş (2007)). Direkt inorganik ilaveler ile polimer kaplama yapılmaksızın hidrofobik seramik yüzeylerin eldesi üzerine ise hala sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Dondi vd. (2005); Lanka vd. (2019); Reinoso vd. (2013); Kuisma vd. (2007); Hupa vd. (2005); Reinoso vd. (2012)). Bu çalışmalarda inorganik faz olarak genelde TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> ve Cu kullanılmıştır. Bu yolla elde edilen temas açısı maksimum 115° olarak bildirilmiştir. İnorganik faz ile modifiye edilerek polimer kaplama yapılan bazı çalışmalarda ise metalik çinko ilavesi ile 150° ve silisyum nitrür ilavesi ile 166° temas açıları elde edilmiştir (Özcan vd. (2018); Çalış Açıkbş vd. (2017); Açıkbş vd. (2014)).

Çinko oksit (ZnO) seramik sırlarda genelde parlaklığı arttırmak ve sır çatlağını önlemek amacıyla ilave edilmektedir (Karasu & Sarıcaoğlu (2019)). ZnO'in kendinden süperhidrofobik özelliğe sahip olduğuna dair sınırlı sayıda çalışma vardır (Wu vd. (2005)). Tarafımızdan daha önceden yaptığımız çalışmada endüstriyel duvar karosu sırası içerisine Zn metali ilave edilerek sır kompozisyonu modifiye edilmiş, farklı sıcaklıklarda pişirilmiş ve sonrasında fluoropolimer ile kaplanarak antibakteriyel ve süperhidrofobik etki araştırılmıştır (Özcan vd. (2018)). Ticari karo yüzeyleri ile çinko metali modifiye edilmiş sır kompozisyonu uygulanan ve kaplanan yüzeylerin özellikleri karşılaştırılmıştır. 1000°C'de pişirim sonrasında mikro-nano yapılu yüzey morfolojisi gelişimiyle polimer kaplanmamış yüzeyde ~130°, polimer ile kaplama sonrasında ise ~150° temas açısı elde edilmiştir. Pişirim sıcaklığı 1000°C'nin üzerinde iken yüzey topografyası bozulmuş, ZnO granülleri willemit kristallerine dönüşerek hidrofobik etki kaybolmuştur (Şekil 1). Polimer kaplanmış Zn modifiyeli yüzeyin yüzey enerjisi oldukça düşük olup 5,40 mJ/m<sup>2</sup>'dir. 1100°C'de willemit kristallerinin ağırlıklı olduğu polimer kaplanmış yüzeyin yüzey enerjisi ise 41,3 mJ/m<sup>2</sup>'dir. Bu sonuç bize ZnO kristallerinin düşük yüzey enerjisine ve dolayısıyla hidrofobik

karaktere sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle yapılan çalışmada hidrofobik etki sağlamak için ZnO tozu seçilmiştir.



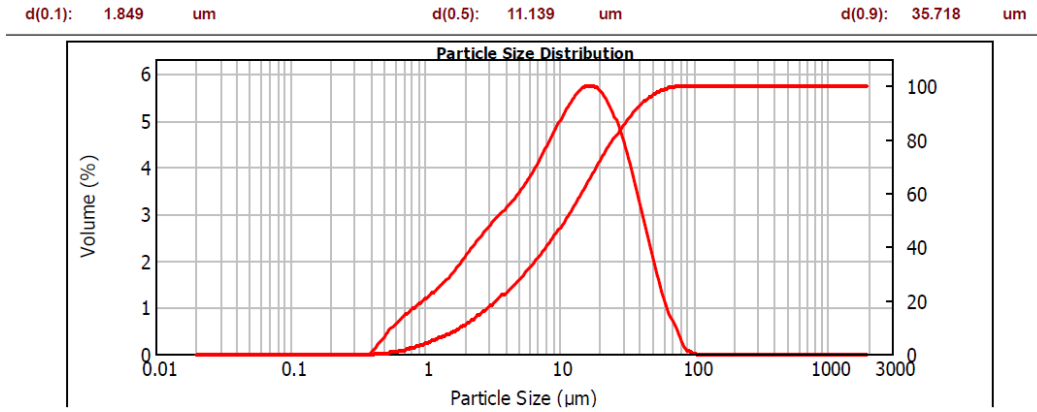
**Şekil 1.** (a) Zn metali ile modifiye edilmiş seramik sırnın 1000°C’de pişirim sonrası SEM görüntüsü, (b) XRD analizi (Z: ZnO, W: Willemite fazı), (c) EDX analizi, (d) Polimer kaplanmamış yüzeyin temas açısı (~130°), (e) yüzeyin polimer ile kaplanması sonrası temas açısı (~150°). (a) SEM image of ceramic glaze modified with Zn metal after firing at 1000°C, (b) XRD analysis (Z: ZnO, W: Willemite phase), (c) EDX analysis, (d) Contact angle of polymer uncoated surface (~130°), (e) Contact angle of polymer coated surface (~150°) (Özcan vd. (2018)).

Daha önceden de bahsettiğimiz üzere hidrofobik özellik düşük yüzey enerjili yüzey eldesi ve uygun yüzey morfolojisi ile sağlanmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmada öncelikle polimer kaplamanın ve kaplama türünün (alkol veya su bazlı) hidrofobik özelliğe etkisi araştırılmıştır. Yaptığımız literatür araştırmalarında buna benzer çalışmaya rastlanmamıştır. Diğer yandan polimer kaplamaksızın kendinden hidrofobik özellik gösteren ZnO tozuyla sadece yüzey morfolojisi ile modifikasyona gidilerek yüzeyin hidrofobik özelliği çinko oksit partikül boyutuna bağlı olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda ticari porselen karo sırnın partikül boyutu küçültülerek içine farklı oranlarda nano/mikro ZnO katkısı ile yeni kompozisyonlar geliştirilmiş ve endüstriyel fırında pişirilmiştir. ZnO partikül boyutu ve miktarına bağlı olarak yüzey morfolojisinin ve faz gelişiminin değişimi taramalı elektron mikroskobu ve X-Işınları difraksiyon cihazı kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen yüzeylerin temas açısı ölçülerek mikroyapı ve faz gelişiminin temas açısına etkisi tartışılmıştır.

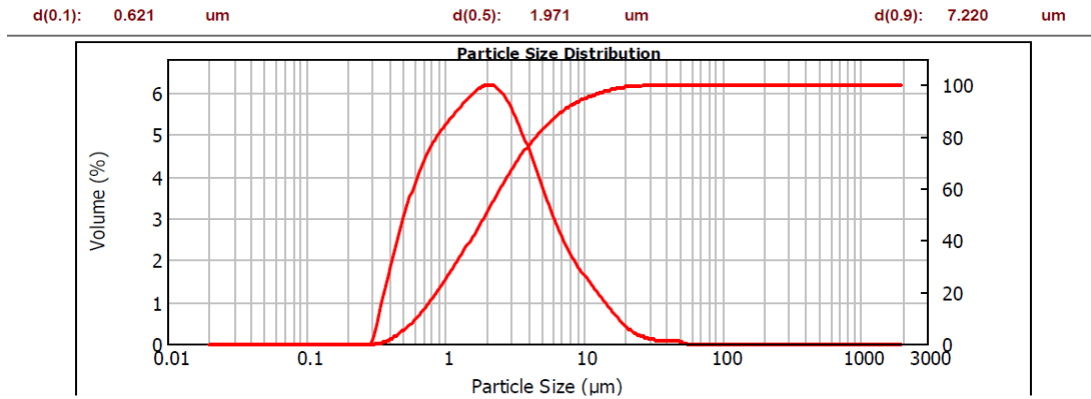
## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

### 2.1. Sır Öğütme ve Yeni Sır Kompozisyonu Hazırlama Çalışmaları (Glaze Milling and Preparation of New Glaze Composition)

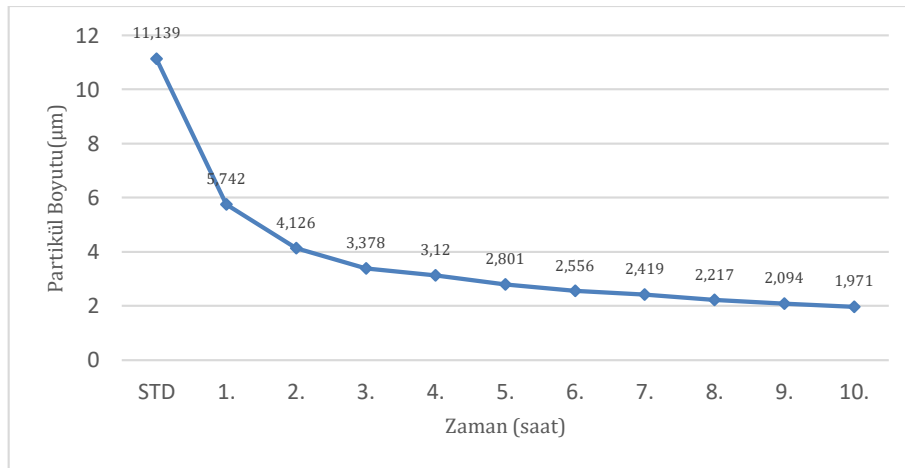
Bilecik’te yerleşik olarak bulunan Seranit Fabrikası’ndan porselen karolar ve porselen karo sıırı temin edilmiştir. Sırın başlangıç partikül boyutu lazer difraksiyon cihazı kullanılarak ölçülmüş ve mikro/nano yüzey morfolojisi eldesi için ortalama partikül boyutunun azaltılması amacıyla Seranit Ar-Ge Merkezi Laboratuvarında sır öğütme çalışmaları yapılmıştır. Daha önceden yaptığımız çalışmalarda kaba partikül boyutunun hidrofobik yüzey elde etmede uygun morfolojiyi sağlayamadığı tespit edilmişti (Açıkbaş vd. (2008); Açıkbaş (2007)). Sır değirmeni olarak kapasitesi 1 litre, çapı ise 170 mm olan alümina değirmen kullanılmıştır. 15-20 mm çaplarında alümina bilya kullanılarak, 150 devir/dk hız ile sır öğütme işlemi yapılmıştır. Ticari porselen karo sırnın lazer difraksiyon cihazı ile ölçülen başlangıç partikül boyutu  $d_{50}$ : 11,14  $\mu\text{m}$  ve  $d_{90}$ : 35,72  $\mu\text{m}$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 2). Sırdan her saat başı bir miktar numune alınarak partikül boyutundaki azalmayı tespit etmek için Seramik Araştırma Merkezi’nde Mastersizer cihazında ölçüm yapılmıştır. 10 saat sonra ticari sırnın partikül boyutu  $d_{50}$ : 1,97  $\mu\text{m}$  ve  $d_{90}$ : 7,22  $\mu\text{m}$ ’ye azaltılmıştır (Şekil 3). Zamana bağlı olarak partikül boyutunun azalması grafiği Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 2. Ticari sırın lazer difraksiyon cihazı ile ölçülmüş partikül boyutu dağılım grafiği (S10) (Particle size distribution graph of commercial glaze measured with laser diffraction method(S10))



Şekil 3. Ticari sırın 10 saat öğütülmesi sonucu lazer difraksiyon cihazı ile ölçülmüş partikül boyutu dağılım grafiği (S2) (Particle size distribution graph of commercial glaze after milling 10 hours measured by laser diffraction method (S2))



Şekil 4. Öğütme süresine bağlı olarak ticari sırın partikül boyutundaki azalma (Reduction in the particle size of the commercial glaze depending on the milling time)

Hedeflenen partikül boyutu seviyesine getirildikten sonra sır içerisine farklı oranlarda nano (30-50 nm) ve mikro boyutta (5 µm) (EgeNanotek ve Akcoat Firmaları) çinko oksit (ZnO) tozu ilave edilerek yeni sır kompozisyonları hazırlanmıştır. N kodlu kompozisyonlar nano toz katkılı ve M kodlu sır ise mikro boyutta ZnO tozu içerdiğini göstermektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışmada hazırlanan sır kompozisyonları (hacimce %) (Prepared glaze compositions (vol%))

	S10/S2	M	N1	N2
Ticari Sır	100	50	95	97.5
M- ZnO katkısı	0	50	0	0
N- ZnO katkısı	0	0	5	2.5

## 2.2. Sır Uygulama Çalışmaları (Glaze Application Studies)

Porselen ham karo bünyelerden 30x30 mm ebatında kesilerek numuneler/altlıklar hazırlanmıştır. Seramik altlıkların üzerine önce angop uygulaması yapılmış, sonrasında da spreyleme tekniği ile yeni sır kompozisyonları Seranit Ar-Ge Merkezi laboratuvarlarında uygulanmıştır (Şekil 5). Spreyleme işlemi öncesinde sır viskozitesi sodyumtripolifosfat (STPP) ve su ilavesi yapılarak uygun akışkanlığa getirilmek için ayarlanmıştır.



Şekil 5. Spreyleme tekniği ile sır uygulama işleminin gösterimi (Demonstration of the glaze application process with the spraying technique)

## 2.2. Pişirim (Firing)

Pişirim işlemi Seranit firmasının ticari porselen karoları pişirdiği sıcaklıkta (1210°C'de 55 dakika süre ile) yapılmıştır. Pişirim yapılan endüstriyel fırın Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. Pişirimlerin gerçekleştiği Seranit firmasındaki Sacmi fırın (Sacmi furnace in Seranit company where firing takes place)

## 2.3. Yüzeyin Polimer ile Kaplanması (Polymer Coating of Surface)

Ticari porselen karo yüzeyi ve modifiye edilmiş sır kompozisyonlarının porselen karo yüzeyine uygulanmasından sonra pişirim yapılmış ürünlerin yüzeyi alkol (A) ve su bazlı (S) (A: 3M™ advanced Materials, Easy Clean Coating ECC-4000 ; S: Innovcoat Nanoteknolojik Boya ve Yüzey Ürünleri San. Tic. Arge A.Ş.) olmak üzere 2 farklı polimer solüsyonu ile spreyleme işlemi ile kaplanmıştır. 250 g/m<sup>2</sup> olacak şekilde polimer kaplama uygulanmıştır. Alkol bazlı polimerik solüsyon uygulaması öncesi 30\*30 mm ebadında hazırlanmış karo örnekleri 120 °C'lik etüvde 1 saat bekletildikten sonra çıkarılarak alkol bazlı polimerik malzeme karo yüzeylerine spreyleme metodu kullanılarak uygulanmıştır. Su bazlı polimerik solüsyon, 30\*30 mm ebadında hazırlanmış karo yüzeylerine spreyleme metodu kullanılarak uygulama yapıldıktan sonra karo numuneleri 150 °C lik etüvde 30 dakika süresince ısı işleme tabi tutulmuştur.

## 2.4. Yüzey Temas Açısı Ölçümü (Contact Angle Measurement of Surface)

Elde edilen yüzeylerin temas açıları Kruss marka DSA-25 model temas açısı ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür.



## 2.5. X-Işınları Difraksiyon (XRD) Cihazı ile Yüzeylerin Faz Analizi (Phase Analysis of Surfaces with X-Ray Diffraction (XRD))

Panalytical marka Epyrean model X-ışınları cihazı yardımıyla CuK $\alpha$  ışınması kullanılarak yüzeylerin faz analizi gerçekleştirilmiştir.

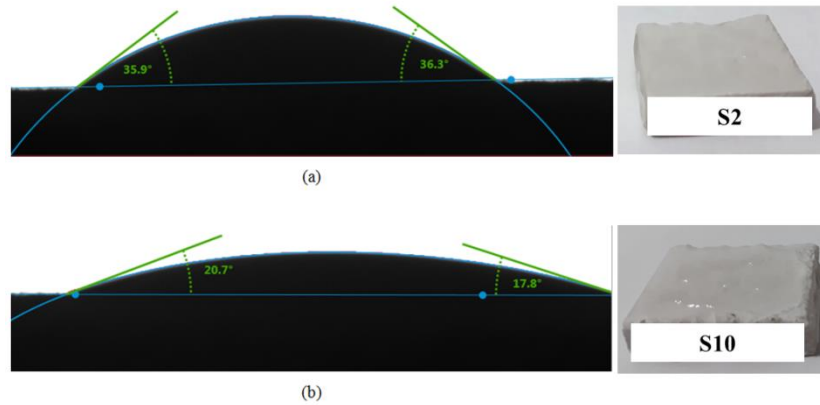
## 2.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Mikroyapı ve Elementel Analiz (EDX) (Microstructure and Elemental Analysis (EDX) with Scanning Electron Microscopy (SEM))

Karakterizasyon öncesinde numuneler iletkenliği yüksek olan altın-paladyum alaşımı ile vakum ortamında kaplanmıştır. Mikroyapısal analizler FEI marka, Nova NanoSEM 650 model FEG-SEM (taramalı elektron mikroskobu)'nda ikincil elektron (SE) dedektörü ile ve elementel analiz EDX dedektörü kullanılarak yapılmıştır.

## 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma (Experimental Results and Discussion)

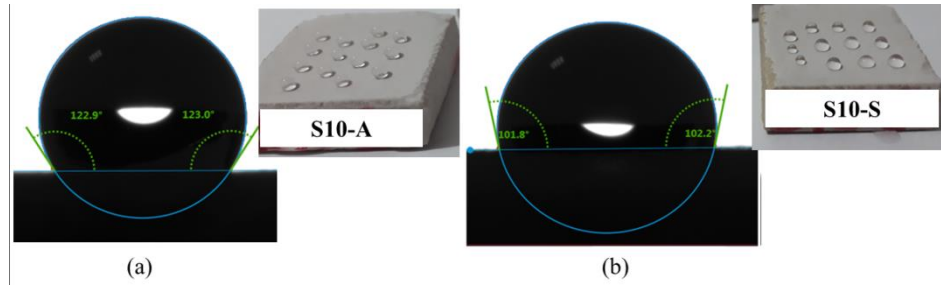
### 3.1. Kaplamanın ve Kaplama Türünün Hidrofobik Özelliğe Etkisi (The Effect of Coating and Coating Type on Hydrophobic Property)

Firmanın kendi kullandığı ticari porselen karo sırası (S10) ve laboratuvarında ticari porselen karo sıranın öğütülmesi (S2) ile hazırlanan sırlar 3x3 cm'lik porselen karo bünyesi üzerine uygulanarak 1210°C'de 55 dakika süre ile pişirilmiştir. Pişen ürünlerin yüzeyine su damlatılarak yüzeylerinin su damlasını emme durumları kontrol edilmiştir. Her iki yüzeyde de su damlasının yayıldığı ve kısa süre sonra yüzeyin suyu emdiği gözlenmiştir. Şekil 7'de temas açısı ölçüm görselleri verilmektedir. Öğütülmüş sıranın uygulandığı yüzeyin temas açısı (36°) kaba sıranın uygulandığı yüzeye (19°) göre nispeten daha yüksektir.

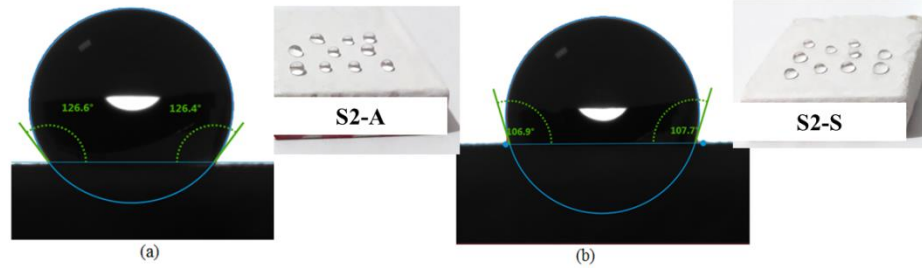


**Şekil 7.** Kaplama yapılmamış (a) ticari porselen karo sırası (S10) ve (b) ticari porselen karo sıranın öğütülmesi (S2) ile hazırlanan kompozisyonların yüzey su emme özellikleri ve temas açıları (Surface water absorption properties and contact angles of uncoated surfaces (a) commercial porcelain tile glaze (S10) and (b) milling of commercial porcelain tile glaze (S2))

Bilindiği üzere süperhidrofobik özellik yüzey kimyası (enerjisi), paterni ve histerisi tarafından kontrol edilmektedir (Neinhuis ve Barthlott, (2007)). Bu nedenle yüzey enerjisini düşürmek için S10 ve S2 sıra kompozisyonunun porselen karo yüzeyine uygulanmasından sonra iki farklı kimyasal yapıda ticari polimer ile kaplanmış ve su damlasının yüzeydeki davranışı incelenmiştir. Buradaki amaç su bazlı ve alkol bazlı kaplamaların etkinliğinin birbiri ile kıyaslanmasıdır (Şekil 8,9). S10 yüzeyinin alkol esaslı polimer ile kaplanması sonrası yüzeyin temas açısı 123° iken, su bazlı polimer ile kaplanmış yüzeyin temas açısı 102° dir. Daha ince boyuttaki sıra (S2) kompozisyonunun yüzeye uygulanıp alkol esaslı polimer ile kaplanması sonrası yüzeyin temas açısı 126° iken su bazlı polimer ile kaplanmış yüzeyin temas açısı 107° dir. Sonuç olarak alkol bazlı polimer ile kaplama işlemi nispeten daha yüksek temas açısı eldesi sağlamıştır.



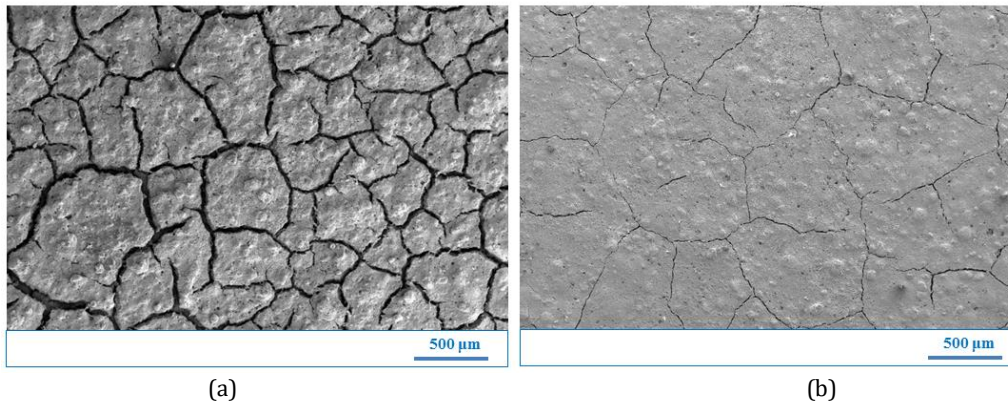
**Şekil 8.** S10 kodlu sırın yüzeye uygulanması sonrası (a) alkol bazlı ve (b) su bazlı polimer ile kaplanmış yüzeylerin temas açısı (The contact angle of the surfaces coated with (a) alcohol-based and (b) water-based polymer after applying the S10 coded glaze to the surface)



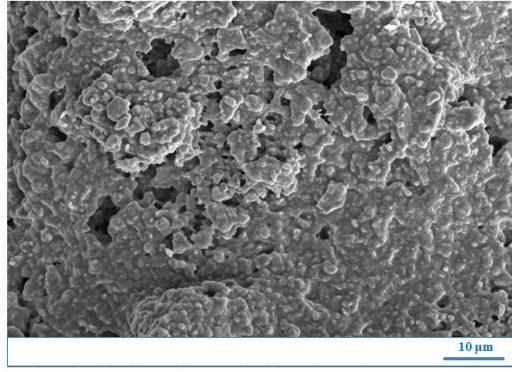
**Şekil 9.** S2 kodlu sırın yüzeye uygulanması sonrası (a) alkol bazlı ve (b) su bazlı polimer ile kaplanmış yüzeylerin temas açısı (The contact angle of S2 glaze is applied to the surface (a) alcohol-based and (b) water-based polymer coated surfaces)

### 3.2. Çinko Oksit İlavesinin Hidrofobik Özelliğe Etkisi (Effect of Zinc Oxide Addition on Hydrophobic Property)

Ticari porselen karo sıırı öğütölüp belli bir partiköl boyutuna azaltıldıktan sonra içerisine farklı miktarlarda nano veya mikro çinko oksit (ZnO) tozu ilave edilerek sır kompozisyonu modifiye edilmiştir. Nano ZnO tozu katkılı sır kompozisyonları N1 ve N2 olarak, mikron boyutta ZnO tozu katkılı sır kompozisyonu M olarak kodlanmıştır (Tablo 1). Pişirim sonrasında elde edilen yüzeyler önce göz ile incelenmiştir. M reçetesindeki sır kompozisyonu yüzeye uygulandığında yüzey mat görünümlüdür. Bu durum sinterlemenin tam anlamıyla gerçekleşmemiş olabileceğini göstermektedir. Su damlası yüzeyde hidrofilik etki göstererek yüzeyde yayılmaktadır. N1 reçetesi uygulanmış yüzeyde, kuruma sonrası bile kılcal çatlaklar vardır (Şekil 10a). Yüzey mat bir görünümde olup, sır tam anlamıyla olgunlaşmamıştır. Su damlası yüzeye damlatıldığında yüzeyin suyu emdiği gözlenmiştir. N2 reçetesi uygulanmış yüzeyde, yüzey yine mattır. Sır yeteri kadar olgunlaşmamıştır. Ancak N1 yüzeyinde gözlenen kılcal çatlaklar N2 yüzeyinde daha incedir (Şekil 10b). Yüzeyde su damlası N1 reçetesine göre daha uzun süre stabil kalmakta daha sonra suyu emmektedir. Çatlama problemi nano tozların yüzeye uygulandıktan sonra kuruma çekmesinin çok fazla olması ve sinterlemenin etkisiyle çatlakların derinleşmesinden kaynaklanmaktadır. N1 yüzeyinden yüksek büyütmelemlerde alınan görüntüler incelendiğinde nano boyuttaki çinko oksit tozlarının iyi bir şekilde dağılmadığı, yüzeyi homojen bir şekilde kaplamadığı ve boşlukların varlığı gözlenmiştir (Şekil 11). Tasarlanan kompozisyonlarda bu haliyle hedeflenen hidrofobik özellik elde edilememiştir.

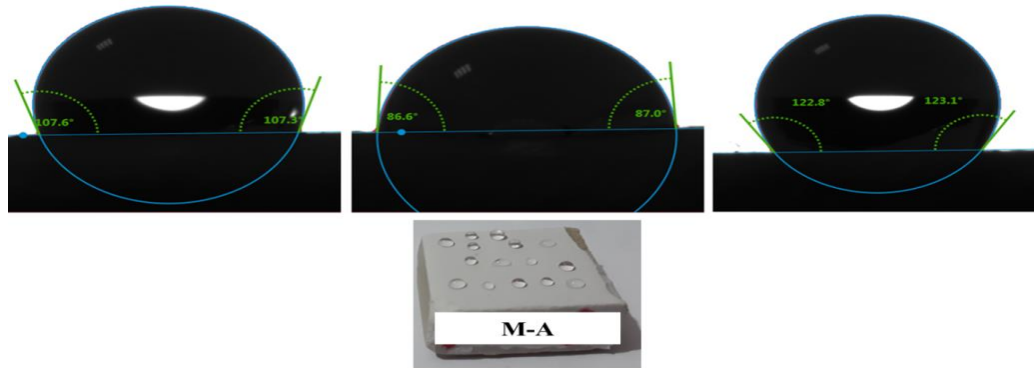


**Şekil 10.** Sinterleme sonrası (a) N1 ve (b) N2 yüzeylerinin SEM-SE görüntüsü (120x) (SEM-SE images of (a) N1 and (b) N2 surfaces after sintering (120x))

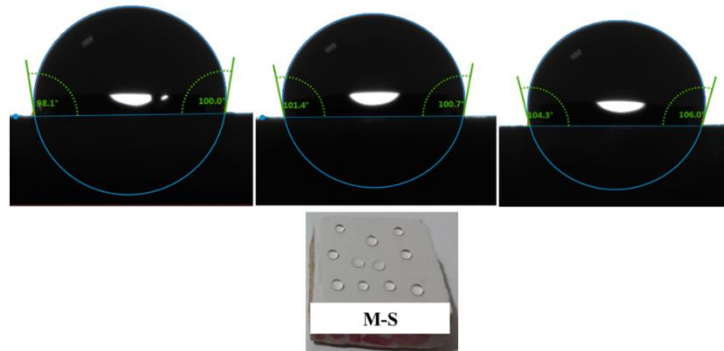


**Şekil 11.** Sinterleme sonrası N1 kompozisyonundaki sıran yüzeyde homojen dağılması ve nano ZnO tanelerinin topaklanması (5000x) (Non-homogeneous distribution of the N1 glaze composition after sintering and agglomeration of nano ZnO grains (5000x))

Bu nedenle yüzey enerjisini düşürmek ve yüzeydeki boşlukları kapatmak için iki farklı polimer (alkol ve su bazlı) ile kaplanarak temas açıları incelenmiştir. Mikron boyutta ZnO ilaveli M reçetesinin pişirildikten sonra yüzeyinin alkol bazlı polimer ile kaplanması sonrası S2 sır reçetesi (ZnO içermeyen) uygulanmış yüzeye kıyasla mikron boyutta ZnO ilavesinin hidrofobik özelliğe katkı sağlamadığı tespit edilmiştir. Elde edilen maksimum temas açısı  $123^\circ$ 'dir. Yüzeyde sır kompozisyonu homojen bir şekilde dağılmadığından farklı bölgelerde farklı temas açıları elde edilmiştir (Şekil 12). Bilindiği üzere hidrofobik özelliği sadece yüzey kimyası değil, yüzey pürüzlülüğü de etkilediğinden değişik bölgelerde farklı temas açılarının elde edilmesine sebep olmuştur. M reçetesinin pişirildikten sonra yüzeyinin su bazlı polimer ile kaplanması sonrası S2 sır reçetesi uygulanmış yüzeye kıyasla iyileşme olmadığı tespit edilmiştir. M-S yüzeyinin farklı bölgelerinden alınmış temas açı ölçümleri Şekil 13'de verilmektedir. Yüzeyin homojen olmaması temas açılarını önemli ölçüde değiştirmektedir. Alkol bazlı polimer kaplamasının su bazlı polimer kaplamasına göre daha yüksek temas açısı sağladığı tespit edilmiştir ( $122^\circ$  (A) ve  $104^\circ$  (S)).

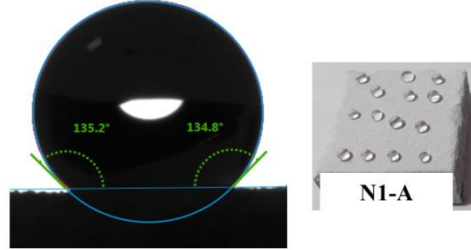


**Şekil 12.** S2 sıraına mikron boyutta ZnO tozu katkılı sır kompozisyonlarının yüzeye uygulanıp pişirim sonrası alkol bazlı polimer ile kaplandıktan sonraki su damlasının yüzeydeki davranışı (The behavior of the water droplet on the surface after applying micron-sized ZnO powder-added glaze compositions to the S2 glaze and coated with alcohol-based polymer after firing)



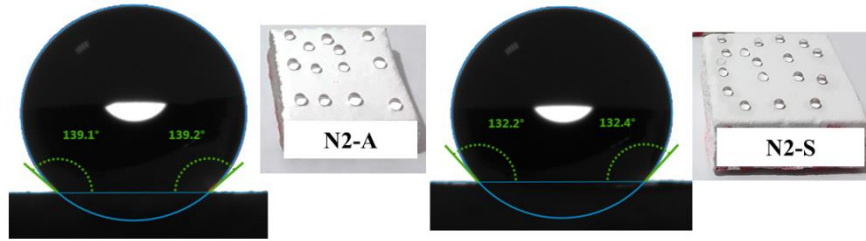
**Şekil 13.** S2 sıraına mikron boyutta ZnO tozu katkılı sır kompozisyonlarının yüzeye uygulanıp pişirim sonrası su bazlı polimer ile kaplandıktan sonraki su damlasının yüzeydeki davranışı (Behavior of the water droplet on the surface after applying micron-sized ZnO powder-added glaze compositions to the S2 glaze and coated with water-based polymer after firing)

Nano boyutta ZnO ilaveli N1 reçetesinin pişirildikten sonra yüzeyine alkol bazlı polimer ile kaplanması sonucu elde edilen yüzeyler Şekil 14’de verilmiştir. Kaplama yüzeye iyi tutunmuş, yüksek temas açısı ( $135^\circ$ ) elde edilmiş ve su damlası, histeri farkından dolayı yüzeyde hareket etmektedir. Hidrofobik etki sağlanmıştır ( $90^\circ <$ ). Sır kompozisyonu aynı ve pişirilme rejimi de aynı olmasına rağmen, su bazlı polimerler ile kaplama sonrasında yüzeyin suyu emdiği gözlenmiştir. Su bazlı polimer yüzeydeki kılcal çatlaklar nedeniyle iyi kaplamadığı için yüzey suyu emerek ölçüm alınamamıştır.



**Şekil 14.** S2 sırna nano boyutta ZnO tozu katkılı sır kompozisyonunun (N1) yüzeye uygulanıp pişirim sonrası alkol bazlı polimer ile kaplandıktan sonraki su damlasının yüzeydeki davranışı (Behavior of the water droplet on the surface after applying the nano-sized ZnO powder-added glaze composition (N1) to the S2 glaze and coated with alcohol-based polymer)

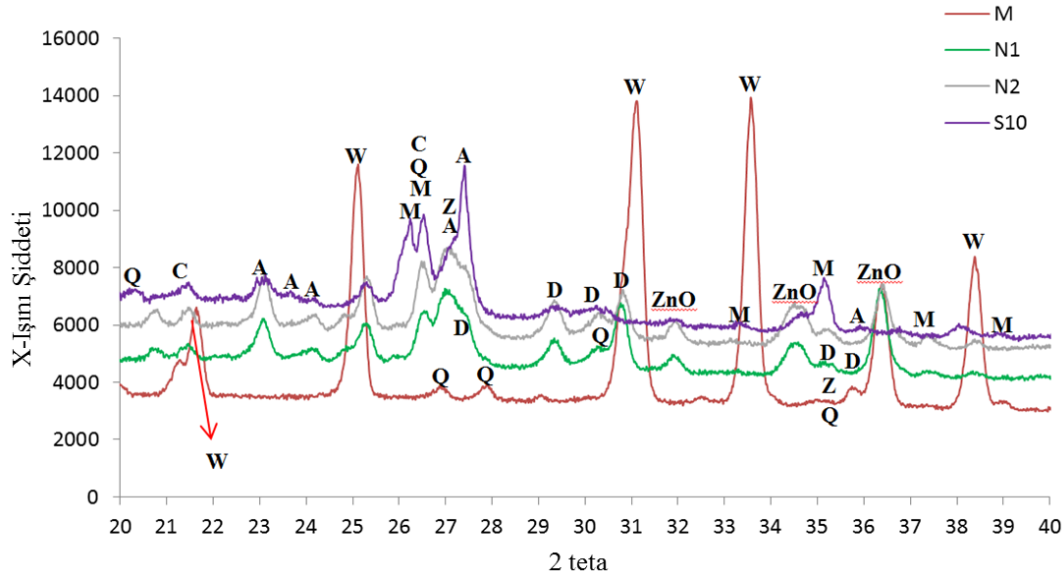
Nano boyuttaki ZnO tozunun miktarının reçetede %5’den %2.5’e azaltılmasıyla hazırlanan kompozisyonun yüzeye uygulanıp pişirilmesi sonucu, yüzeyde oluşan kılcal çatlaklar incelmıştır (N2). Alkol bazlı polimer ile kaplanmış yüzeyin temas açısı  $139^\circ$  iken su bazlı polimer ile kaplanmış yüzeyin temas açısı  $132^\circ$  olarak ölçülmüştür (Şekil 15). Sonuçlar, alkol bazlı polimerin yüzeye daha iyi tutunarak daha yüksek temas açısını sağladığını göstermiştir.



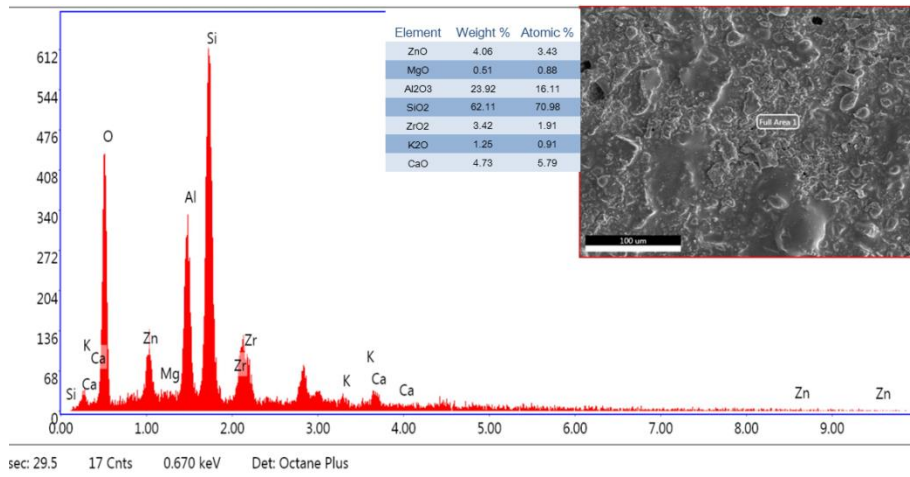
**Şekil 15.** S2 sırna nano boyutta ZnO tozu katkılı sır kompozisyonunun (N2) yüzeye uygulanıp pişirim sonrası alkol ve su bazlı polimer ile kaplandıktan sonraki su damlasının yüzeydeki davranışı (The behavior of the water droplet on the surface after applying the nano-sized ZnO powder-added glaze composition (N2) to the S2 glaze and coated with alcohol and water-based polymer after firing)

### 3.3. Faz Gelişiminin Hidrofobik Özelliğe Etkisi (The Effect of Phase Development on Hydrophobic Property)

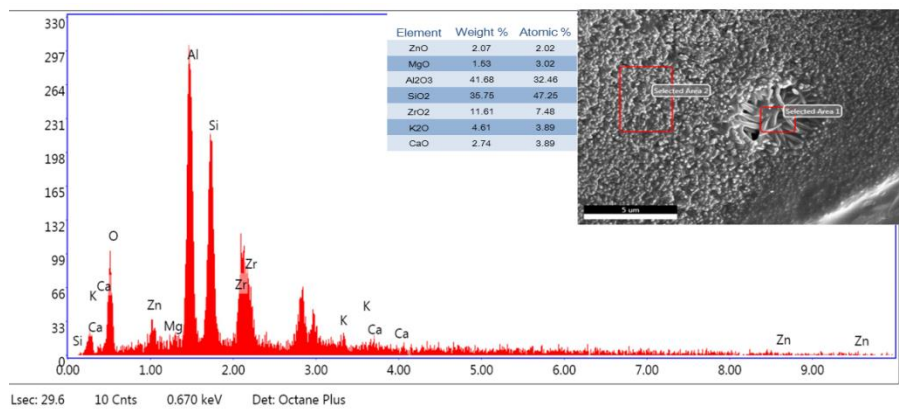
Sinterleme sonrası yüzeylerin XRD analizi yapıldığında Anortit ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), Mullit ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), Diopsit ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ), Zirkon ( $\text{ZrSiO}_4$ ), Kuvars ( $\text{SiO}_2$ ), Kristobalit ( $\text{SiO}_2$ ), Zinsit ( $\text{ZnO}$ ) ve Willemit ( $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$ ) fazları tespit edilmiştir (Şekil 16). S10 yüzeyinde yani ticari porselen karo yüzeyinde mullit ve anortit başta olmak üzere diopsit, zirkon, kuvars ve kristobalit fazları gelişimi gözlenmiştir. Numune yüzeyinden alınan EDX analizinde de fazların kimyasal bileşiminde bulunan Ca, K, Al, Si, O, Zr, Zn ve Mg elementleri tespit edilmiştir (Şekil 17). Öğütülmemiş ve ekstra ZnO katkısı yapılmamış ticari porselen karo sırnının (S10) içinde  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  temel bileşenlerdir. Az miktarda ZnO, MgO,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ve CaO ihtiva etmektedir. ZnO genelde sır içerisine parlaklığı arttırmak ve sır çatlağını önlemek amacıyla ilave edilmektedir. Yüzeyde ayrıca iğnemi mullit kristalleri gelişimi oldukça belirgindir (Şekil 18).



**Şekil 16.** Yüzeylerden alınan XRD spektrumu (A: anortit ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), D: Diopsit ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ), Z: Zirkon ( $\text{ZrSiO}_4$ ), Q: Kuvars ( $\text{SiO}_2$ ), M: Mullit ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), C: Kristobalit ( $\text{SiO}_2$ ), ZnO: Zinsit ( $\text{ZnO}$ ) ve W: Willemit ( $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$ )) (XRD spectrum of developed surfaces (A: anorthite ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), D: Diopside ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ), Z: Zircon ( $\text{ZrSiO}_4$ ), Q: Quartz ( $\text{SiO}_2$ ), M: Mullite ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), C: Kristobalite ( $\text{SiO}_2$ ), ZnO: Zincite ( $\text{ZnO}$ ) and W: Willemit ( $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$ ))



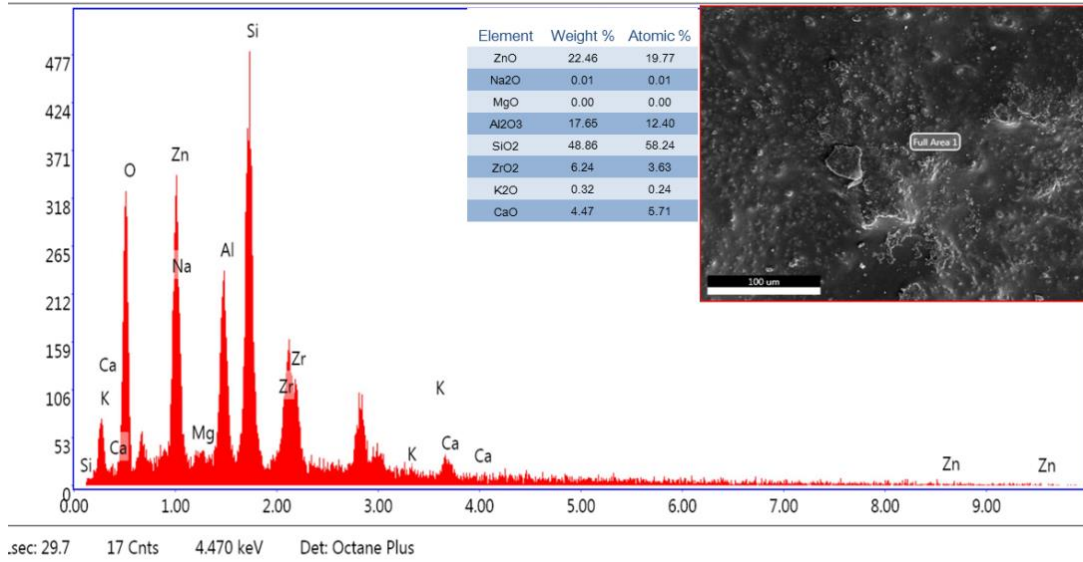
**Şekil 17.** S10 yüzeyinden alınan SEM-EDX alan analizi (SEM-EDX area analysis taken from the S10 surface)



**Şekil 18.** S10 yüzeyindeki iğnemsli kristallerden alınan SEM-EDX alan analizi (SEM-EDX area analysis taken from acicular crystals on S10 surface)

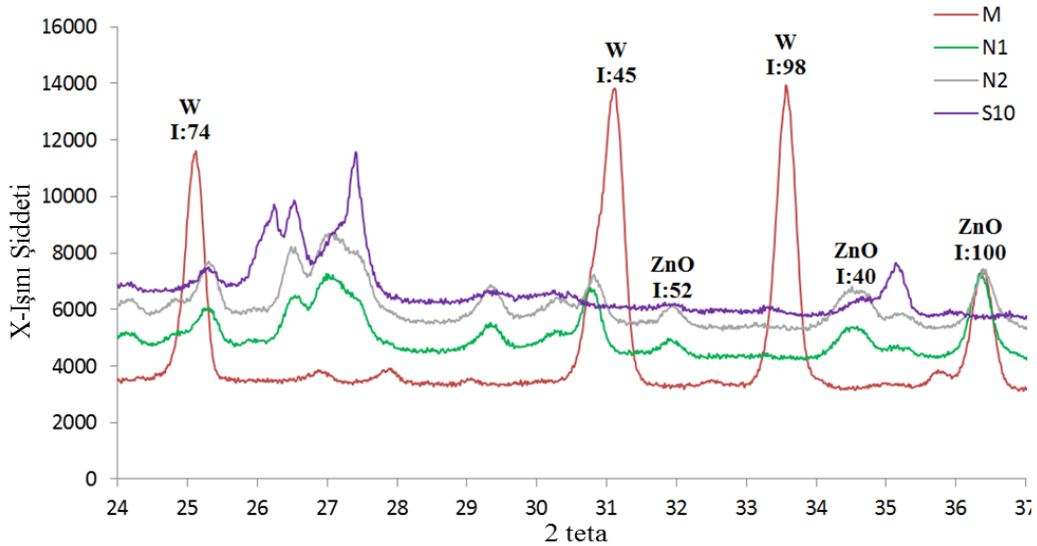
Sır alümina bilyalarla öğütülerek içerisine mikron boyutta hacimce %50 ZnO ilavesi (M) sonrasında SEM-EDX analizi sonucuna göre ZnO miktarı %22.46'ya ulaşmıştır (Şekil 19). SiO<sub>2</sub> miktarı %62.11'den %48.86'ya azalmış ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı da %23.92'den %17.65'e azalmıştır. ZrO<sub>2</sub> miktarı yaklaşık iki kat artarak %3.42'den %6.24'e ulaşmıştır. CaO miktarı değişmemiş (% 4.73 ve %4.47) ve K<sub>2</sub>O miktarı %1.25'den %0.32'ye azalmıştır. XRD analizi

ile SEM-EDX analizi sonuçları birbirini teyit etmektedir. S10 yüzeyinde mullit ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) temel fazlardan iken M yüzeyinde mullitin en şiddetli pikinin olduğu  $2\theta: 26.31'$  de pik gözlenmemiştir. XRD analizinde de Willemite, Anortit, Zirkon, Kuvars ve Kristobalit fazlarına ait pikler tespit edilmiştir. Mikron boyuttaki çinko oksit tozu silika ile reaksiyona girerek willemite fazı ( $Zn_2SiO_4$ ) gelişmiştir. Yani ZnO fazı kararlı değildir.



Şekil 19. M sırası ile kaplı yüzeyin SEM-EDX spektrumu (SEM-EDX spectrum of the surface covered with M glaze)

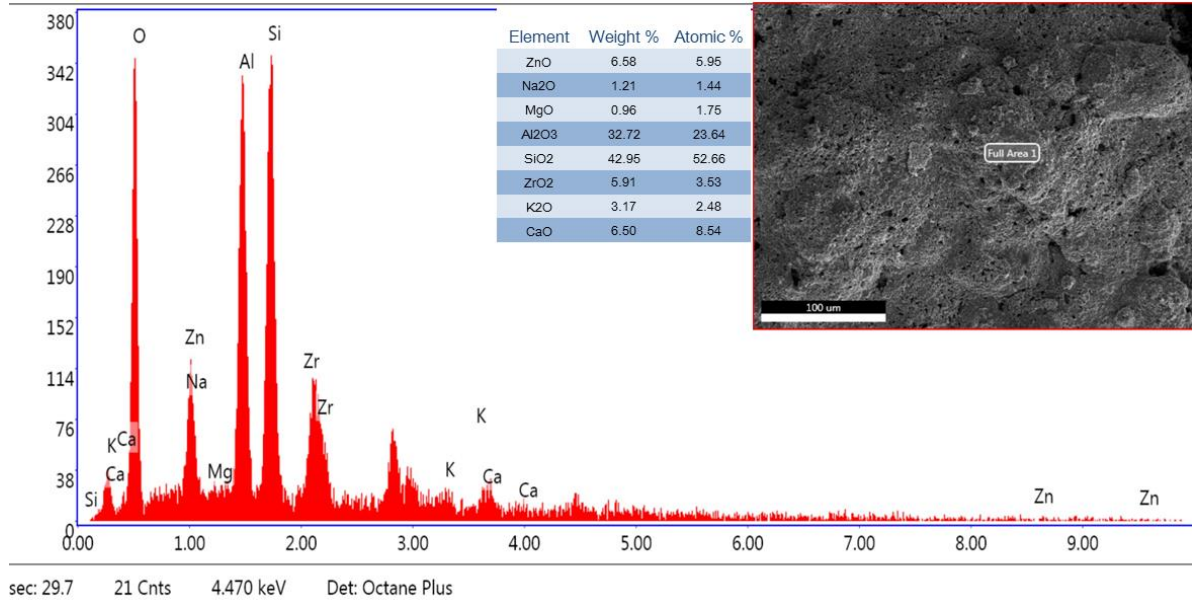
Çinko oksit tozunun ilavesiyle tozun partikül boyutuna bağlı olarak zinsit ve willemite faz gelişimleri gözlenmiştir. Mikron boyutta çinko oksit tozu willemite fazı oluşumunu sağlarken, nano boyutta çinko oksit tozu stabil kalarak zinsit (ZnO) fazı olarak gözlenmiştir (Şekil 20). Yapılan çalışmada farklı miktarlarda (hac. %5 ve 2.5) nano çinko oksit tozu ilavesine rağmen pik şiddetlerinde kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Daha önceden yaptığımız metalik çinko oksit tozunun duvar karosu sırası içerisine katılarak modifiye edilmesi çalışmasında ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak zinsit ve willemite fazlarının gelişimi tespit edilmişti. Zinsit fazı hidrofobik etki sağlarken, willemite fazı hidrofobikliği olumsuz etkilemiştir (Özcan vd. (2018)).



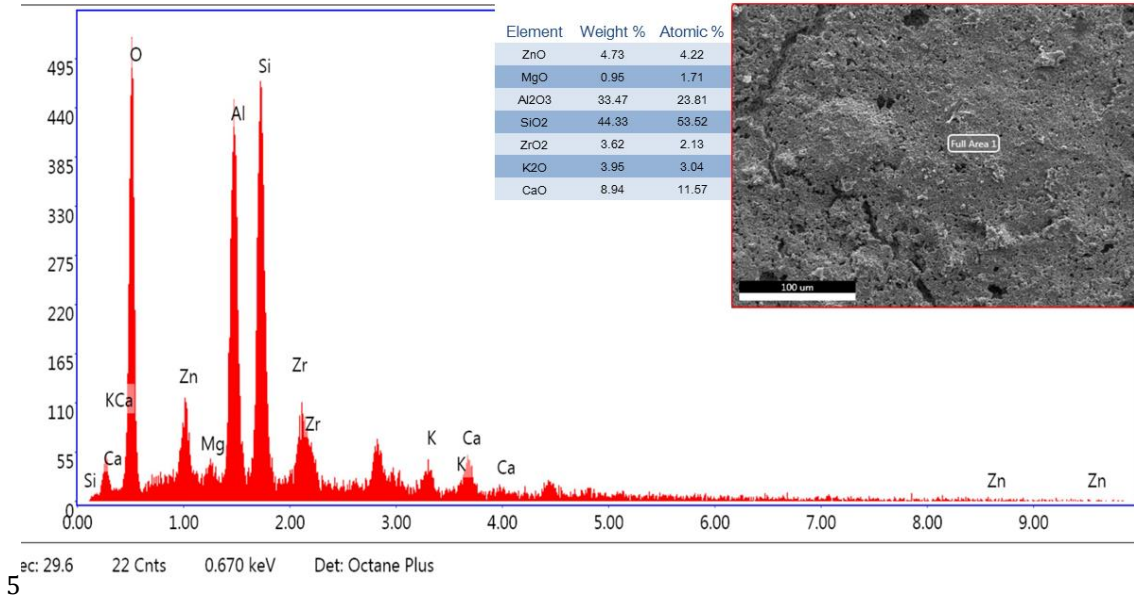
5

Şekil 20. Willemite ve Zinsit fazlarının en şiddetli ilk 3 pikinin XRD spektrumunda gösterimi (Presentation of the first 3 most severe peaks of Willemite and Zinsit phases in the XRD spectrum)

ZnO miktarı %50'den %5 ve 2.5'e azaltılarak nano boyutta toz ilavesi yapıldığında SEM-EDX analizine göre ZnO miktarları %22.46'dan %6.58 (N1) ve %4.73'e (N2) azalmıştır (Şekil 21 ve 22). N1 ve N2 yüzeylerinde eşit miktarda MgO vardır (%0.96 ve 0.95). SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarları da benzerdir (~%33 ve ~%43). ZrO<sub>2</sub> miktarı N1 yüzeyinde %5.91 iken N2 yüzeyinde azalarak %3.62 olarak tespit edilmiştir. K<sub>2</sub>O ve CaO miktarları N2 kompozisyonunda N1'e göre nispeten yüksektir (%3.17 ve 3.95; 6.5 ve 8.94). N1 yüzeyinde %1.21 Na<sub>2</sub>O var iken N2 yüzeyinde analiz edilen bölgede tespit edilememiştir. Yapılan XRD analizinde de her iki yüzeyde de aynı fazlar (Zinsit, Diopsit (g), Anortit, Zirkon, Kuvars, Mullit (çz) ve Kristobalit) tespit edilmiştir.



Şekil 21. N1 sırsı ile kaplı yüzeyin SEM-EDX spektrumu (SEM-EDX spectrum of the surface covered with N1 glaze)



Şekil 22. N2 sırsı ile kaplı yüzeyin SEM-EDX spektrumu (SEM-EDX spectrum of the surface covered with N2 glaze)

Yüzeyler SEM ve XRD ile analiz edilerek faz ve yüzey topografyasının hidrofobik özelliğe etkisi araştırılmış ve Tablo 2'de sonuçlar özetlenmiştir. Kaplama yapılmaksızın yüzey hidrofobik özelliği incelendiğinde uygulanan proses koşullarında çinko oksit ilavesinin hidrofobik özelliğe etkisi görülmemiştir. Bunun nedeni çinko oksit tozlarının yüzeyde homojen dağılmaması ve yüzeyi iyi kaplamamasından kaynaklanmaktadır. Yüzeydeki hatalar yüzeyin suyu emmesine sebep olduğu için temas açısı ölçümleri alınamamıştır. Polimer ile kaplanmış yüzeylerin hidrofobik özellikleri ise zinsit fazı gelişimi sağlayan N1 ve N2 yüzeylerinde oldukça yüksek (135 ve 139°) temas açılarının elde edilmiş olması zinsit fazının hidrofobik özelliğe olumlu etkisi olacağını göstermiştir. Willemite fazının gelişimi yüzeyin hidrofobik özelliğine katkı sağlamamıştır.

**Tablo 2.** Faz ve mikroyapı gelişimine bağlı olarak temas açısı değişimi (çg\*: çok güçlü; g: güçlü, cz: çok zayıf, çcz: çok çok zayıf pik şiddeti) (Contact angle changes depending on phase and microstructure development (vs \*: very strong; s: strong, vw: very weak, vvw: very very weak peak intensity))

Sır	Temas Açısı (°)			Kristal Fazlar	SEM-EDX
	Polimer kaplanmamış yüzey	A Polimeri ile kaplanmış yüzey	S Polimeri ile kaplanmış yüzey		
S10	36° (suyu emmiyor, damla stabil)	102	123	Anortit (çg) Mullit (çg) Zirkon Kuvars Diopsit Kristobalit	ZnO:4.06 MgO:0.51 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :23.92 SiO <sub>2</sub> :62.11 ZrO <sub>2</sub> :3.42 K <sub>2</sub> O:1.25 CaO:4.73
M	Damla yüzeyde yayılıyor, Suyu emiyor	98-106	87-123	Willemit (çg) Anortit Zirkon Kuvars Mullit (çcz) Kristobalit	ZnO:22.46 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :17.65 SiO <sub>2</sub> :48.86 ZrO <sub>2</sub> :6.24 K <sub>2</sub> O:0.32 CaO:4.47 Na <sub>2</sub> O:0.01
N1	Derin kılcal çatlaklar var Yüzey suyu emiyor	135	Suyu emdiği için ölçüm alınamamıştır.	Zinsit Diopsit (g) Anortit Zirkon Kuvars Mullit (cz) Kristobalit	ZnO:6.58 MgO:0.96 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :32.72 SiO <sub>2</sub> :42.95 ZrO <sub>2</sub> :5.91 K <sub>2</sub> O:3.17 CaO:6.50 Na <sub>2</sub> O:1.21
N2	İnce kılcal çatlaklar var Yüzey suyu emiyor	139	132	Zinsit Diopsit (g) Anortit Zirkon Kuvars Mullit (cz) Kristobalit	ZnO: 4.73 MgO:0.95 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :33.47 SiO <sub>2</sub> :44.33 ZrO <sub>2</sub> :3.62 K <sub>2</sub> O:3.95 CaO:8.94

#### 4. Sonuç(Result)

Deneysel çalışmalar sonucunda alkol bazlı kaplamanın su bazlı polimer kaplamaya göre hidrofobik özelliği daha olumlu katkı sağladığı tüm kompozisyonlarda gözlenmiştir. Mikron boyutta çinko oksit tozunun hidrofobikliğe katkısı olmadığı, silisyum ile reaksiyona girerek willemit fazının (Zn<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) gelişimini sağladığı görülmüştür. Nano çinko oksit katkısı ise hidrofobikliğe olumlu etki sağlamış ve zinsit (ZnO) fazını kararlı kılmıştır. Hacimce %5 nano çinko oksit tozu katkılı N1 yüzeyinde kuruma esnasında bile derin çatlak oluşumları gözlenmiştir. Kuruma çekmesinin önlenmesi üzerine çalışmalar yapılacaktır. Tasarlanan kompozisyonlarda polimer kaplama yapmaksızın hidrofobik özellik elde edilememiştir.

#### Teşekkür (Acknowledgement)

Laboratuvar çalışmalarının gerçekleşmesinde katkı sağlayan Seranit Grup Ar-Ge Merkezi ve Seramik Araştırma Merkezi'ne destekleri için teşekkür ederiz. Yapılan çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2019-01.BŞEÜ.03-01 nolu proje ile desteklenmektedir.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

#### Kaynaklar (References)

Abadir, M. F., Sallam, E. H., & Bakr, I. M., 2002. Preparation of porcelain tiles from Egyptian raw materials. *Ceramics International*, 28(3), 303-310.



- Acchar W., Dultra E.J.V., 2015. Porcelain Tile. In: Ceramic Materials from Coffee Bagasse Ash Waste. Springer Briefs in Applied Sciences and Technology. Springer, Cham
- Açıkbaş, G., Suvacı E and Kara, F., 2008. Sır Yüzeyinde Uçucu Organik İlavelerle Morfoloji Eldesi. Uluslararası Katılımlı VII. Seramik Kongresi, 280-288, Afyon, Türkiye.
- Açıkbaş, G., 2007. Seramik Yüzeylerde Mikromorfoloji Oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Açıkbaş, G., Özcan S. and Çalış Açıkbaş, N., 2014. Formation of Superhydrophobic Character on Ceramic Surfaces, 2nd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 606-613.
- Alves, H. J., Melchiades, F. G., & Boschi, A. O., 2012. Effect of feldspar particle size on the porous microstructure and stain resistance of polished porcelain tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, 32(10), 2095-2102.
- Beltrán, V., Ferrer, C., Bagán, V., Sánchez, E., Garcia, J., & Mestre, S., 1996. Influence of pressing powder characteristics and firing temperature on the porous microstructure and stain resistance of porcelain tile. In *Qualicer 96. IV World Congress on Ceramic Tile Quality. General Conferences and Communications. Pt. 1. Castellon (Vol. 10, No. 13)*.
- Bresciani, A., Graziani, G. P., & Ricci, C. 2002. New glazed porcelain tile manufacturing technology: pre-pressing, dry decoration and green cutting. *Qualicer*. 255-270.
- Çalış Açıkbaş N., Açıkbaş, G., Özcan, S. A method for obtaining superhydrophobic surfaces by means of inorganic surface modification, Section C - Chemistry; Metallurgy, TR 2015 03257 B, (2017).
- De Noni Jr, A., Hotza, D., Soler, V. C., & Vilches, E. S., 2010. Influence of composition on mechanical behaviour of porcelain tile. Part I: Microstructural characterization and developed phases after firing. *Materials Science and Engineering: A*, 527(7-8), 1730-1735.
- Dondi, M., Ercolani, G., Guarini, G., Melandri, C., Raimondo, M., e Almendra, E. R., & Cavalcante, P. T., 2005. The role of surface microstructure on the resistance to stains of porcelain stoneware tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, 25(4), 357-365.
- Hasmaliza, M., Foo, H. S., & Mohd, K., 2016. Anatase as antibacterial material in ceramic tiles. *Procedia chemistry*, 19, 828-834.
- Hupa, L., Bergman, R., Fröberg, L., Vane-Tempest, S., Hupa, M., Kronberg, T., ... & Sjöberg, A. M., 2005. Chemical resistance and cleanability of glazed surfaces. *Surface science*, 584(1), 113-118.
- Junior, A. D. N., Hotza, D., Soler, V. C., & Vilches, E. S., 2011. Influence of composition on mechanical behaviour of porcelain tile. Part III: Effect of the cooling rate of the firing cycle. *Materials Science and Engineering: A*, 528(9), 3330-3336
- Junior, A. D. N., Hotza, D., Soler, V. C., & Vilches, E. S., 2009. Effect of quartz particle size on the mechanical behaviour of porcelain tile subjected to different cooling rates. *Journal of the European Ceramic Society*, 29(6), 1039-1046.
- Junior, A. D. N., Hotza, D., Soler, V. C., & Vilches, E. S., 2010. Influence of composition on mechanical behaviour of porcelain tile. Part II: Mechanical properties and microscopic residual stress. *Materials Science and Engineering: A*, 527(7-8), 1736-1743.
- Karasu, B., Sarıcaoğlu, B., 2019. Aventurin Sırlarına Genel Bir Bakış. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*. 6(1), 140-155.
- Kaya, G., Karasu, B., & Cakir, A., 2011. Characterisation of diopside-based glass-ceramic porcelain tile glazes containing borax solid wastes. *Journal of Ceramic Processing Research*, 12(2), 135-139.
- Kuisma, R., Fröberg, L., Kymäläinen, H. R., Pesonen-Leinonen, E., Piispanen, M., Melamies, P., ... & Hupa, L., 2007. Microstructure and cleanability of uncoated and fluoropolymer, zirconia and titania coated ceramic glazed surfaces. *Journal of the European Ceramic Society*, 27(1), 101-108.
- Lanka, S., Alexandrova, E., Kozhukhova, M., Hasan, M. S., Nosonovsky, M., & Sobolev, K., 2019. Tribological and wetting properties of TiO<sub>2</sub> based hydrophobic coatings for ceramics. *Journal of Tribology*, 141(10).
- Määttä, J., Piispanen, M., Kuisma, R., Kymäläinen, H. R., Uusi-Rauva, A., Hurme, K. R., & Hupa, L., 2007. Effect of coating on cleanability of glazed surfaces. *Journal of the European Ceramic Society*, 27(16), 4555-4560.
- Mazzanti, B., Rambaldi, E., & Prete, F., 2014. Chemical etching as anti-slip treatment on porcelain stoneware tiles. *Proceedings of XIII Qualicer, Castellon*, 17-18.
- Neinhuis, C. and Barthlott, W., 1997. Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces, *Ann. Botany*, 79, 667-677.
- Özcan, S., Açıkbaş, G., & Çalış Açıkbaş, N., 2018. Induced superhydrophobic and antimicrobial character of zinc metal modified ceramic wall tile surfaces. *Applied Surface Science*, 438, 136-146.
- Piispanen, M., Määttä, J., Areva, S., Sjöberg, A. M., Hupa, M., & Hupa, L., 2009. Chemical resistance and cleaning properties of coated glazed surfaces. *Journal of the European Ceramic Society*, 29(10), 1855-1860.
- Prochazka, J. (2007). U.S. Patent Application No. 10/571,981.
- Reinosa, J. J., Romero, J. J., Jaquotot, P., Bengochea, M. A., & Fernández, J. F., 2012. Copper based hydrophobic ceramic nanocoating. *Journal of the European Ceramic Society*, 32(2), 277-282.
- Reinosa, J. J., Romero, J. J., Miguel, A., del Campo, A., & Fernández, J. F., 2013. Inorganic hydrophobic coatings: surfaces mimicking the nature. *Ceramics International*, 39(3), 2489-2495.
- Rincón, R. J., Benet, M. P., Juárez, J., Cabezón, C., Pedra, J. M., Carda, J. B., & Martínez, J., 2008. Development of glass-ceramic glazes with anti-slip properties for porcelain tiles. *Qualicer*, 1, 331-344.
- Sánchez, E., 2003. Technical considerations on porcelain tile products and their manufacturing process. *Interceram*, 52(1), 6-15.
- Sánchez, E., Ibanez, M. J., García-Ten, J., Quereda, M. F., Hutchings, I. M., & Xu, Y. M., 2006. Porcelain tile microstructure: implications for polished tile properties. *Journal of the European Ceramic Society*, 26(13), 2533-2540.
- Sánchez, E., García-Ten, J., Sanz, V., & Moreno, A., 2010. Porcelain tile: almost 30 years of steady scientific-technological evolution. *Ceramics International*, 36(3), 831-845.
- Sciancalepore, C., Manfredini, T., & Bondioli, F., 2014. Antibacterial and self-cleaning coatings for silicate ceramics: a review. In *Advances in Science and Technology (Vol. 92, pp. 90-99)*. Trans Tech Publications Ltd.
- Selli, N. T., & Tunali, A., 2013. Comparison of the Performance of Newly Developed Hydrophobic Coatings With Trade One. *Polymers and Polymer Composites*, 21(3), 193-194.

- Suvaci, E., & Tamsu, N., 2010. The role of viscosity on microstructure development and stain resistance in porcelain stoneware tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, 30(15), 3071-3077.
- Tanisan, B., & Turan, S., 2011. Black ceramic pigments for porcelain tile bodies produced with chromite ores and iron oxide waste. *Journal of Ceramic Processing Research*, 12(4), 462-467.
- Tarhan, B., Tarhan, M., & Aydin, T., 2017. Reusing sanitaryware waste products in glazed porcelain tile production. *Ceramics International*, 43(3), 3107-3112.
- Tucci, A., Esposito, L., Malmusi, L., & Piccinini, A., 2002. Wear resistance and stain resistance of porcelain stoneware tiles. *Key Engineering Ceramics*, 206, 1759-1762.
- Tunali, A., & Selli, N. T., 2013. Industrial Plant Application of Hydrophobic Coating on Tile Surface. *Polymers and Polymer Composites*, 21(3), 157-160.
- Van Der, P. E., 1934. U.S. Patent No. 1,949,517. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Vermol, V. V., Kamsah, K., Hassan, O. H., & Anwar, R., 2011. A study on porcelain anti slip tile design. In 2011 IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering (pp. 121-124). IEEE.
- Wu, X., Zheng, L., & Wu, D., 2005. Fabrication of superhydrophobic surfaces from microstructured ZnO-based surfaces via a wet-chemical route. *Langmuir*, 21(7), 2665-2667.



## İÇTEN YANMALI MOTORLARDA ÖSTENİTİK EGZOZ SUPAPLARININ YÜKSEK SICAKLIK AŞINMA MEKANİZMALARININ TESPİTİ

Fatma BAYATA\*

İstanbul Bilgi Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Aşınma, Supap, Baga, İçten Yanmalı Motor, Östenitik.</i>	<p>Bu çalışmada 21-4N (%21 Cr, %9 Mn ve %3.88 Ni temel bileşenli alaşım) egzoz supap malzemesinin PL12 alaşımlı beyaz temper dökme demir бага malzemesi karşısında yüksek sıcaklıktaki aşınma davranışı incelenmiştir. Egzoz supap-baga ikilisinin aşınma testleri için özel olarak geliştirilmiş bir tribometre kullanılarak 25 °C, 350 °C, 550 °C'de ve 20 N yük altında testler yapılmıştır. Yapısal ve termodinamik analizler ile 21-4N supap - PL12 бага ikilisinin ara yüzeyinde gerçekleşen yüksek sıcaklık aşınma mekanizması literatürde ilk kez incelenmiştir. Aşınma sırasında uygulanan lokal basınç ve sıcaklık artışı ile spinel oksit yapılardan oluşan, aşınmaya karşı koruyucu bir tabakanın 21-4N yüzeyinde oluştuğu görülmüştür. Bu oluşan tribofilm yüksek sıcaklıklarda 21-4N supap malzemesinin PL12 бага karşısında hacimsel aşınma kaybının azalmasına neden olmuştur. Ayrıca sıcaklığa bağlı oluşan/çözülen karbür ve karbonitrür fazları da termodinamik olarak hesaplanmıştır. Sıcaklık artışı ile pinin mukavemeti azalırken, 21-4N supap malzemesinin 900°C'ye kadar kararlılık gösteren çökelti fazlarından dolayı mekanik özelliklerini koruduğu ve aşınma direncinin arttırdığı tespit edilmiştir.</p>

## INVESTIGATION OF HIGH TEMPERATURE WEAR MECHANISMS OF AUSTENITIC EXHAUST VALVES IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Keywords	Abstract
<i>Wear, Valve, Valve Seat Insert, Internal Combustion Engine, Austenite.</i>	<p>In this study, high temperature wear behaviour of 21-4N (%21Cr, %9Mn, %3.88 Ni based alloying elements) exhaust valve material against PL12 alloyed white cast iron seat insert material was investigated. The sliding wear tests were conducted at 25°C, 350°C, 550°C and under 20N load using a high temperature tribometer which was designed for the wear tests of valve-seat insert couples. By means of structural and thermodynamic analysis, the high temperature wear mechanism that takes place at the interface of 21-4N-PL12 was investigated for the first time. It was determined that the spinel oxide structures formed a tribolayer on the surface 21-4N by the effects of local pressure and high temperature during the sliding. This causes a decrease in volumetric wear loss of 21-4N against PL12 at high temperatures. Additionally, the formed carbide and nitride phases were calculated thermodynamically. While the strength of pin decreases with increasing temperature, 21-4N maintains its mechanical properties and wear resistance increases since the precipitate phases are stable up to 900° C.</p>

### Alıntı / Cite

Bayata, F., (2021). İçten Yanmalı Motorlarda Östenitik Egzoz Supaplarının Yüksek Sıcaklık Aşınma Mekanizmalarının Tespiti, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 255-264.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

F. Bayata, 0000-0003-4129-8838

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	25.07.2020
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	12.03.2021
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	12.03.2021
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

\* İlgili yazar / Corresponding author: fatma.bayata@bilgi.edu.tr, +90-212-311-7274

## 1. Giriş (Introduction)

Günümüzde motor teknolojileri geliştikçe egzoz subapları ve bagalar (supap yatakları) daha yüksek sıcaklık ve basınç değerlerine maruz kalmaktadır (Pierce vd., 2019; Kim vd., 2001). Bu zorlu koşullarda çalışan ve bunun yanı sıra korozif egzoz emisyonlarına maruz kalan supap bileşenleri (supap ve бага) mekanik özelliklerini kaybederek hasara uğramaktadır (Khan vd., 2018). Supap bileşenlerine etki eden en önemli yüklemeye kayma aşınmasıdır (sliding wear). Yanma prosesi sırasında oluşan basınçtan dolayı supap, бага üzerinde kayma hareketi yapmakta ve dolayısıyla kontak yüzeylerde aşınma meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklığın da etkisiyle aşınma kayıpları önemli miktarda artmaktadır (Ootani vd.,1995; Slatter vd.,2009). Aşınan supap ve бага, yanma odasını iyi ve güvenli bir şekilde kapatamayacağı için motor performansının düşmesine neden olabilmektedir (Ramalho vd.,2009). Bu noktada egzoz supap ve бага malzemelerinin yüksek sıcaklıktaki aşınma dirençleri motor performansı açısından büyük önem arz etmektedir. Ayrıca literatürdeki çalışmalar doğru ve uyumlu supap бага malzemesi seçimi yapmanın aşınma mekanizmaları üzerinde önemli etkileri olduğunu altını çizmektedir (Zhang vd.,2012). Uzun ömürlü supap bileşenleri için yüksek sıcaklıkta aşınma direnci yüksek, yeterli mukavemet ve sertlik değerine sahip, tekrarlı yüklere dayanıklı, korozyon direnci yüksek, kolay şekillendirilebilen ve maliyeti çok yüksek olmayan malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır (Kesavan vd., 2016; Mascarenhas vd.,2015).

21-4N, östenitik supap malzemeleri arasında önemli bir yere sahiptir. Malzemenin içerdiği %21 Cr sayesinde oksidasyon dayanımı yüksektir. İlave %9 Mn ve %3.88 Ni sayesinde ise östenitik matrisi kararlıdır. Yapı içerdiği azot sayesinde çökelti fazlarını stabilize etmektedir. Bu sayede malzeme, mekanik özelliklerini yüksek sıcaklıklara kadar koruyabilmektedir. Ayrıca sürünme, çekme, akma mukavemetleri ve oksidasyon direnci de yüksektir (Chin vd.,2005; Li vd., 2019; Zheng,2019).Tüm bu özelliklerinden dolayı popüler bir supap malzemesi haline gelen 21-4N'in PL12 бага malzemesi karşısında yüksek sıcaklık aşınma davranışı konusunda literatürde sınırlı sayıda bilgi bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, 21-4N supap malzemesinin endüstriyel olarak yaygın kullanılan PL12 dökme demir бага karşısında 25 °C, 350 °C ve 550 °C'deki sıcaklıklarda gösterdiği aşınma direnci ölçülmüştür. Klasik tribometre testlerinde uygulanan yükün yüksek sıcaklıklarda nispeten düşük olması бага-supap çiftinin aşınma davranışlarını yeterli düzeyde temsil edememektedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında supap-baga ikili sistemlerin yüksek sıcaklık aşınma testlerini gerçekleştirmek amacıyla tasarlanmış bir tribometre kullanılmıştır. Yapılan aşınma testleri sonrası, yapısal ve termodinamik analizler gerçekleştirilerek 21-4N supap - PL12 alaşımli beyaz temper dökme demir бага çifti arasındaki yüksek sıcaklık aşınma mekanizması tespit edilmiştir.

## 2. Malzeme ve Yöntem (Material and Method)

Çalışmada kullanılan 21-4N egzoz supap ve PL12 dökme demir baganın kompozisyonları Tablo 1'de sunulmuştur. Bagadan işlenmiş pin ve supaptan üretilmiş disk ikilisi testlerde kullanılmıştır. 21-4N egzoz supap malzemesi 22.5 mm çapında ve 7 mm kalınlığında diskler halinde supap malzemesinden hazırlanmıştır. Pinler ise 15 mm uzunluğunda ve kontak ucu 4.05 mm çapında yarım küre olacak şekilde PL12 alaşımli beyaz temper dökme demir bagadan torna ve frezede işlenmiştir. Disk numunelerin yüzeyleri otomatik zımparalama-parlatma cihazı (Buehler) ile hazırlanmıştır. Zımparalama aşamasında kademeli olarak SiC zımpara kağıtlarının tane boyutu 2000'e çıkarılmıştır, parlatma sırasında ise sırasıyla 3 µm, 1 µm ve 0.25 µm elmas partikül içeren solüsyon kullanılmıştır. Numunelerin yüzeyleri testten önce etil alkol ve aseton ile temizlenmiştir.

**Tablo 1.** Aşınma testlerinde kullanılan egzoz supap ve bagaların kompozisyonel dağılımı (The chemical compositions of exhaust valve and seat insert alloys used in sliding tests)

Alloy	Ni	Cr	Mo	Mn	Si	C	N	Fe
21-4N	3.88	21	-	9	0.22	0.53	0.40	Bal.
PL12	-	12.2	2.0	0.5	1.2	2.4	-	Bal.

Supap-baga ikilisinin yüksek sıcaklık aşınma testlerini gerçekleştirmek üzere Kanada Windsor Üniversitesi'ndeki Tribometre test cihazı kullanılmıştır. Cihaz, motor egzoz supap-baga ara yüzeyinde yanma prosesi sırasında yüksek basınç ve sıcaklıktan dolayı oluşan aşınmayı incelemek için özel tasarlanıp üretilmiştir. Bir fırın ünitesi ile entegre şekilde çalışan bu yüksek sıcaklık tribometresi, 1200°C'ye kadar olan ölçümler için kullanılabilir. Numuneler test sıcaklığına 10° C / dakika ısıtma hızı ile getirilmiştir ve numuneler testten önce 20 dakika sabit sıcaklıkta bekletilmiştir. Kullanılan tribometrenin yük kapasitesi 300 N'dır. Ölçüm sisteminde bir adet lazer pozisyon sensörü kullanılmıştır. Sensör, tribometre shaftının pozisyonundaki değişimi 15 mm hareket mesafesinde % 0,05 hassasiyet ile ölçebilmektedir. Ölçüm frekansı 50 kHz'dir.

Bu çalışma kapsamında, 21-4N egzoz supap malzemesi 25 °C, 350 °C, ve 550 °C'deki sıcaklıklarda PL12 dökme demir pin karşısında 20 N yük altında aşınma testine tabi tutulmuştur. Yüklemler ±1% tekrarlanabilirlikle

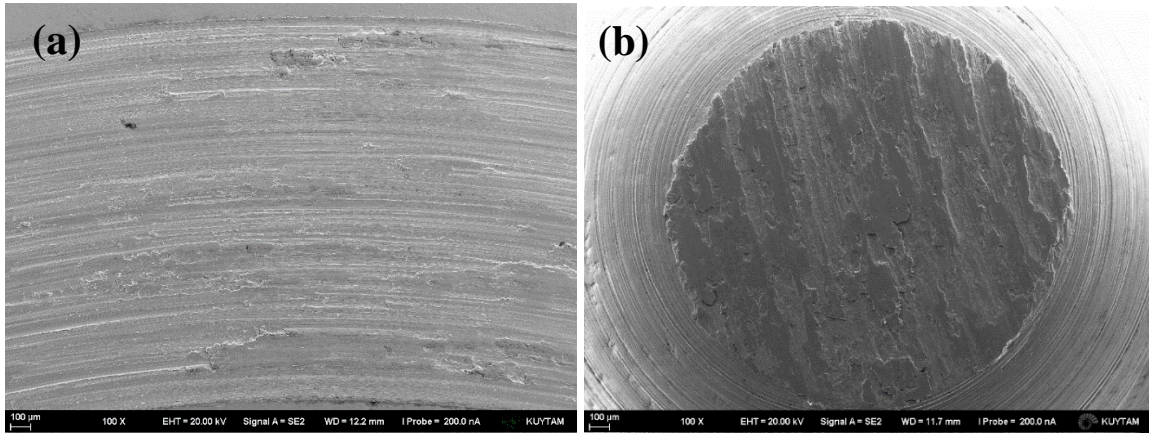
uygulanmıştır. Testler iki tekrarlı yapılmıştır ve testler sırasında lineer hız 150,72 mm/sn ve kayma mesafesi 180 m olarak sabitlenmiştir. Testler hava ortamında gerçekleşmiştir.

Disk ve pin üzerindeki aşınma izleri Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)(Model:ZEISS Ultra Plus) altında incelenmiş ve kompozisyonel analizler Enerji Dağılım Spektrometre (SEM-EDX) ile yapılmıştır. Optik Profilometre (Wyko NT-1100) ile aşınma izleri incelenmiş ve hacimsel aşınma kayıpları hesaplanmıştır. Her aşınma testi sonrası disk ve pin yüzeylerinde oluşan oksit yapıları Mikro Raman Spektrometresi (Horiba) ile incelenmiştir. Buna ilaveten, disk malzemesi üzerinde oluşan doğal oksitler de karakterize edilmiştir. Termodinamik analizler ise Thermocalc Yazılımının (2020-a) süper alaşım kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

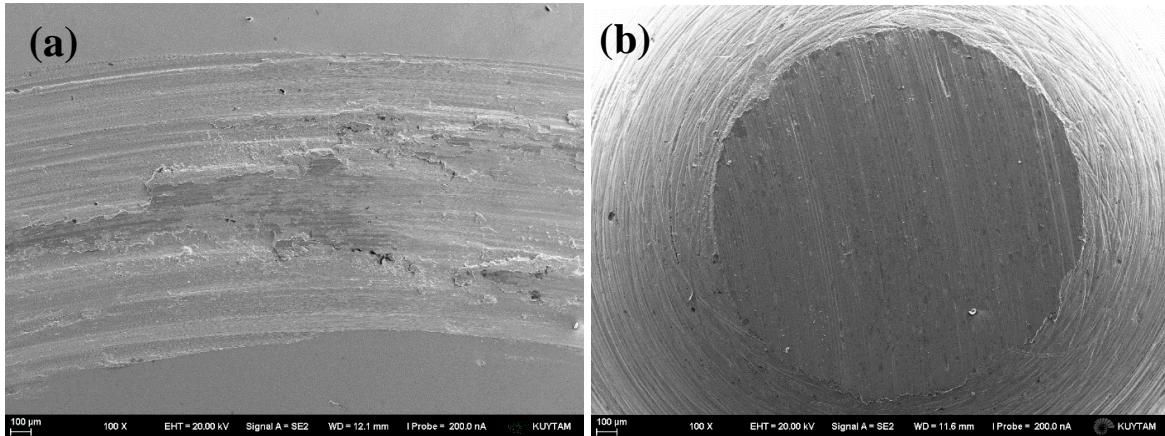
### 3.Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

#### 3.1. Aşınma Testleri (Siding Wear Tests)

Şekil 1a ve 1b'de sırasıyla 25 °C'de ve 20 N yük altında yapılan aşınma testi sonrası disk üzerinde oluşan aşınma izine ve pin kontak yüzeyine ait SEM görüntüleri verilmiştir. 25 °C'de geniş bir aşınma izi olduğu ve bu aşınma izi içerisinde derin çiziklerin meydana geldiği görülmektedir. Pin kontak yüzeyindeki aşınma ise düşük seviyededir ve yüzeyine diskten geldiği düşünülen partiküllerin (debrislerin) yapıştığı gözlemlenmiştir. Disk üzerindeki aşınma izi bölgesinde de yüzeye yapışmış debrislere rastlanmıştır. Test sıcaklığı 350 °C'ye çıkartıldığında ise, disk aşınma izi içerisinde derin çiziklerin kaybolduğu görülmüştür (Şekil 2.a). Pin kontak yüzeyinde ise çizikler derinleşmeye başlamıştır (Şekil 2.b). 550 °C'deki test sonrasında ise, sırasıyla Şekil 3a ve 3b'de görüldüğü üzere disk üzerindeki aşınma oldukça azalırken, pin yüzeyinde yine derin aşınma izleri görülmüştür. Ayrıca aşınma sonucu ortaya çıkan debrisler diskteki aşınma izi üzerine büyük ölçüde sıvanmıştır.



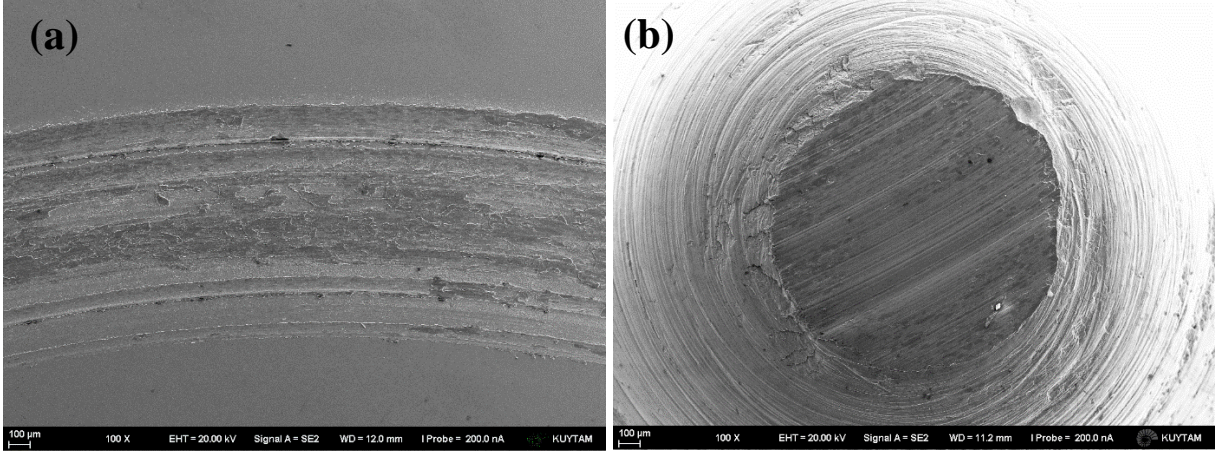
**Şekil 1.** 25 °C'de gerçekleştirilen test sonrası aşınan yüzeylerin SEM görüntüleri (a) 21-4N egzoz supap malzemesi (b) PL12 dökme demir бага malzemesi (SEM images of the worn surfaces after sliding test conducted at 25 °C (a) 21-4N exhaust valve material (disc) (b) PL12 cast iron seat insert material (pin))



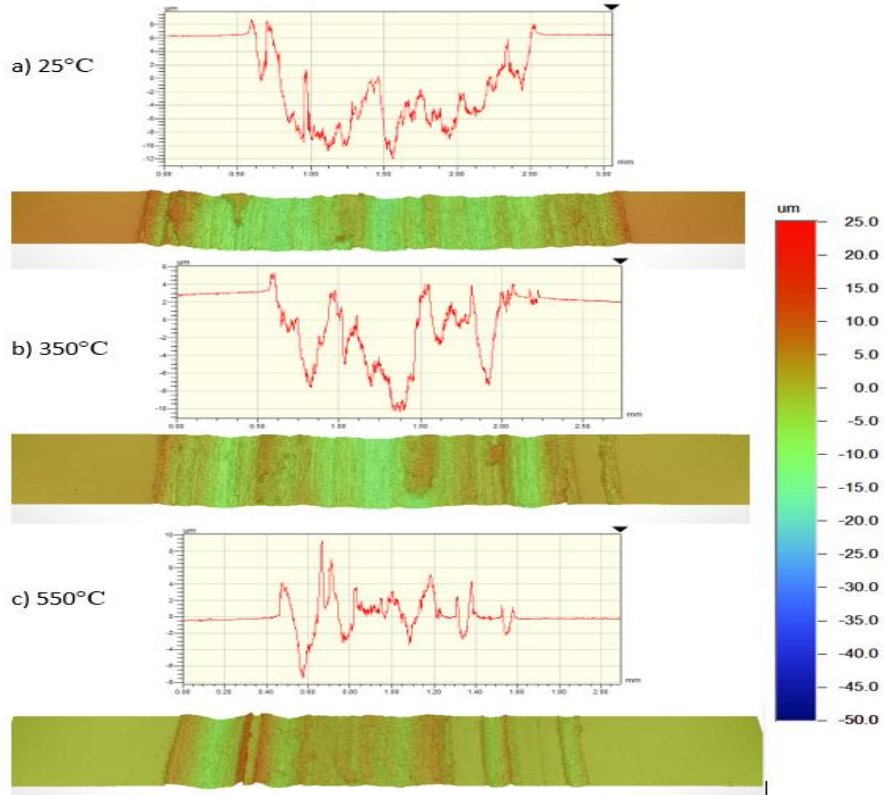
**Şekil 2.** 350 °C'de gerçekleştirilen test sonrası aşınan yüzeylerin SEM görüntüleri (a) 21-4N egzoz supap malzemesi (b) PL12 dökme demir бага malzemesi (SEM images of the worn surfaces after sliding test conducted at 350 °C (a) 21-4N exhaust valve material (b) PL12 cast iron seat insert material)

Testler tamamlandıktan sonra disk ve pin yüzeylerinde oluşan aşınma izleri optik profilometre altında incelenmiştir. Optik profilometre analizleri sırasında, aşınma izi üzerindeki 6 farklı bölgeden veri alınmıştır.

Aşınma izlerinden alınan 2 ve 3 boyutlu (2D ve 3D) profilometre sonuçları Şekil 4'te sunulmuştur. 25 °C'deki test sonrası aşınma izi derinliği 18.3 µm olarak kaydedilmiştir, bu değer 21-4N supap malzemesi için maksimum aşınma derinliği olarak belirlenmiştir. Test sıcaklığı 350 °C'ye çıkartıldığında ise aşınma izindeki derin çizikler azalmaya başlamış ve en yüksek derinlik 12.4 µm olarak tespit edilmiştir. 550 °C'de ise çok iyi bir iyileşme gözlenerek aşınma izi 6.9 µm derinliğe inmiştir.

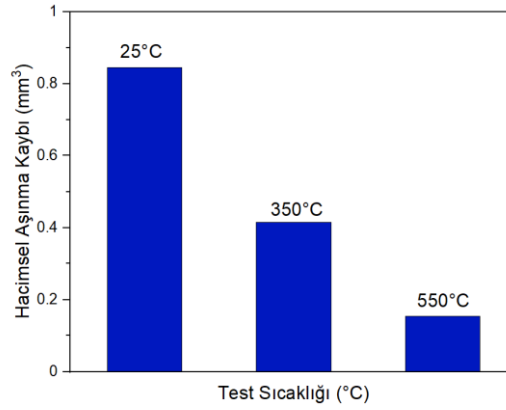


Şekil 3. 550 °C'de gerçekleştirilen test sonrası aşınan yüzeylerin SEM görüntüleri (a) 21-4N egzoz supap malzemesi (b) PL12 dökme demir бага malzemesi (SEM images of the worn surfaces after sliding test conducted at 550 °C (a) 21-4N exhaust valve material (b) PL12 cast iron seat insert material)



Şekil 4. Farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen aşınma testleri sonrası 21-4N disk yüzeyinde oluşan aşınma izlerinden alınan 2D ve 3D optik profilometre görüntüleri a) 25 °C b) 350 °C c) 550 °C (2D and 3-D surface profilometry images of wear tracks formed on the surface of 21-4N after sliding tests performed at different temperatures (a) 25°C, (b)350°C, (c) 550°)

Optik profilometre sonuçları kullanılarak hesaplanan 21-4N diskteki hacimsel aşınma kaybının test sıcaklığına bağlı değişimi Şekil 5'te verilmiştir. En yüksek aşınma kaybı 0.845mm<sup>3</sup> olarak 25 °C'deki test sonucunda kaydedilmiştir. Sıcaklık 350 °C'ye çıkartıldığında aşınmanın önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir ve hacimsel aşınma kaybı 25 °C'dekine kıyasla yarıya (0.415 mm<sup>3</sup>) düşmüştür. 550 °C'de hesaplanan değer 0.154 mm<sup>3</sup>'dür ve tüm sıcaklıklar arasında en düşük hacimsel aşınma kaybıdır.



**Şekil 5.** 21-4N diskteki hacimsel aşınma kaybının test sıcaklığına bağlı değişimi (The variation of volumetric wear loss in 21-4N disc as a function of test temperature)

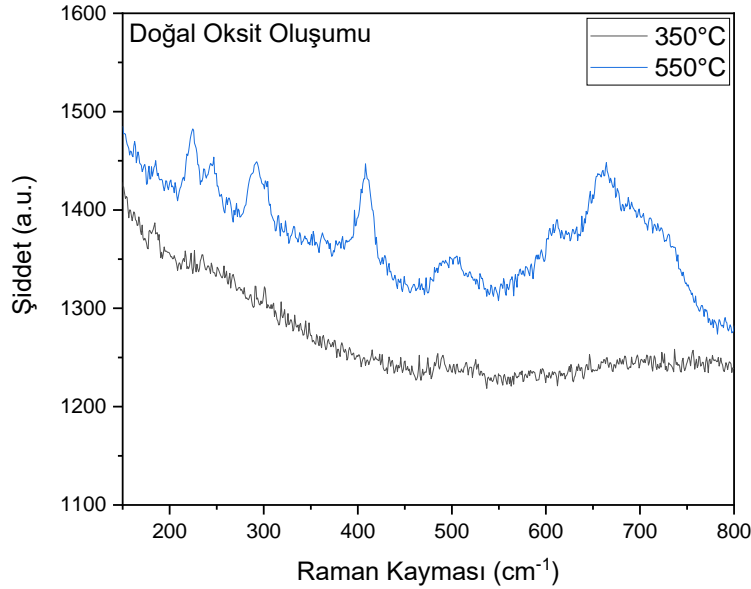
### 3.2. Yapısal-Termodinamik Analizler ve Yapının Aşınma Mekanizması Üzerindeki Etkileri (Structural-Thermodynamic Analysis and the Effects of Structure on Wear Mechanism)

21-4N disk ve PL12 dökme demir pin yüzeylerinde 350 °C ve 550 °C'de gerçekleştirilen aşınma testleri sonrası oluşan oksit yapıları Raman spektroskopisi ile analiz edilmiştir. Ayrıca, 21-4N supap malzemesi aşınma testi uygulanmadan, aynı sıcaklıklarda oksidasyona maruz bırakılmış ve sonrasında yüzeyinde oluşan doğal oksitler Raman analizi ile tespit edilmiştir. Şekil 6'da öncelikle aşınma testi uygulanmamış olan 21-4N üzerinde 350 °C ve 550 °C'de oluşan oksit yapılarının gösterildiği Raman spektrası verilmiştir. 350 °C'de yüzeyde herhangi bir oksit yapısı oluşmamıştır. 550 °C'den itibaren oksit pikleri görülmeye başlanmıştır. Raman spektrasında 225 cm<sup>-1</sup>, 246 cm<sup>-1</sup>, 297 cm<sup>-1</sup>, 410 cm<sup>-1</sup>, 502 cm<sup>-1</sup> ve 610 cm<sup>-1</sup>'daki pikler hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yapısına aittir ve bu pik pozisyonları literatürde verilen hematit pik pozisyonları ile de örtüşmektedir (Faria vd.,1997). Yüksek sıcaklıklarda termodinamik olarak kararlı fazın hematit olmasından dolayı bu yapının oluşumu beklenen bir durumdur. 630cm<sup>-1</sup> - 700cm<sup>-1</sup> aralığında ise geniş bir geometriye sahip bir pik görülmüştür. Bu pik, yapıda spinel katı eriyik (Mn,Cr,Fe)<sub>3</sub>O<sub>4</sub> oluşumunu işaret etmektedir. Normalde saf demirde 200 °C civarında spinel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (magnetit) yapısının oluşması ve artan sıcaklık ile Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> oksit yapısının tamamen Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hematit) yapısına dönüşmesi beklenmektedir. Ancak demirin içerisindeki alaşım elementlerinin etkisi ile Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> spinel yapısı katı eriyik oluşturarak yüksek sıcaklıklarda kararlılığını arttırmıştır. Pikin asimetrik ve geniş karakteri ise (Mn,Cr,Fe)<sub>3</sub>O<sub>4</sub> spinel katı eriyik varlığını ayrıca desteklemektedir (Ristic vd.,2013). Özellikle bu çalışmada kullanılan malzemeler için yüksek sıcaklık ve alaşım etkilerine bağlı olarak 650 cm<sup>-1</sup>-700 cm<sup>-1</sup> arasında spinel yapıların oluşumu gerçekleşebilmektedir (Kim vd.,2014; D'Ippolito vd., 2015; Farrow vd.,1980; Hosterman vd.,2011; Ahlawat vd.,2011; Wang vd.,2003). Spekrada 665 cm<sup>-1</sup> civarında bir pikin belirginleştiği de dikkat çekmektedir. Bu konumda, FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> olmak üzere iki farklı spinel bileşiğinin karakteristik pik pozisyonları bulunmaktadır. FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinelinin 670 cm<sup>-1</sup> civarında (D'Ippolito vd., 2015; Hosterman vd.,2011), Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (hausmannite) spinelinin ise 660 cm<sup>-1</sup> civarındaki karakteristik piki bu pozisyon ile örtüşmektedir (Silva vd.,2013; Ristic vd.,2013; Julien vd.,2004). Yüksek Cr içeriği Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> içerisinde Cr'un çözünerek yüksek sıcaklıklarda yapı içerisinde bir miktar FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>'ün stabilize olmasını sağlamıştır (Faria vd.,1997; D'Ippolito vd., 2015). Bunun yanısıra, yapı içerisindeki Mn ilk oksitlenecek bileşendir. Serbest enerjisi diğer oksitlere göre daha negatiftir. Bu nedenle selektif Mn oksidasyonu gözlenebilir. Literatüre göre (Choi vd., 2019) bu malzeme yüksek sıcaklıkta oksitlendiği zaman yüzeyde Mn içeriği zengin bir oksit oluşur ve Mn içeriğince fakir bir çelik kalır. Bunun yanısıra yüksek miktardaki demirin de oksidi yapıda yer alır. Malzemede %21 Cr varlığı nedeniyle bir miktar da Cr oksit katı eriyiğe karışır. Bu spinel yapılar ilaveten, spinel pikin sağ tarafına doğru genişleyerek ikinci bir pik oluşturmaya başlayacağı anlaşılmaktadır. 700 cm<sup>-1</sup> civarındaki bu pik yapıda çok az miktarda NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinelinin de oluştuğunu göstermektedir (Kim vd.,2014; Kim vd.,2005; Ahlawat vd.,2011; Hosterman vd.,2011). Genel olarak pik pozisyonu, şiddeti ve geometrisi değerlendirildiğinde, 21-4N 550 °C'de doğal oksidasyona maruz bırakıldığında ağırlıklı olarak malzemede spinel katı eriyik (Mn,Cr,Fe)<sub>3</sub>O<sub>4</sub> oluşumu tespit edilmiştir.

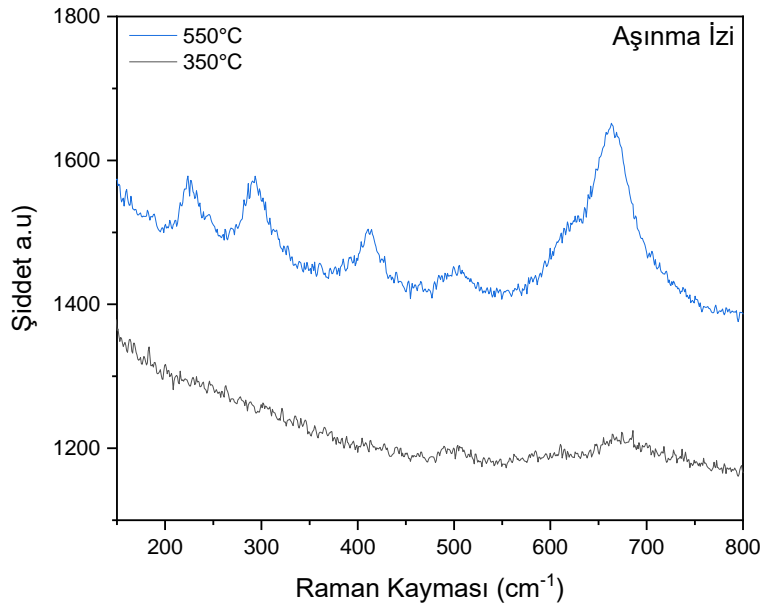
Aşınma izinin olduğu bölgede ise, 665 cm<sup>-1</sup> civarındaki spinel pikin daha düşük sıcaklıkta oluştuğu görülmüştür. Şekil 7'de görüldüğü üzere, 350 °C'de oluşan geniş pik geometrisi farklı stokiyometrelerde (Mn,Cr,Fe)<sub>3</sub>O<sub>4</sub> spinel yapıların varlığını desteklemektedir. Aşınma izi bölgesinde spinel yapıların oluşumu oransal olarak daha fazla olduğu görülmüştür. 550 °C'de ise, 665 cm<sup>-1</sup> civarındaki spinel pikin güçlendiği dikkat çekmektedir. Spinel pik şiddetinin artmasında, aşınma testi sırasında yüzeye uygulanan lokal basıncın ve disk-pin etkileşimi sırasında pinden diske malzeme transferinin etkisi vardır. Aşınan pin yüzeyinden disk yüzeyine malzeme transferi gerçekleştiği SEM resimlerinde de görülmektedir. Sıcaklık artışı ile disk aşınma izi üzerinde biriken debris miktarının arttığı da profilometre sonuçlarından net bir şekilde görülmektedir. %12 Cr içeren pinden gelen ilave

Cr elementinin, aşınan disk yüzeyinde  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  spinel oranını arttırdığı düşünülmektedir. Kristalizasyonun da aşınan bölgede arttığı pikin keskinleşen geometrisinden anlaşılmaktadır.

Pin kontak yüzeylerinde oluşan oksitler de Raman Spektroskopisinde incelenmiştir (Şekil 8). 350 °C'de spektrada hafif şiddette hematit pikleri ve spinel pikleri belirmiştir. Disk malzemesine kıyasla PL12 dökme demir pinde daha düşük miktarda Cr bulunmaktadır. Bu sebeple diskte 350 °C' de herhangi bir doğal oksit oluşumu tespit edilmezken, pin yüzeyinde oksitlenme başlamıştır. 550 °C' de bu pik pozisyonları daha net olarak spektrada belirmiştir. 223  $\text{cm}^{-1}$ , 242  $\text{cm}^{-1}$ , 292  $\text{cm}^{-1}$ , 407  $\text{cm}^{-1}$ , 499  $\text{cm}^{-1}$ , 610  $\text{cm}^{-1}$ ' da hematit pikleri ve 665  $\text{cm}^{-1}$  civarında karakteristik spinel piki görülmüştür. Buradaki spinel pikin  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca spinel ve hematit piklerinin daha keskin geometrisi kristalizasyonun da yüksek olduğunu göstermektedir.

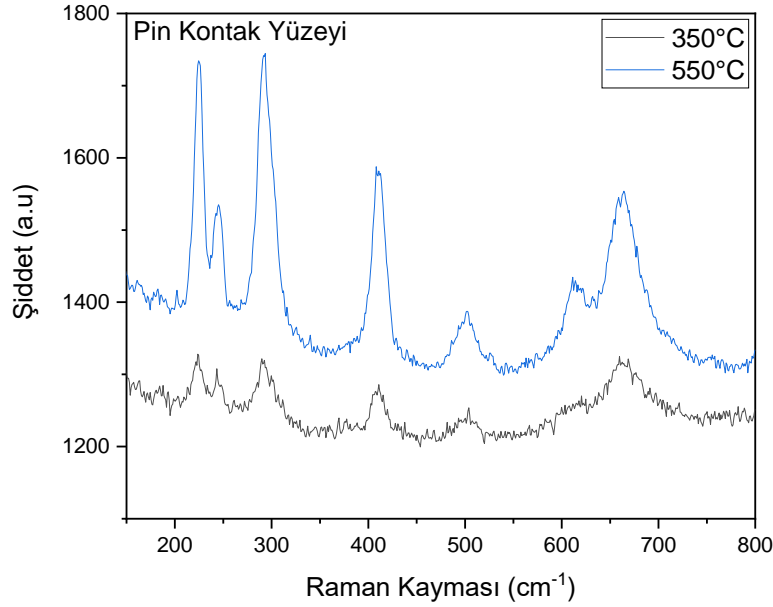


**Şekil 6.** 21-4N supap malzemesinin (aşınma testi uygulanmamış) 350 °C ve 550 °C'deki oksidasyonundan sonra yüzeyinden alınan Raman spektrasi (The Raman Spektra taken from the surface of 21-4N valve material (not subjected to sliding test) after the oxidation process conducted at 350 °C and 550 °C)



**Şekil 7.** 350 °C ve 550 °C'de aşınma testleri uygulandıktan sonra 21-4N supap malzemesi üzerinde oluşan aşınma izinden alınan Raman spektrasi (The Raman Spektra taken from the wear track of 21-4N valve material after sliding tests conducted at 350 °C and 550 °C)



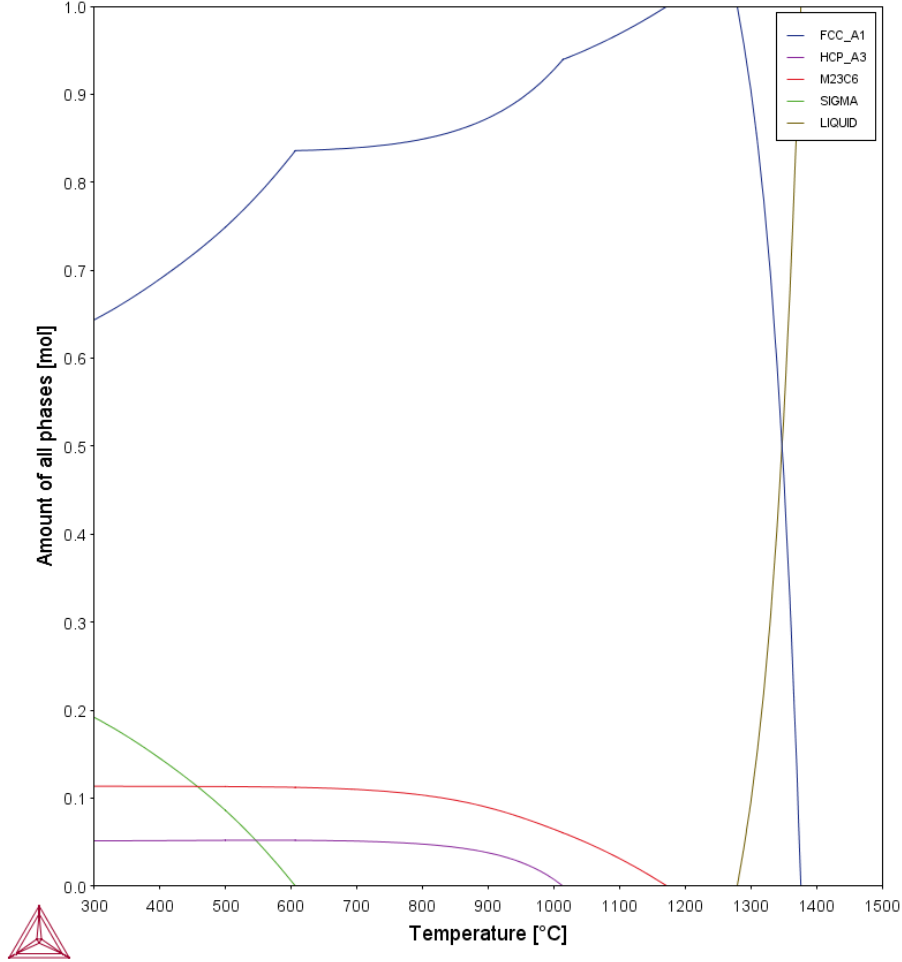


**Şekil 8.** 350 °C ve 550 °C aşınma testlerinde kullanılan PL12 dökme demir бага malzemesinin kontak yüzeyinden alınan Raman spektrası (The Raman Spektra taken from the contact surface of PL12 cast iron seat insert material after sliding tests conducted at 350 °C and 550 °C)

Yapılan SEM, Profilometre ve Raman Analizleri neticesinde, spinel oksitlerin aşınma mekanizmasında önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. Spinel oksitler, aşınma sırasında oluşan lokal basınç altında ve yüksek sıcaklıkta kompakt bir oksit tabakasının oluşumunu desteklemektedir. Bu kompakt oksit, aşınma sırasında oluşan lokal basınç ve yüksek sıcaklık etkisi ile debrislerin tribosinterlenmesi sonucu yüzeyde olduğu gözlenmiştir. Tribosinterlenme sırasında küçük boyuttaki oksitlenmiş veya kısmen oksitlenmiş metal debrislerin arasında güçlü yapışma sağlandığı için bu partiküller birleşerek kompakt bir oksit yapısı oluşturmuştur. Bu kompakt oksitlerin veya filminin oluşumu literatürdeki çeşitli çalışmalarda da yer almaktadır ve yapılar 'glaze' veya 'glaze katmanı' olarak adlandırılmaktadır (Pearson vd.,2013; Kato vd.,2007; Jiang vd.,1998; Rybiak vd.,2010). Bu yapılar disk ile pin ara yüzeyinde üçüncü bir yapı olarak destek elemanı (yastık) olarak işlev görerek sürtünmeyi ve dolayısıyla aşınmayı azaltmaya yardımcı olduğu söylenmektedir (Rybiak vd.,2010; Pearson vd.,2013; Stott vd.,1985; Stott ve Wood, 1978; Inman,2003). Bu çalışmada kullanılan supap ve бага malzemelerinin içerisindeki Cr ve Mn ilaveleri spinel  $Fe_3O_4$ 'ün yüksek sıcaklıklarda da kararlı kalmasını imkan sağlamıştır. Sıcaklık artışıyla,  $Fe_3O_4$  yapısı spinel katı eriyik  $(Fe,Mn,Cr)_3O_4$  oluşturarak yapıda  $Fe_2O_3$  ile beraber bulunduğu Raman analizlerinde de tespit edilmiştir. Oluşan oksit yapıların mekanik özellikleri literatürden araştırıldığında,  $Fe_2O_3$  yapısının spinel  $Fe_3O_4$  yapısına kıyasla daha sert ve abrasif karakterde olduğu ve spinel  $Fe_3O_4$  yapısının  $Fe_2O_3$ 'e kıyasla sürtünmeyi ve aşınmayı daha etkin bir şekilde azalttığı ifade edilmektedir (Chin vd.,2005; Rybiak vd.,2010). Bu çalışmada oluşan spinel oksitlerin yapısı ve özellikleri ise  $Fe_3O_4$  ile çok benzerdir (Hosterman, 2011). Aşınma testi sırasında uygulanan kısmi basınç ve yüksek sıcaklık etkisiyle oluşan spinel oksit debrisler tribosinterlenerek aşınan yüzeylerde kompakt oksit yapıları oluşturmuştur. Aşınan bölgenin yüzeyini kaplayan bu spinel karakterdeki oksit filmi yumuşak, nispeten daha pürüzsüz olduğu için, aşınma sırasında yağlayıcı bir yüzey sağlayarak tribofilm gibi davrandığı ve aşınma rejimini değiştirerek daha az hacimsel aşınma kayıplarına neden olduğu tespit edilmiştir. 21-4N supap malzemesinde düşük sıcaklıklarda bu tribofilmin oluşumu henüz gerçekleşmediği için düşük sıcaklık aşınma testlerinde yüksek oranda hacimsel aşınma kayıpları olmuştur. 550 °C'deki sıcaklıklarda yapılan aşınma testlerinde ise spinel oksit yapılarının kararlılığının artması ile birlikte bu tribofilmin oluşumu desteklenmiştir. 550 °C'de bu tribofilm 21-4N supap malzemesi üzerinde oluşan aşınma izini büyük ölçüde kaplamaya başlamıştır. Aşınma izi üzerinde spinel oksit tribofilmi oluşumu ile beraber, 550 °C'deki aşınma testinde hacimsel aşınma kayıplarında ciddi miktarda azalma tespit edilmiştir.

Yapılan termodinamik analizler ise, östenitik bir paslanmaz çelik olan 21-4N supap malzemesinde oda sıcaklığı ile ergime sıcaklığı arasında beklendiği gibi hakim fazın  $\gamma$ -fcc östenit olduğunu göstermiştir (Şekil 9). Hesaplanan diyagrama göre sıvı faz oluşumu 1280°C'den itibaren başlamış, 1375 °C'de malzeme tamamen ergimektedir. Sıcaklık ile  $\gamma$  östenit fazı içerisindeki HCP, sigma ve  $M_{23}C_6$  çökelti fazlarının miktarı ise değişmektedir. Sigma fazı 600°C üzerinde tamamen çözeltilmeye geçmektedir.  $M_{23}C_6$  fazı 1000°C'ye, HCP fazı ise 1150°C'ye kadar kararlıdır. Sigma fazının uyumlu (coherent) bir intermetalik çökelti oluşturmasından dolayı çözeltilmeye geçişinin malzemenin mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olmamaktadır. Diyagrama göre malzemenin mekanik özelliklerini 900°C'ye kadar koruması ve bu sıcaklığın üzerinde  $M_{23}C_6$  ve HCP fazlarının çözeltilmeye başlaması beklenmektedir. Hesaplanan faz diyagramı ile aşınma davranışı arasında da doğrudan bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Malzemenin sahip olduğu yüksek çökelti fazlarından dolayı 25 °C ve 350 °C'de 21-4N mukavemetinin

ve aşınma dayanımının yüksek olması beklenmektedir. Diğer taraftan бага malzemesi ve aynı zamanda karşıt pin olan PL12 alaşımlı beyaz temper dökme demirin ise mekanik özellikleri/aşınma dayanımı 25 °C'de 21-4N malzemeye kıyasla çok daha yüksektir. Dolayısıyla 25 °C'de disk üzerinde yüksek bir aşınma gözlenmektedir. Artan sıcaklıkla belirtildiği gibi sigma fazının miktarı azalmaktadır. Azalan çökeltiler ile mekanik özelliklerin zayıflaması beklenmektedir. Ancak burada matris ile uyumlu (coherent) bir çökelti olan sigma fazının miktarının azalması mekanik özellikleri önemli ölçüde değiştirmemiştir. 21-4N malzemede mukavemet üzerinde esas etkili fazlar, HCP ve  $M_{23}C_6$  karbür, karbonitrür çökeltileridir. Bu fazlar en az 900 °C'ye kadar kararlılıklarını korudukları için mukavemette bir düşüş olmamıştır. PL12 бага malzemesinin ise sıcaklıkla mekanik özellikleri nispeten hızlı düşmektedir. Dolayısıyla artan sıcaklıkla Şekil 5'de görüldüğü gibi 21-4N diskte hacimsel aşınma kaybı azalmaktadır. Sonuç olarak, 21-4N disk üzerinde oluşan spinel yapıdaki aşınmaya karşı koruyucu oksit tabakasının yanısıra yapıda oluşan karbür ve karbonitrürlerin 21-4N supap malzemesinin yüksek sıcaklık aşınma dayanımına olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 9. 21-4N Supap malzemesi için hesaplanan faz denge diyagramı (The calculated phase diagram for 21-4N valve material)

#### 4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada 21-4N egzoz supap malzemesi PL12 dökme demir бага malzemesi karşısında yüksek sıcaklık tribometre cihazı kullanılarak aşınma testlerine maruz bırakılmıştır. Testler 25 °C, 350 °C ve 550 °C'de 20 N altında gerçekleştirilmiştir. Aşınma testleri sonrası supap ve бага malzemesi üzerinde oluşan aşınma izleri detaylı olarak incelenmiştir. Optik profilometre analizleri sonucu aşınma izlerinin derinliği ve hacimsel aşınma kayıpları hesaplanmıştır. 25 °C'de 21-4N supap malzemesinde aşınma hızının çok yüksek olduğu ve sıcaklık artışı ile aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir. En düşük aşınma kayıpları 550 °C'de kaydedilmiştir. 21-4N egzoz supapı-PL12 dökme demir бага ikilisinin arayüzeyinde gerçekleşen aşınma mekanizması yapısal ve termodinamik analizler ile incelenmiştir. Raman ve SEM analizleri sonuçlarına göre, alaşım elementlerinin etkisi ile spinel oksit yapılarının oluştuğu ve bu yapıların sıcaklık artışı ile beraber kararlılıklarını koruduğu görülmüştür. Bu spinel oksit yapıların aşınma mekanizmasının kontrolünde önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Aşınma testi sırasında oluşan spinel debrisler lokal basınç ve sıcaklık etkisi ile tribosinterlenerek aşınan disk yüzeyinde aşınmaya karşı koruyucu

kompakt bir oksit tabakası oluşturmuştur. Bu koruyucu tribofilm, supap ile бага arasında yağlayıcı bir destek katmanı gibi işlev görerek aşınmayı azaltmıştır. Termodinamik analiz sonuçları ile de aşınma davranışı arasında doğrudan bir ilişki olduğu görülmüştür. 900 °C'ye kadar yapıdaki çökelti fazlarından dolayı 21-4N supap malzemesinin mukavemetini koruduğu tespit edilmiştir. PL12 dökme demir бага malzemesinde ise, yapısındaki çökeltiler artan sıcaklıkla çözeltiye geçmekte ve mukavemetinde düşüşe neden olmaktadır. Sonuç olarak artan sıcaklıkla 21-4N supap malzemesinin PL12 бага malzemesine karşı aşınma direnci yapıda oluşan çökelti fazlarından ve spinel oksit koruyucu/yağlayıcı film oluşumundan dolayı artmıştır.

### **Teşekkür (Acknowledgement):**

Laboratuvar çalışmaları ve testler Kanada Windsor Üniversitesi'nde (Mechanical&Automotive&Materials Engineering Department) yapılmıştır. Yazar vermiş oldukları desteklerden dolayı Üniversiteye ve Prof.Dr. Ahmet Alpas'a teşekkür eder.

### **Çıkar Çatışması (Conflict of Interest):**

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

### **Kaynaklar (References)**

- Ahlawat, A., Sathe, V.G., Reddy, V.R., Gupta, A., Mossbauer, 2011. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Raman and X-ray diffraction studies of superparamagnetic NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles prepared by sol-gel auto-combustion method, 323, 2049-2054.
- Chin K.J., Zaidi, H., Mathi, T., 2005. Wear, Oxide film formation in magnetized sliding steel/steel contact—analysis of the contact stress field and film failure mode, 259, 477-481.
- Choi, J., Seok, C.S., Park, S., Kim, G., 2019. Journal of Materials Research and Technology, Effect of high-temperature degradation on microstructure evolution and mechanical properties of austenitic heat-resistant steel, 8, (2), 2011-2020.
- D'Ippolito, V., Andreozzi, G.B., Bersani, D., Lottici, P. P., 2015. Journal of Raman Spectroscopy, Raman fingerprint of chromate, aluminate and ferrite spinels, 46, 1255-1264.
- Faria, D. L. A., Silva, S. V., Oliveira, M. T., 1997. Journal of Raman Spectroscopy, Raman Microspectroscopy of Some Iron Oxides and Oxyhydroxides, 28, 873-878.
- Farrow, R.L., Benner, R.E., Nagelberg, A.S., Mattern, P.L., 1980. Thin Solid Films, Characterization of surface oxides by Raman spectroscopy, 73, 353-358.
- Hosterman, B.D., 2011. PhD thesis, Raman spectroscopic study of solid solution spinel oxides.
- Inman, I.A., 2003. PhD. Thesis, Compacted oxide layer formation under conditions of limited debris retention at the wear interface during high temperature sliding wear of superalloys.
- Jiang, J., Stott, F.H., Stack, M.M., 1998. Tribol. Int., The role of tribo-particulates in dry sliding wear, 31, 245-256.
- Julien, C.M., Massot, M., Poinsignon, C., 2004. Spectrochimica Acta Part A, Lattice vibrations of manganese oxides Part I. Periodic structures 60, 689-700.
- Kato, H., Komai, K., 2007. Wear, Tribofilm formation and mild wear by tribo-sintering of nanometer-sized oxide particles on rubbing steel surfaces, 262, 36-41.
- Kesavan, D., Done, V., Sridhar, M.R., Billig, R., Nelias, D., 2016. Tribology International, High temperature fretting wear prediction of exhaust valve material, 100, 280-286.
- Khan, M.I., Khan, M.A., Shakoor, A. A., 2018. Engineering Failure Analysis, failure analysis of the exhaust valve from a heavy duty natural gas engine, 85, 77-88.
- Kim, D.K., Kim, D.Y., Ryu, S.H., Kim, D.J., 2001. Journal of Materials Processing Technology, Application of nimonic 80A to the hot forging of an exhaust valve head, 103, 148-152.
- Kim, J. H., Hwang, Il S., 2005. Nuclear Engineering and Design, Development of an in situ Raman spectroscopic system for surface oxide films on metals and alloys in high temperature water, 235, 1029-1040.
- Kim, J., Choi, K.J., Bahn, C.B., Kim, J. H., 2014. Journal of Nuclear Materials, In situ Raman spectroscopic analysis of surface oxide films on Ni-base alloy/low alloy steel dissimilar metal weld interfaces in high-temperature water, 449, 181-187.
- Li, W., Yu, M., Li, J., Zhang, G., Wang, S., 2009. Materials and Design, Characterizations of 21-4N to 4Cr9Si<sub>2</sub> stainless steel dissimilar joint bonded by electric-resistance-heat-aided friction welding, 30, 4230-4235.
- Li, Y., Ji, H., Cai, Z., Tang, X., Li, Y., Liu, J., 2019. Materials, Comparative study on constitutive models for 21-4N heat resistant steel during high temperature deformation, 12, 1893.
- Mascarenhas, L. A.B., Gomes, J.O., Beal, V.E., Portela, A.T., Ferreira, C.V., Barbosa, C.A., 2015. Wear, Design and operation of a high temperature wear test apparatus for automotive valve materials, 342-343, 129-137.
- Ootani, T., Yahata, N., Fujiki, A., Ehira, A., 1995. Wear, Impact wear characteristics of engine valve and valve seat insert materials at high temperature (impact wear tests of austenitic heat-resistant steel SUH36 against Fe-base sintered alloy using plane specimens), 188, 175-184.
- Pearson, S.R., Shipway, P.H., Abere, J.O., Hewitt, R.A.A., 2013. Wear, The effect of temperature on wear and friction of a high strength steel in fretting, 303, 622-631.

- Pierce, D., Haynes, A., Hughes, J., Graves, R., Maziasz, P., Muralidharan, G., Shyam, A., Wang, B., England, R. Daniel, C., 2019. Progress in Materials Science, High temperature materials for heavy duty diesel engines: Historical and future trends, 103, 109–179.
- Ramalho, A., Kapsa, Ph., Bouvard, G., Abry, J.-C., Yoshida, T., Charpentier, M., Bourgeois, M., 2009. Wear, Effect of temperatures up to 400 °C on the impact-sliding of valve-seat contacts, 267, 777–780.
- Ristic, M., Music, S., Popovic, S., Dragc'evic, D., Marciš, M., Ivanda, M., 2013. Journal of Molecular Structure, Synthesis and long-term phase stability of Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles, 1044, 255–261.
- Rybiak, R., Fouvry, S., Bonnet, B., 2010. Wear, Fretting wear of stainless steels under variable temperature conditions: Introduction of a 'composite' wear law, 268, 413–423.
- Silva, G.C., Almeida, F.S., Dantasa, M.S.S., Ferreirab, A.M., Ciminellia, V.S.T., 2013. Spectrochimica Acta Part A, Raman and IR spectroscopic investigation of As adsorbed on Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic Composites, 100, 161–165.
- Slatter, T., Taylor, H., Lewis, R., King, P., 2009. Wear, The influence of laser hardening on wear in the valve and valve seat contact, 267, 797–806.
- Stott, F.H., Wood, G.C., 1978. Tribol. Int., The influence of oxides on the friction and wear of alloys, 11, 211–218.
- Stott, F.H., Glascott, J., Wood, G.C., 1985. Wear, The sliding wear of commercial Fe–12%Cr alloys at high temperature, 101, 311–324.
- Wang, Y. S., Schaefer, S. K., Bennett, C., Barber, G. C., 1995. Society of Automotive Engineers (SAE International), Technical Paper Series, Wear Mechanisms of Valve Seat and Insert in Heavy Duty Diesel Engine, 952476.
- Wang, Z., Saxena, S.K., Lazor, P., O'Neill, H.S.C., 2003. Journal of Physics and Chemistry of Solids, An in situ Raman spectroscopic study of pressure induced dissociation of spinel NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, 64, 425–431.
- Zhang, S., Jin, X., Zhong, W., Xu, A., Zhou, X., Ma, L., and Qui, Z., 2012. Proc. Inst. Mech. Eng., Part J, Investigation on Tribological Behaviour of Diesel Engine Exhaust Valve Dry Sliding Against Valve Seat, 227 (7), 798–805.
- Zheng, Z., 2019. Metals, Experimental study on cross wedge rolling of 21-4N heat resistant steel, 9, 39.



## ZEMİNLERİN KIVAM VE KOMPAKSİYON ÖZELLİKLERİNİN TAHMİNİNDE RASTGELE ORMAN REGRESYONU YÖNTEMİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ

Said Enes NURAY<sup>1</sup>, Hazal Berrak GENÇDAL<sup>2\*</sup>, Zülal AKBAY ARAMA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Kültür Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Likit Limit,  
Kompaksiyon,  
Kil Zeminler,  
Rastgele Orman Regresyonu,  
Karar Ağaçları,  
Regresyon Yöntemi.

### Öz

Bu makalede, yüksek plastisiteli kil zeminlerin kıvam limitleri ve kompaksiyon karakteristikleri arasındaki ilişki basit regresyon ve karar ağaçları tabanlı Rastgele Orman regresyon (RO) yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak analiz edilmesi yoluyla irdelenmiştir. Zeminlerin kompaksiyon parametrelerini oluşturan maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değerlerinin doğrudan belirlenmesinde kullanılan standart laboratuvar deneylerin zorluğu ve uzun numune hazırlama-bekleme süreçleri içermesi nedeni ile göreceli olarak daha pratik deneyler kullanılarak bu parametrelerin tahmin edilmesi günümüzde sıklıkla uygulanan bir yöntemdir. Ayrıca, kıvam limiti deneylerinden likit limit, tüm geoteknik mühendisliği tasarımlarında uygulanan ve tatminkar sonuçlar veren bir deneydir. Bu çalışmada, yüksek plastisiteli kil zeminlere ait literatürde sunulan 387 adet kıvam limiti ve 59 kompaksiyon-kıvam limiti test çiftinin kullanılması ile oluşturulan bir veri tabanı kullanılarak iki aşamalı bir tahmin süreci yürütülmüştür. Birinci aşamada plastisite indisinin doğrudan likit limit değerinden, ikinci aşamada ise kompaksiyon parametrelerinin plastisite indisinden tahmin olasılığı araştırılmıştır. Aynı zamanda, laboratuvar deneylerinden elde edilen gerçek verilerin tutarsızlık durumları ve bu verilerin belirli bir eğilim izlememesi sebebi ile genel regresyon çalışmalarında oluşan doğruluk oranı düşüklüğüne dikkat çekilerek, bu doğruluk oranlarının Rastgele Orman regresyonu yöntemi ile nasıl yükseltilebileceği de incelenmektedir. Sonuçlarda, Rastgele Orman regresyonu yönteminin yüksek plastisiteli kil zeminlerin kıvam ve kompaksiyon özelliklerinin tahmininde başarılı olduğu ve kullanılabilir nitelikte sonuçlar sunduğu gösterilmektedir.

## THE APPLICABILITY OF RANDOM FOREST REGRESSION METHOD FOR THE PREDICTION OF THE CONSISTENCY AND COMPACTION PROPERTIES OF SOILS

### Keywords

Liquid Limit,  
Compaction,  
Clay Soils,  
Random Forest Regression,  
Decision Trees,  
Regression method.

### Abstract

Within this paper, the relationship between consistency limits and compaction characteristics of highly plastic clay soils was examined by comparative analysis of regression and Random Forest regression methods. Due to the difficulty of standard laboratory experiments that have long sample preparation-waiting processes, which are used to directly obtain the maximum dry unit weight and optimum water content values representing the compaction parameters of soils, it is relatively more applicable to estimate these parameters by the use of practical experiments is a method that is frequently applied today. In addition, the liquid limit, one of the consistency limit tests, is an experiment that is applied in all geotechnical engineering designs and gives satisfactory results. In this study, a two-stage estimation process was carried out by using a database created by using 387 consistency limit and 59 compaction-consistency limit test couples presented in the literature studies of high plasticity clay soils. In the first stage, the estimation of the plasticity index directly from the liquid limit, in the second stage, the probability of estimating the compaction parameters from the plasticity index was investigated.

\* İlgili yazar / Corresponding author: h.gencdal@iku.edu.tr, +90-553-347-24-96

At the same time, this study is focused on the inconsistency of the real data obtained directly from the laboratory experiments and the low accuracy rate that occurs in the general regression studies due to the fact that these data do not follow a certain trend. It is also examined how these accuracy rates can be increased by the Random Forest regression method. Consequently, it is shown that the Random Forest regression method can be used for the estimation of the consistency and compaction properties of highly plastic clayey soils, and gives satisfactory results to use.

#### Alıntı / Cite

Nuray, S.E., Gençdal, H.B., Akbay Arama, Z., (2021). Zeminlerin Kıvam Ve Kompaksiyon Özelliklerinin Tahmininde Rastgele Orman Regresyonu Yönteminin Uygulanabilirliği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 265-281.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
S.E. Nuray, 0000-0002-2333-2687	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	02.10.2020
H.B. Gençdal, 0000-0002-1041-5643	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	10.12.2020
Z. Akbay Arama, 0000-0001-8185-7329	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	07.01.2021
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

## 1. Giriş (Introduction)

Geoteknik mühendisliği, doğası zemin olan birçok farklı ve karmaşık malzemeyi inceleyen ve bu malzemelerin davranış mekanizmalarını ve diğer yapısal sistemler ile etkileşimli davranışlarını tasarlayan çok disiplinli bir mühendislik bakış açısını içermektedir. Bu bağlamda, zeminlerin her noktada değişebilen özelliklerinin belirlenmesi ve tasarımlarda kullanılmak üzere ortak tanımlayıcı parametrelerin elde edilmesi geoteknik mühendisliğini çalışmalarının ilk adımını oluşturmaktadır. Arazi ve laboratuvar deneylerinin uygulanması ile belirlenebilen bu tasarım parametrelerinin, elde edilme hızının artırılması ve proje giderlerinin azaltılması amacı ile alternatif tahmin süreçleri günümüz mühendislik tasarımlarında odaklanılan konular arasında yerini almaktadır. Ancak tahmin edilen parametrelerin tasarım için doğrudan kullanımının gerçekliği kanıtlanabilir nitelikte olmalıdır. Bu bağlamda, gözetimli makine öğrenmesi metotlarından olan ve kolektif bir öğrenme algoritmasına sahip Rastgele Orman (RO) regresyonu sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir (Breiman, 2001). Kolektif öğrenme sistemi, metodun bünyesinde barındırdığı karar ağaçları ile çalışması olarak açıklanabilmektedir (Akman vd., 2011). Karmaşık, yüksek boyutlu veriler, karma öznelikli ve sayısal değişkenler, Gauss dışı istatistiksel dağılımlar, doğrusal olmayan ilişkiler gibi sorunlar karşısında, RO regresyonunun arka planında bulundurduğu her bir karar ağacının verdiği tahmin sonuçlarının ortalamasını alarak her veri için bir sayısal tahmin değeri vermesi nedeni ile daha tutarlı olduğu ve bu nedenle yoğun ilgi gördüğü literatür kaynaklarında açıklanmaktadır (Liaw ve Wiener, 2002; Gunther vd., 2003; Segal, 2003; Pal, 2005).

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Son yıllarda uydu görüntüleri üzerinden en doğru bilgiye hızlı bir şekilde ulaşmak için RO regresyon yöntemi, Karar Ağaçları (KA), Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri, K En Yakın Komşuluk gibi regresyon yöntemleri olarak anılan, farklı öğrenme tabanlı algoritmalar geliştirilmektedir. Bu algoritmalar, aynı zamanda makine öğrenmesi yöntemleri olarak da adlandırılabilir. (Özdarıcı Ok vd., 2011). İstatistiksel yöntemlerin aksine, verinin dağılımı ile ilgili herhangi bir varsayıma dayanmadığı için parametrik olmayan makine öğrenme yöntemleri, veri temelli yöntemlerdir. Bu yöntemler, tahmin edici ve buna karşılık gelen cevaplar arasındaki ilişkileri öğrenirler (Breiman, 2001). Makine öğrenme yöntemleri, yeteri büyüklükteki veri setlerinden ve parametrelerden faydalanarak, veri için en uygun modeli girdi veriden elde edilen karar kurallarını kullanarak bulmayı amaçlarlar (Akar ve Güngör, 2012). Öğrenme tabanlı bir makine öğrenmesi aracı olan RO regresyon yöntemi, yüksek doğruluk ve hızlı bir çözüm sağlaması nedeniyle çok farklı alanlarda çalışan araştırmacıların dikkatini çekmiştir (Pal, 2003; Gislason vd., 2004; Waske vd., 2007; Akar vd., 2010). Breiman (2001), RO regresyonun çoğu durumda doğru sonuçlar verdiğini; Pal (2003) ve Gislason vd. (2004), yaptıkları çalışmalarda RO, karar ağaçları yöntemlerini karşılaştırarak, en iyi sonucu RO yönteminin verdiğini; Breiman ve Cutler (2005), RO'nun, şuan ki algoritmalar arasında doğruluğu eşsiz olan bir regresyon yöntemi olduğunu; Gislason vd., (2006), yapmış oldukları araştırmalarda, RO regresyonunun, yeterliliği ve doğruluğu ile çok kullanışlı bir regresyon yöntemi olduğunu, Waske vd. (2007), RO, En Çok Benzerlik (EÇB), Karar Ağaçları ve Hızlandırma yöntemlerini karşılaştırmış, en iyi sonucu RO yöntemi ile elde edildiğini belirtmişlerdir. Akar vd. (2010), yapmış oldukları çalışmalarında RO'nun hızlı olduğunu ve yüksek doğruluk gösterdiğini vurgulamışlardır. Bahsi geçen çalışmaların hiçbiri geoteknik mühendisliği uygulamaları veya zemin bilimi kapsamında değildir ancak RO yönteminin avantajlarını ve kullanılabilir niteliklerini gözler önüne sermektedir. Zeminlerin özelliklerini, RO kullanımı ile tahmin etmeyi amaçlayan çalışmalar son derece az sayıda ve sınırlı çalışma alanındadır. Bu bağlamda, Grimm vd. (2008), Viscara Rossel ve Behrens (2010) çalışmalarında, toprak organik karbon konsantrasyonları, kil içeriği ve pH gibi zemin özelliklerini, RO ile tahmin etmişlerdir. Singh vd. (2017), RO regresyon yöntemini kullanarak

zeminin sızma hızını incelemiş, sonuçları farklı regresyon analiz yöntemleri ile karşılaştırmış ve RO ile elde edilen doğruluk payının diğer analiz sonuçlarına göre %25 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Zhang vd. (2020), ikincil konsolidasyon (Ca) indeksi tahmini için parçacık sürü optimizasyonu ve RO metoduna dayalı yeni bir hibrit akıllı model geliştirmek üzerine çalışmalar yapmışlardır. Pham vd. (2020), RO ve Parçacık Sürü Optimizasyon metodlarını kullanarak zeminin drenajsız kayma dayanımı tahmini için yeni bir hibrit yumuşak hesaplama modeli üzerinde çalışmışlardır. 127 zemin örneğinin deneysel sonuçlarını modelleri eğitmek ve doğrulamak için veri kümeleri oluşturmak için kullanmış, yeni oluşturdukları hibrit yumuşak hesaplama modelini ile zeminin kayma dayanımı tahmininde çok yüksek bir doğruluk performansı gösterdiğini elde etmişlerdir. Şahin (2018), RO ve birkaç farklı metodun heyelanda etkili faktörler içerisinde optimum faktör modelinin tespiti ve heyelan duyarlılık haritası üretimindeki etkinliğini araştırmış ve en yüksek doğruluğu RO'nun tahmin ettiğini belirtmiştir. Shukla vd. (2018), farklı zemin tipleri üzerinde yapmış oldukları çalışmada, zeminlerin sınıflandırılmasında zeminlerin mekansal dağılımını haritalamak, zemin kullanımı ve yönetim kararları hakkında bilgilendirme yapmak için, RO modelini etkin bir şekilde kullanmışlardır. Hint bölgesinin zemin sınıflandırması için RO modeli ile davranış ve performans değerlendirilmesi yapmışlardır. Ließ vd. (2011), 56 farklı zemin tipinin mekânsal dağılımını arazi parametrelerinden tahmin etmek için istatistiksel modeller uyarlayarak, analizler gerçekleştirmişler. Doğrusal regresyon analizleri yanında RO modellerinin de performansını incelemişlerdir. Dharumarajan vd. (2017), 116 zemin örneğinin saha araştırması verilerine dayanarak, zemin özelliklerinin mekânsal değişimini RO yöntemi kullanarak haritalandırmıştır. Kempinen vd. (2017), RO regresyon yönteminin de içinde olduğu farklı yöntemler ile toprağın nemini ve bunun zamansal değişiminin incelemek amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Rastgou vd. (2020), çoklu doğrusal olmayan regresyon yaklaşımı ve RO metodu ile toprak suyu tutma eğrisinin tahmin edilmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Ouedraogo vd. (2018), yeraltı suyu nitrat kirlenmesini modellemek için 250 adet veri kullanarak RO regresyonu analizleri yapmış, sonuçları farklı regresyon yöntemleri ile karşılaştırmış, hangi açıklayıcı değişkenlerin yeraltı sularında nitrat kirliliğinin oluşumunu etkilediğini belirlemiştir. RO metodunun, geleneksel bir doğrusal regresyon modelinden çok daha yüksek bir tahmin gücüne sahip olduğunu belirtmiştir.

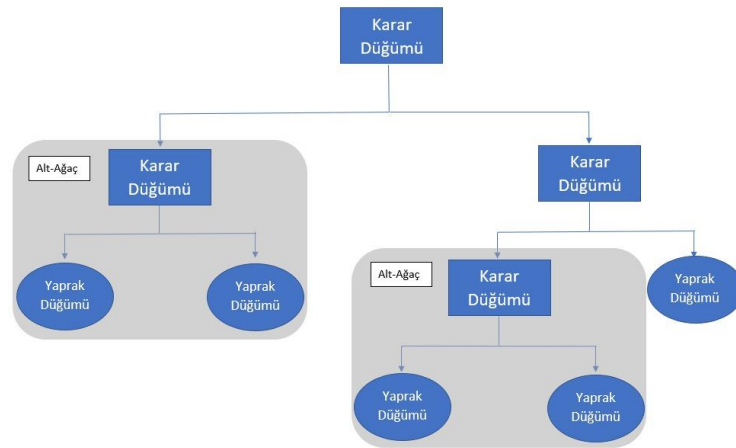
Tüm bu çalışmalar göz önüne alındığında; RO algoritmasının çözüm aracı olarak kullanıldığı tüm problemlerde; hızlı olması ve yüksek doğruluk sağlaması, regresyon analizlerinde çok iyi performans sergilemesi, öğrenmede büyük avantaj sağlaması özellikleri özellikle son yıllarda sıklıkla tercih edilmesini sağlamaktadır. Hali hazırda güncel literatürde RO'nun regresyon performansını denemeye ve diğer regresyon araçlarıyla karşılaştırmaya yönelik uygulamalar yapılmaya da devam edilmektedir. Ancak, RO'nun geoteknik mühendisliği disiplini içeriğinde olan zemin parametre tahmin süreçlerinde kullanımı yok denecek kadar azdır. Bu nedenle, bu makale kapsamında öncelikli olarak Rastgele Orman regresyonu ve arka planında çalışan Karar Ağaçları algoritmaları detaylı şekilde açıklanmaya çalışılacaktır. Akabinde, özellikle kil zemin içeren alanlarda inşa edilecek yapıların tasarımında uygulanan standart laboratuvar deneyi olan likit limit deneyi sonuçlarından faydalanarak plastisite indisi değerinin tahmini ve plastisite indisi değerinden faydalanılarak zemin kompaksiyon karakteristiklerinin RO analizleri ile elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, literatürde yer alan kaynaklarda yüksek plastisiteli kil zeminler için uygulanmış olan kıvam limiti deneyleri sayısallaştırılarak bir veri tabanı oluşturulmuştur. Literatürden alınan bu verilerin ilişkilendirmesinde belirli bir eğilim izlemediği ve genel olarak kullanılan regresyon analizleri ile çok düşük doğruluk veren 59 likit deney sonucunu temsil eden ilk veri seti ile, yine zeminden alınan verilerin belirli bir eğilim izlediği ve genel olarak kullanılan regresyon analizleri ile yüksek doğruluk veren 387 likit deney sonucunu temsil eden ikinci veri seti, RO regresyon yöntemi ile incelenmiş ve sonuçlar genel kullanımdaki regresyon analizleri ile karşılaştırılmıştır. Uygulanan bu çalışma, literatürdeki bilinen ve sık kullanılan veri analizi yöntemleri ile elde edilen düşük determinasyon katsayısı değerlerini ( $R^2$ ) ve diğer ölçüm metriklerini de arttırmayı hedeflemiştir. Bu durum özellikle belirli bir eğilim göstermeyen veri setlerinde (lineer, polinomal, üssel vb.) oluşmaktadır ve sık kullanılan doğrusal regresyon, polinomal regresyon, üssel regresyon gibi analizler düşük determinasyon katsayısı vermektedirler. Rastgele Orman regresyonu ile dağınık veri setlerinde dahi yüksek doğruluk elde etmek mümkün olabildiğinden geoteknik alanındaki veri analizleri işlemlerine fayda sağlayabileceği öngörülmektedir. Sonuç olarak, çalışmaya uygulanabilir bir nitelik kazandırmak amacı ile RO regresyonu yöntemi ile elde edilen ilişkiler, uluslararası metrik değerlendirme parametreleri ile ifade edilerek yüksek plastisiteli kil zeminler için parametre tahmininde kullanılması amacı ile sunulmuştur.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu bölümde, zeminlerin geoteknik parametre tahmin sürecinde kullanılan RO regresyonu ve RO regresyonunun arka planında çalışan karar ağaçları yöntemleri tanıtılarak analizlerde kullanılacak olan verilerin tasnif süreci özetlenmiştir. Bu amaçla, Python Programlama dilinin makine öğrenmesi kütüphanesi olan Scikit-learn kütüphanesi kullanılmıştır. Ayrıca, zeminlerin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile literatürden derlenen veri setinde uygulanan likit limit ve plastik limit deneyleri ASTM D-4318'e göre, zeminlerin sıkışma karakteristiklerini temsil eden standart kompaksiyon deneyleri ASTM D-698'e göre uygulanmıştır.

### 3.1. Karar Ağaçları (KA) (Decision Trees)

Karar ağaçları (KA), literatürde birçok sınıflandırma ve regresyon probleminin çözümünde sıklıkla kullanılan bir veri madenciliği tekniğidir (Pal ve Mather, 2003; Kavzoğlu vd., 2010; Boulila vd., 2011). Sınıflandırma ve regresyon problemlerinin çözümünde tercih edilen KA, çok aşamalı ve ardışık bir yaklaşım kullanarak karmaşık yapıdaki verileri aşamalı bir hale dönüştürür ve basit bir şekilde karar vermeyi sağlamaktadır (Safavian vd., 1991). Bir problemi oluşturan veri setlerinin yapısına göre bir ağaç yapısı şeklinde sınıflandırma ve regresyon modelleri oluşturan karar ağaçları; kategorik veya belirli sınıflara ait verilerin sınıflandırılmasında kullanıldıklarında sınıflandırma ağacı, sürekli verilerin bulunduğu regresyon problemlerinin çözümünde kullanıldıklarında regresyon ağaçları olarak adlandırılmaktadırlar (Hill ve Lewicki, 2006). Karar ağacı yapılarının oluşturulmasında, verilere ilişkin birtakım sorular sorularak karar kurallarının oluşturulması için, ağaç yapısının temel elemanı olan kök düğümünde sorular sorulmaya başlanır ve ağaç yapısının son elemanı olan yapraklara ulaşıncaya kadar ağacın büyümesi veya dallanması devam eder (Pal vd., 2003). Karar ağaç yapılarının oluşturulmasında kullanılan karar kurallarının anlaşılabilir olması yöntemin kullanımını yaygın hale getirmiştir (Kavzoğlu vd., 2010). Bir karar ağacı, kararın içeriğine bağlı olarak olası seçeneklerin her birine bir olasılık atayan karar verme ağacı olarak tanımlanabilmektedir (Magerman, 1995). Karar ağacı, her dal düğümünün çeşitli alternatifler arasında bir seçimi temsil ettiği ve her yaprak düğümünün bir kararı temsil ettiği ağaçtır. Karar ağacı genellikle karar alma hedefiyle, bilgiye ulaşmak için kullanılmaktadır ve kullanıcıların işlem yapmasını gerektiren bir kök düğümü ile başlamaktadır. Bu düğümden sonra kullanıcılar, her bir düğümü karar ağacı öğrenme algoritmasına göre bölmekte ve en sonunda ulaşılan sonuç, her dalın olası bir karar senaryosunu ve sonucunu temsil ettiği bir karar ağacı olmaktadır (Peng vd., 2009) (Şekil 1).



Şekil 1. Karar ağacı şeması (Template of decision tree) [Fidan, H.]

### 3.2. Rastgele Orman Regresyon Yöntemi (RO) (Random Forest Regression Method RF)

Bu araştırmada, zeminlerin geoteknik parametrelerinin belirlenmesinde, Rastgele Orman regresyonu olarak bilinen karar ağacı tabanlı bir regresyon aracı ele alınmıştır. Breiman (2001) tarafından karar ağaçlarının bir kombinasyonu olarak önerilen RO, rastgelelik özelliği eklenerek torbalama yönteminin geliştirilmiş bir versiyonu olarak kullanılmaktadır. RO, tüm değişkenler arasından en iyi dalı kullanarak her bir düğümü dallara ayırmak yerine, her bir düğümde rastgele olarak seçilen değişkenler arasından en iyisini kullanarak her bir düğümü dallara ayırır. Her bir veri seti orijinal veri setinden yer değiştirmeli olarak üretilir (Akar ve Güngör, 2012) ve rastgele özellik kullanılarak ağaçlar geliştirilir (Archer, 2008; Breiman, 2001). Hızlı, istenilen sayı kadar regresyon ağacı geliştiren ve çalıştıran RO, bir veriyi tahmin etmek için, girdi verisini ormandaki her ağaca yerleştirir. Her bir veri seti orijinal veri setinden yeniden örnekleme kullanılarak üretilir. Sonuç olarak RO regresyonu, birden fazla karar ağacını oluşturmaktadır ve daha doğru ve istikrarlı bir tahmin elde etmek için onları birleştirmektedir. Bu nedenle, RO regresyonunun doğru olarak uygulanabilmesi, Karar Ağaçları algoritmasının mantığının çözülmesi ile mümkün olabilmektedir.

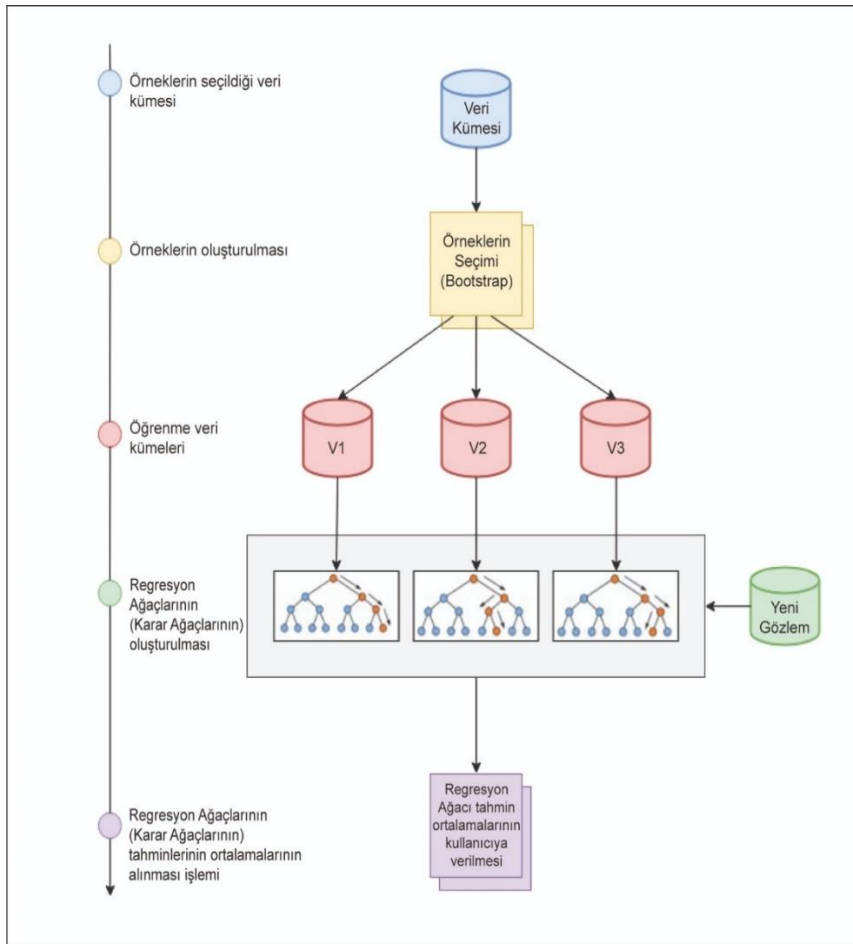
RO regresyonu için kullanıcı tarafından iki parametre tanımlanması gerekmektedir. Bunlar RO regresyonu altyapısında geliştirilecek olan Karar Ağacı sayısı (N) ve her bir düğümde kullanılacak değişken sayılarıdır (m). ID3 algoritması (Scikit-learn kütüphanesi Oython içerisinde analiz yapan araç) ile RO regresyonu için Karar Ağaçları üretilir (Breiman, 2001) ve ID3 algoritması kurallarına göre entropi ile belirsizlik ölçülür ve Eşitlik 1 ile ifade edilir.



$$H(T) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log p(x_i) \quad (1)$$

Burada  $H$  entropiyi,  $p(x_i)$  belirli bir veri sınıfına ait grubun yüzdesini,  $T$  ise seçilen eğitim kümesi elemanlarını belirtmektedir. Entropi ne kadar yüksekse, belirsizlik o kadar yüksektir. Entropi, "0" olana kadar ağaçların dallanması devam eder veya ağaç derinliği belirli bir düzeyde seçilerek ağaç budaması yapılabilir. Rastgele Orman algoritmasının uygulanma aşamaları aşağıdaki gibidir (Akman vd. 2011), (Şekil 2):

1. Orijinal veri setinden  $N$  adet örneklem seçilir. Seçilen örneklemin belli bir kısmı oluşturulacak ağaçlar için öğrenme verisi olarak kullanılır.
2. Budanmamış regresyon ağacı aşağıdaki adımları takip ederek oluşturulur.
  - a. Öğrenme verisi setinden her düğümde bütün bağımsız değişkenler içerisinde en iyi bağımsız değişkeni seçmek yerine rastgele tane bağımsız değişken seçilir ve bunların içerisinde en iyi dallara ayıracak (bilgi kazancını en iyi şekilde sağlayacak) olanı belirlenir.
  - b. Belirlenen tahmin değişkeni için en iyi dallanma kriteri entropi veya Gini indeksi ile hesaplanır ve hesaplanan değere göre veri setini her düğümde iki alt dala ayrılır.
  - c. İlk iki adımda verilen işlemleri aşağıya doğru yaparak düğüm elde edilinceye kadar her bir düğümde tekrar edilir.



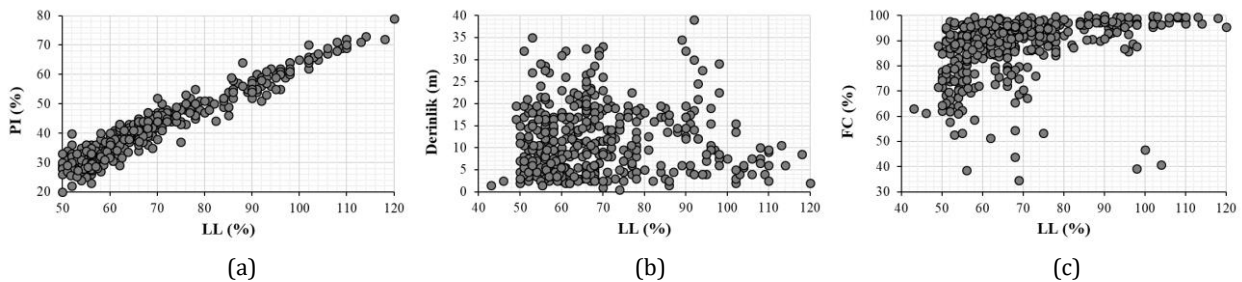
Şekil 2. RO regresyon algoritmasının çalışma prensibi (The working process of Random Forest Regression Algorithm) (Fidan, H.)

3.  $N$  tane ağacın ayrı ayrı yapmış olduğu tahminleri bir araya getirerek yeni bir tahminde bulunur. Regresyon ağaçları (Karar Ağaçları) için en son adımda çıkan ortalama tahmin final tahmini olarak seçilir, yani her gözlem için ayrı ayrı bulunan tahmin değerleri toplanır ve sayısını kullanıcının belirlediği Karar Ağacı sayısına bölünür.

Algoritmanın herhangi bir denklem veya iki boyuttan fazla düşünülmediğinde bir düzlem oluşturamaması bu metodun en önemli eksikliğidir. Herhangi bir denklem üretilmediği için bilgisayar haricinde kullanımı mümkün olamazken, bu regresyon herhangi bir bilgisayar programına entegre edildiğinde başarılı sonuçlar üretebilir. Regresyonun, sadece veri girişinin olduğu aralıklarda çalışabilmesi, yani veri setindeki en küçük girdinin "x", en büyük girdinin "y" olduğu bir durumda, regresyonun "x" den küçük ve "y" den büyük girdileri tahmin edememesi de metodun diğer kısıtlayıcı tarafıdır. Ayrıca bu regresyonun algoritması, verilerin tamamının kullanılmamasına dikkat ederek, veriden rastgele kesitler alır. Rastgele alınan kesitler nedeniyle program, her çalıştırıldığında, birbirine çok yakın ama farklı doğruluklar ( $R^2$ ) verir. Program, aldığı rastgele kesitler üzerinde karar ağaçları oluşturur ve regresyona bir veri girildiğinde karşılığı olan bağımlı veriyi vermek için bu karar ağaçlarının her birinde girdiyi yerine koyarak oluşturduğu karar ağaçlarındaki sonuçların ortalamasını alır. Bu regresyon türünde kullanılacak olan karar ağacı sayısı genel olarak veri sayısının karekökü ile yarısı arasındaki sayılar kadar seçilip, analizler gerçekleştirilebilir. Analizin gerçekleştirileceği ağaç sayısı, doğruluk oranı ( $R^2$ )'nin maksimum olduğu karar ağacı sayısı olarak seçilir.

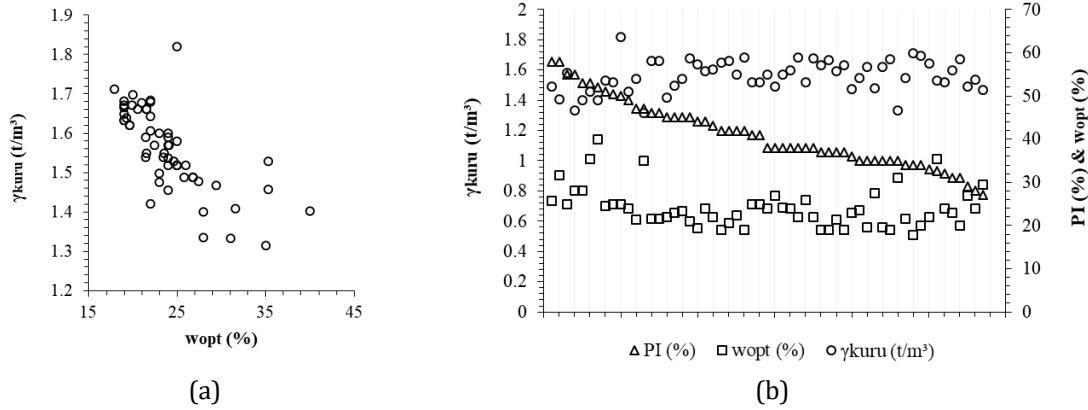
### 3.3. Verilerin Sınıflandırılması (Classification of Datas)

Kıvam limitleri, zeminlerin geoteknik özellikleri açısından en kolay elde edilebilir parametrelerdendir. Likit, plastik ve rötre limitleri şeklinde ayrıştırılarak, zeminlerin fazları arasındaki sınırları temsil eden kıvam limitleri; özellikle ince daneli zeminlerin sınıflandırılmasında doğrudan kullanılan önemli parametreler olup dolaylı yollardan da zeminlerin mukavemet ve rijitlik parametrelerinin tahmininde kullanılmaktadırlar. Kıvam limitlerinin ilgili olduğu uygulamaların başında, her hafriyat ve dolgu alanında uygulanan kompaksiyon işlemleri de gelmektedir. Kompaksiyon belirli bir sıkıştırma enerjisi uygulanarak zemin içerisinde bulunan hava hacmini azaltmak ve bu yolla zeminin sıklık derecesini ve yoğunluğunu arttırmak amacı ile uygulanan mekanik işlemlere verilen addır. En köklü zemin iyileştirme işlemleri arasında başı çeken kompaksiyon uygulamalarının denetim kriteri, sıkıştırılan zeminin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının elde edilmesidir. Bu sıkıştırma özelliklerinin tespiti, karmaşık ve zaman alan bir süreci içerir. Bu nedenle, kıvam limiti deneyleri gibi kolay uygulanan deneylerden faydalanarak sıkıştırma özelliklerini tahmin etme mantığının kullanılması sıklıkla tercih edilmektedir. Literatürde etkin kullanımı gözlemlenen yöntemlerden regresyon analizleri; Günaydın (2009), Thompson ve White (2008), Matteo vd. (2009), Canillas ve Saloke (2001), Omar vd. (2003), Khuntia vd. (2014) ve Viji vd. (2013), Akbay Arama vd. (2020) tarafından, yapay sinir ağları Günaydın (2009), Viji vd. (2013), Sinha ve Wang (2008) ve Ardakani ve Kordnaej (2019) tarafından geoteknik parametre tahminlerinde kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, sadece yüksek derecede plastik inorganik killer (CH) için yapılan kıvam limitleri ve kompaksiyon deneyleri dikkate alınarak, literatürde kabul gören kaynaklardan 357 adet kıvam limiti deneyleri ve 59 adet standart Proctor deneyi verisi toplanarak geniş bir veri tabanı oluşturulmuştur. (Dewoolkar ve Huzjak, 2005; Mehta ve Sachan, 2017; Benson vd., 1994; Benson vd., 1999, Singhal vd., 2005). Çalışma, plastisite indeksi değeri ve sıkıştırma özelliklerinin elde edilmesi amacıyla iki farklı aşamaya ayrılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, likit limit deneyleri değerleri ile basit regresyon ve RO regresyon analizleri kullanılarak doğrudan plastisite indeksi değerine ulaşılması ve gerçek laboratuvar deneylerinin sonuçları ile kontrol edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise tekrar basit regresyon ve RO regresyon uygulamaları kullanılarak yüksek plastik killer için belirlenen optimum su içeriği ve maksimum kuru birim ağırlık değerlerinin elde edilmesinin mümkün olup olmadığının kontrol edilmesi amaçlanmıştır. Hem kıvam hem de sıkışma davranışını en uygun belirleme yoluna ulaşmak için söz konusu çözüm teknikleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Aynı zamanda, zeminlerin kıvam özelliklerinin yapılan regresyon analizleri sonucunda belirli bir davranış eğilimi takip ettiği ve bu sebeple yüksek doğruluk veren verilerin 1. veri setini oluşturduğu düşünülmüştür. Bu veri setinde değişkenler kendi aralarında birleştirilerek tek ve çok değişkenli regresyon ile RO regresyonu yöntemi kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu veri seti, yüksek plastisiteli killi zeminler için Şekil 3a'da verildiği gibi likit limit ve plastisite indeksi grubunu ve aynı zamanda çok değişkenli analizler için Şekil 3b ve Şekil 3c'de sırası ile verildiği gibi derinlik ve ince dane oranını içermektedir.



Şekil 3. Birinci veri setinde; likit limit, plastik limit ve ince dane oranı değişimi (The change of liquid limit and fine content rate for the first data set)

İkinci veri setinde ise, zeminden alınan verilerin belirli bir davranış eğilimi izlemediği ve genel olarak kullanılan regresyon analizleri ile çok düşük doğruluk veren 59 adet deney sonucunu temsil etmektedir (Şekil 2). İkinci veri seti uygulamalarında da yine değişkenler kendi aralarında birleştirilmiş ve tek ve çok değişkenli regresyon ile RO regresyonu yöntemi kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu veri seti, killi zeminler için likit limit ve plastik limit deney sonuçlarından elde edilen plastisite indeksi (PI) ile kompaksiyon deneylerinden elde edilen optimum su muhtevası ( $w_{opt}$ ) ve kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_{kuru}$ ) parametrelerini içermektedir. İkinci veri seti sırası ile Şekil 4'te likit limit, plastisite indeksi ve ince dane oranı değişimi şeklinde ve Şekil 4a'da optimum su muhtevası-maksimum kuru birim hacim ağırlığı değişimi ve Şekil 4b'de optimum su muhtevası-maksimum kuru birim hacim ağırlığı-plastisite indeksi değişimi ile sunulmuştur.



**Şekil 4.** İkinci veri setinde; maksimum kuru birim hacim ağırlık, optimum su muhtevası ve plastisite indeksi değişimi (The change of maximum dry unit weight, optimum water content and plasticity index for the second data set)

Söz konusu iki veri seti arasındaki temel fark, killi zeminler için uygulanan regresyon analizlerinde verdikleri doğruluk oranıdır. Birinci veri seti uygulanan doğrusal regresyon analizleri sonucunda yüksek doğruluk vermektedir. Bu ayrıştırmadaki asıl amaç, doğrusal regresyon ile yüksek doğruluk veren veri setlerinde de RO metodunun sonuçlarını gözlemleyebilmektir. Bu bağlamda uygulanan analizlerde, birinci veri seti için, regresyon ve RO analizlerinde ilk adımda likit limit ve plastisite indeksi arasındaki ilişkiyi elde etmek; ikinci adımda ise plastisite indeksi değerini hem deney numunesinin alındığı derinliği ( $h$ ) hem de hesaplanan likit limit değeri açısından elde etmek amaçlanmıştır. İkinci veri seti için; regresyon ve RO regresyonu analizleri, ilk adım plastisite indeksi ile kompaksiyon parametresi olan optimum su muhtevası ilişkisini elde etmek için yapılmıştır. İkinci adım ise plastisite indeksi ile diğer bir kompaksiyon parametresi olan maksimum kuru birim hacim ağırlık ilişkisini elde etmek için yapılmıştır. İkinci veri seti analizlerinde ayrıca üçüncü ve dördüncü adım da öngörülerek, plastisite indeksi ile kompaksiyon parametreleri olan optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık ilişkisi entegre bir şekilde de göz önüne alınmıştır.

#### 4. Değerlendirme ve Sonuçlar (Evaluations And Results)

Zeminlerin kıvam ve kompaksiyon özelliklerinin tahmininde RO regresyonu yönteminin uygulanabilirliğinin denetlenmesi amacı ile ayrıştırılan veri setlerinde yapılan analizler sonucunda elde edilen çıktılar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

##### 4.1. Veri Seti Analiz 1 (The Analysis of Data Set 1)

Toplam 387 veriye sahip olan birinci veri seti (Şekil 3) analizleri dahilinde üç farklı analiz türü uygulanmaktadır. Bu analiz türleri basit doğrusal regresyon ve çoklu doğrusal regresyon ve RO regresyonu yöntemi şeklindedir. Bu bölümdeki çalışmaların temel amacı, rastgele bir eğilime uyum gösteren verilerde Rastgele Orman metodunun etkisini LL değerlerinin kullanımı ile PI değeri tahmin sürecinde gözlemlemektir.

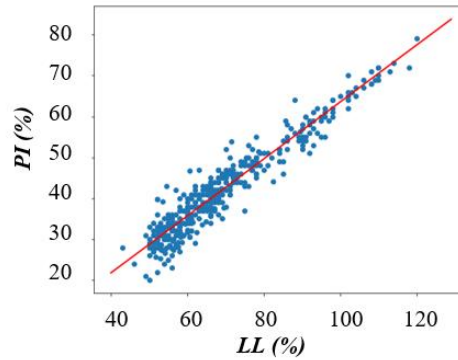
##### 4.1.1. PI değerinin LL ile tahmini (LL: Bağımsız, PI: Bağımlı) (The Prediction of PI via LL (LL:Independent, PI: Dependent))

###### 1. Basit regresyon analizleri kullanımı (The usage of simple regression analysis) :

PI değerinin tek değişken olan LL değerine bağlı olarak tahmininde basit doğrusal regresyon analizleri kullanılmıştır. Analizler için 387 adet likit limit deneyi kullanılmış ve PI ile LL arasındaki ilişki Eşitlik (2) ile elde edilmiştir.

$$PI = 0.696*LL - 6.077 \quad (2)$$

Kıvam limitleri deneylerinin gerçek değerlerine göre Eşitlik (2) 'in hesaplanması ile elde edilen sonuç eğrisi Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5'te PI ile LL arasındaki doğrusal bir ilişki eğilimi bulunduğu aşikârdır.

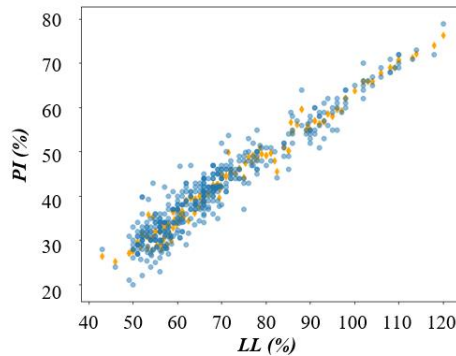


**Şekil 5.** Birinci veri seti için basit doğrusal regresyon ile PI-LL ilişkisi (The relationship between PI-LL via linear regression (Data set 1))

Bu veri dağılımı ile  $R^2$  (determinasyon katsayısı) değeri 0.91 olarak elde edilmiş, SSE (Sum of Squared Errors) değeri 4692.55, MSE (Mean Squared Errors) değeri 11.015, RMSE (Root Mean Squared Error) değeri 3.318 ve MAE (Mean Absolute Error) değeri 2.51 şeklinde hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, PI-LL ilişkisinden yüksek bir doğruluk elde edildiğini ve veri başına düşen hatanın oldukça düşük olduğunu göstermektedir.

## 2. RO regresyonu yöntemi kullanımı (The usage of random forest regression method):

Basit regresyon analizi ile aynı veri seti kullanılarak RO regresyonu ile analizler yenilenmiştir. Şekil 6'daki turuncu noktalar gerçek verileri, mavi noktalar RO regresyonu yönteminin tahmin ettiği verileri temsil etmektedir. Bu veri dağılımından  $R^2$  değeri 0.935, SSE değeri 3433.46 ve MAE değeri 2.13 şeklinde hesaplanmıştır. RO regresyon yöntemi kullanılarak yapılan analizler, yüksek doğrulukta doğrusal davranış gösteren bir veri setine bile RO regresyonu uygulandığında, doğruluğun 0.91 değerinden 0.935 değerine kadar arttığı, SSE'nin ise 4692.55 değerinden 3433.46 değerine gerilediği ve MAE nin 2.51 değerinden 2.13 değerine gerilediği gözlemlenmiştir.



**Şekil 6.** Birinci veri seti için RO regresyonu yöntemi ile PI-LL ilişkisi (The relationship between PI-LL via Random Forest (RF) regression method (Data set 1))

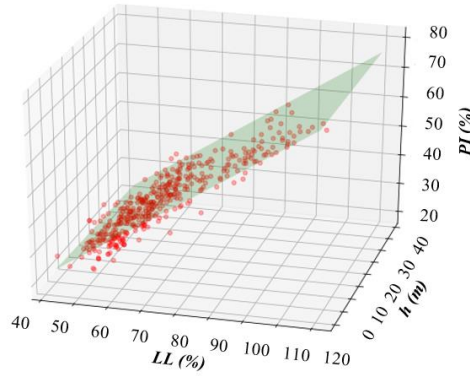
### 4.1.2. PI değerinin LL ve h ile tahmini (LL, h: Bağımsız, PI: Bağımlı) (The Prediction of PI via LL and h (LL, h: Independent, PI: Dependent))

#### 1. Çoklu regresyon analizleri kullanımı (The usage of multi-lineer regression analysis) :

PI değerinin LL ve h değerine bağlı olarak tahmininde çoklu doğrusal regresyon analizleri uygulanmıştır. Analizler için 387 adet likit limit deneyi kullanılmış ve PI ile LL, h arasındaki ilişki Eşitlik (3) ile elde edilmiştir.

$$PI = 0.6965*LL - 0.0413*h - 5.60 \quad (3)$$

Kıvam limit deneylerinin gerçek değerlerine göre Eşitlik (3) 'in hesaplanması ile elde edilen sonuç eğrisi Şekil 7'de verilmiştir. Bu veri dağılımından  $R^2$  değeri 0.912, SSE değeri 4650 ve MAE değeri 2.52 şeklinde hesaplanmıştır.

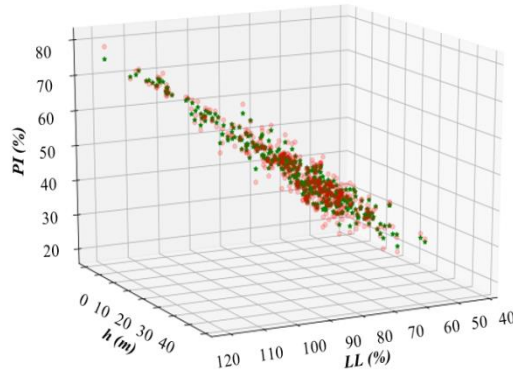


**Şekil 7.** Birinci veri seti için çoklu doğrusal regresyon analizi ile LL-h-PI ilişkisi (The relationship between PI-LL-h via multi-linear regression (Data set 1))

PI değerinin tahmin edilmesinde kullanılan tekli ve çoklu doğrusal analizler karşılaştırıldığında, aralarındaki farkın sadece derinlik değişkeninin de dikkate alınması olduğu görülmektedir. Ancak derinlik değişkeninin PI tahmin sürecine eklenmesi, tahmin doğruluğuna kayda değer bir katkı sağlayamamıştır. Bu durum, çoklu doğrusal ilişki denkleminde ortaya çıkan h değeri çarpanının sayısal değerinin küçüklüğünden de direk olarak görülebilmektedir.

## 2. RO regresyonu yöntemi kullanımı (The usage of random forest regression method):

Çoklu regresyon analizi ile aynı veri seti kullanılarak analizler, RO regresyon sistemi ile yenilenmiştir. PI, h ve LL değeri arasındaki ilişki Şekil 8'de verilmiştir ve bu veri dağılımından  $R^2$  değeri 0.98, SSE değeri 1025.3 ve MAE değeri 1.17 şeklinde hesaplanmıştır. RO regresyon yöntemi kullanılarak yapılan analizler, doğrusal davranış gösteren bir veri setine bile RO regresyonu uygulandığında, doğruluğun 0.912 değerinden 0.98 değerine kadar arttığı, SSE'nin ise 4650.56 değerinden 1025.3 değerine gerilediği ve MAE'nin 2.52 değerinden 1.17 değerine gerilediği gözlemlenmiştir.



**Şekil 8.** Birinci veri seti için RO regresyonu yöntemi ile LL-h-PI ilişkisi (The relationship between PI-LL-h RF regression method (Data set 1))

Gerçekleşen bu durum RO metodunun parametreler arasındaki ilişkiyi genel kullanımdaki regresyonlara göre çok daha iyi yorumladığının bir göstergesidir. RO metodunda analizdeki bağımsız değişken sayısı artırıldıkça analizin doğruluk değerlerinin o derece artacağı söylenebilmektedir.

## 4.2. Veri Seti Analiz 2 (The analysis of data set 2)

Toplam 59 veriye sahip olan ikinci veri seti (Şekil 2) analizleri dâhilinde dört farklı analiz türü uygulanmaktadır. Bu analiz türleri basit doğrusal regresyon, çoklu doğrusal regresyon, ikinci dereceden polinomal regresyon ve RO regresyon yöntemi şeklindedir. Bu bölümdeki çalışmaların temel amacı, rastgele bir eğilime uyum göstermeyen verilerde Rastgele Orman Metodunun etkisini PI değerlerinin kullanımı ile kompaksiyon parametrelerinin tahmin sürecinde gözlemlemektir.

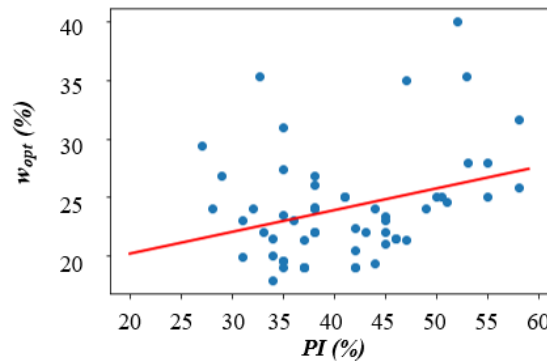
#### 4.2.1. $w_{opt}$ değerinin PI ile tahmini [PI: Bağımsız, $w_{opt}$ : Bağımlı] (The prediction of $w_{opt}$ via PI (PI: Independent, $w_{opt}$ : Dependent))

##### 1. Basit regresyon analizleri kullanımı (The usage of simple regression analysis) :

$w_{opt}$  değerinin tek değişken olan PI değerine bağlı olarak tahmininde basit doğrusal regresyon analizleri uygulanmıştır. Analizler için 59 adet plastisite indisi değeri kullanılmıştır. Bu değerler doğrudan sahadan alınan zemin numunelerine laboratuvar koşullarında uygulanan LL ve PL deneylerinin sonucunda elde edilen ve LL ile PL arasındaki fark ile hesaplanan verileri temsil etmektedir. Basit doğrusal regresyon analizleri ile elde edilen ilişki Eşitlik (4) ile temsil edilmekte olup ilgili veri dağılımı Şekil 9'da sunulmuştur.

$$w_{opt} = 0.186*PI + 16.433 \quad (4)$$

Bu ilişkiyi ifade eden en uygun denklemin  $R^2$  değeri 0.0969 olarak elde edilmiştir. Analizler sonucunda SSE 1084 ve MAE 3.26 olarak hesaplanmıştır.



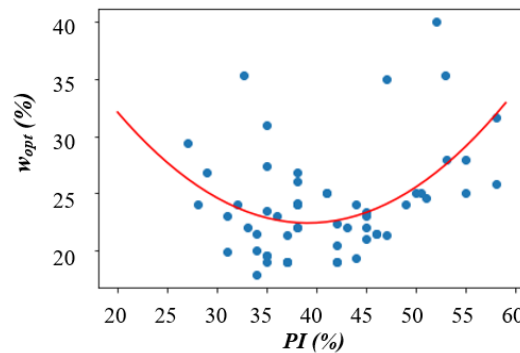
Şekil 9. İkinci veri seti için basit doğrusal regresyon analizi ile PI-  $w_{opt}$  ilişkisi (The relationship between PI- $w_{opt}$  via linear regression (Data set 2))

$w_{opt}$  ile PI arasındaki ilişkiyi tahmin etmek amacı ile yapılan basit doğrusal regresyon analizinin çok düşük tahmin yaklaşımı sergilediği açıkça görülmektedir.

##### 2. İkinci dereceden polinomal regresyon analizleri kullanımı (The usage of multi-linear regression analysis):

$w_{opt}$  değerinin tek değişken olan PI değerine bağlı olarak tahmininde ikinci derece polinomal regresyon analizleri kullanılmıştır. Şekil 10'da söz konusu analizler sonucunda elde edilen veri dağılımı gösterilmiştir. Bu analizler ile elde edilen ilişki Eşitlik (5) ile temsil edilmekte olup ilgili veri dağılımı Şekil 10'da sunulmuştur. Şekil 10'da verilen ilişkiden elde edilen  $R^2$  değeri 0.238 şeklindedir. Analizler sonucunda SSE değeri 913.8 ve MAE değeri 2.87 olarak hesaplanmıştır.

$$w_{opt} = 0.0266*PI^2 - 2.08*PI + 63.048 \quad (5)$$

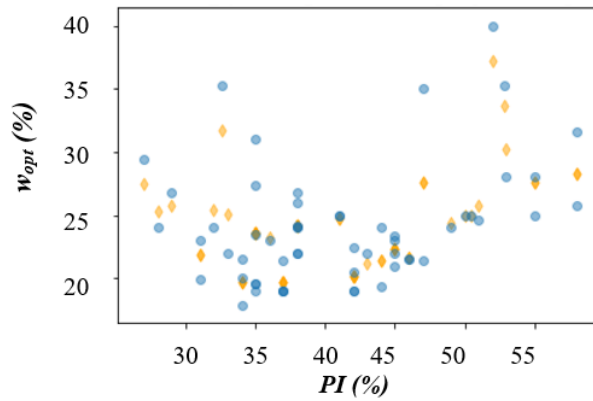


Şekil 10. İkinci veri seti için 2. dereceden polinomal regresyon analizi ile PI ile  $w_{opt}$  ilişkisi (The relationship between PI- $w_{opt}$  via quadratic polynomial regression (Data set 2))

Basit doğrusal regresyona göre daha iyimser sonuç veren polinomal regresyon analizlerinin de, uygulamalarda kullanılması muhtemel olmayan derecede az güvenilir sonuç verdiği söylenebilmektedir.

### 3. RO regresyonu yöntemi kullanımı (The usage of random forest regression method):

RO regresyonu yönteminin kullanılması ile elde edilen PI ve  $w_{opt}$  değeri arasındaki ilişki Şekil 11'de verilmiştir ve bu veri dağılımından  $R^2$  değeri 0.711, SSE değeri 346.6 ve MAE değeri 1.76 şeklinde hesaplanmıştır. RO regresyon yöntemi kullanılarak yapılan analizler, dağınık davranış gösteren bir veri setine bile RO regresyonu uygulandığında, doğruluğun 0.0969 değerinden 0.711 değerine kadar arttığı, SSE'nin ise 1084 değerinden 346.6 değerine gerilediği ve MAE'ın 3.26 değerinden 1.76 değerine gerilediği gözlemlenmiştir.



Şekil 11. İkinci veri seti için RO regresyonu yöntemi ile PI-  $w_{opt}$  ilişkisi (The relationship between PI- $w_{opt}$  via RF regression method (Data set 2))

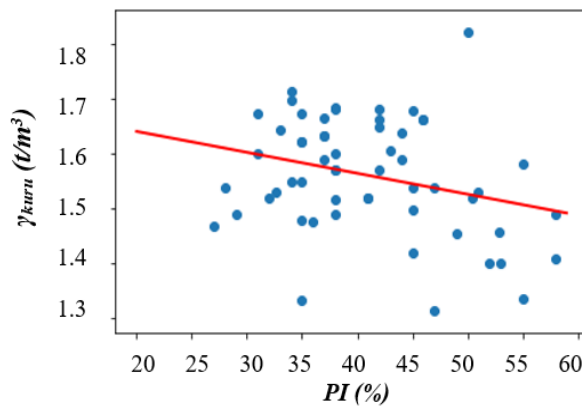
#### 4.2.2. $\gamma_{kuru}$ değerinin PI ile tahmini [PI: Bağımsız, $w_{opt}$ : Bağımlı] (The prediction of $\gamma_{dry}$ via PI (PI: Independent, $\gamma_{dry}$ : Dependent))

##### 1. Basit regresyon analizleri kullanımı (The usage of simple regression analysis):

$\gamma_{kuru}$  değerinin tek değişken olan PI değerine bağlı olarak tahmininde basit doğrusal regresyon analizleri uygulanmıştır. Analizler için yine 59 adet plastisite indisi değeri kullanılmıştır. Basit doğrusal regresyon analizleri ile elde edilen ilişki Eşitlik (6) ile temsil edilmekte olup ilgili veri dağılımı Şekil 12'de sunulmuştur.

$$\gamma_{kuru} = -0.0038*PI + 1.716 \quad (6)$$

Şekil 12'de verilen ilişkiden  $R^2$  değeri 0.079 olarak elde edilmiştir. Analizler sonucunda SSE değeri 0.56 ve MAE değeri 0.08 olarak hesaplanmıştır. SSE ve MAE değerlerinin sayısal olarak düşük değerlerde kalmasının temel nedeni, kullanılan  $\gamma_{kuru}$ 'nun sayısal değerinin küçüklüğünden kaynaklanmaktadır. Söz konusu yanıltıcı durum, regresyon analizi sonuçlarının bir bütün olarak yorumlanması gerektiğini göstermektedir. Analizler sonucunda elde edilen değerler, önerilen denklemin uygulamalarda kullanılmayacak nitelikte bir ilişki sunduğunu ispatlamaktadır.

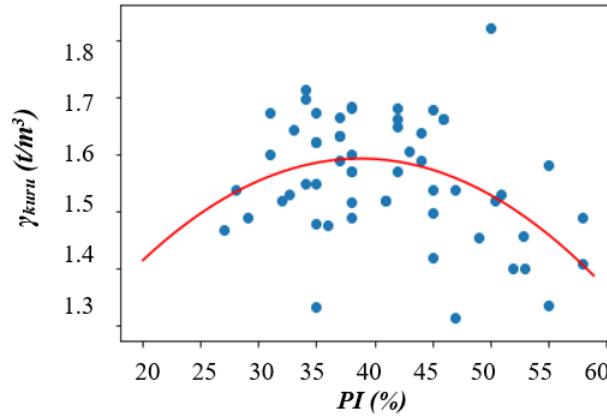


Şekil 12. İkinci veri seti için basit doğrusal regresyon analizi ile PI-  $\gamma_{kuru}$  ilişkisi (The relationship between PI- $\gamma_{dry}$  via linear regression (Data set 2))

## 2. İkinci dereceden polinomal regresyon analizleri kullanımı (The usage of quadratic multi-linear regression analysis):

$\gamma_{kuru}$  değerinin tek değişken olan PI değerine bağlı olarak tahmininde ikinci derece polinomal regresyon analizleri uygulanmıştır. Şekil 13'te söz konusu analizler sonucunda elde edilen veri dağılımı gösterilmiştir. Bu analizler ile elde edilen ilişki Eşitlik (7) ile temsil edilmekte olup ilgili veri dağılımını Şekil 13'te sunulmuştur. Şekil 13'te verilen ilişkiden  $R^2$  değeri 0.179 olarak elde edilmiştir. Analizler sonucunda SSE değeri 0.5 ve MAE değeri 0.073 olarak hesaplanmıştır.

$$\gamma_{kuru} = -0.0005*PI^2 + 0.039*PI + 0.8361 \quad (7)$$

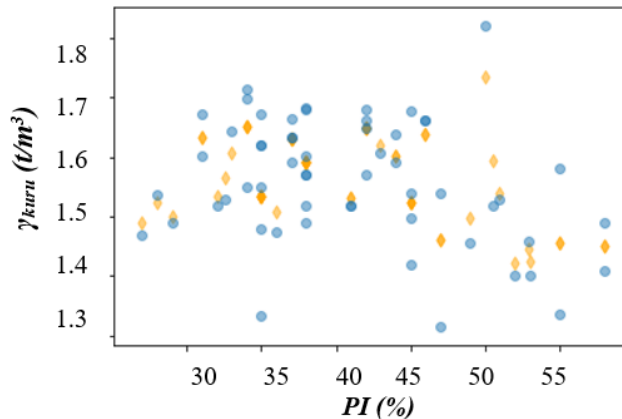


Şekil 13. İkinci veri seti için 2.dereceden polinomal regresyon analizi ile PI- $\gamma_{kuru}$  ilişkisi (The relationship between PI- $\gamma_{dry}$  via quadratic polinomial regression (Data set 2))

İkinci derece polinomal regresyon analizlerinde de basit doğrusal regresyon modelinde olduğu gibi, uygulanabilir bir ilişki elde edilemeyeceği görülmektedir.

## 3. RO regresyonu yöntemi kullanımı (The usage of random forest regression method):

RO regresyonu yönteminin kullanılması ile elde edilen PI ve  $\gamma_{kuru}$  değeri arasındaki ilişki Şekil 14'te verilmiştir. Şekil 14'teki turuncu noktalar RO metodunun tahmin ettiği verileri temsil etmektedir. Bu veri dağılımından  $R^2$  değeri 0.571 olarak, SSE değeri 0.261 ve MAE değeri 0.05 şeklinde hesaplanmıştır.  $R^2$  değerindeki bu artış ile RO metodu  $\gamma_{kuru}$  ile PI arasındaki ilişkide en iyi ifade eden seçenek olmuştur.



Şekil 14. İkinci veri seti için RO regresyonu yöntemi ile PI-  $\gamma_{kuru}$  ilişkisi (The relationship between PI- $\gamma_{dry}$  via RF regression method (Data set 2))

### 4.2.3. $\gamma_{kuru}$ - PI - $w_{opt}$ ilişkisinin tahmini (PI, $\gamma_{kuru}$ : Bağımsız, $w_{opt}$ : Bağımlı) (The prediction of $w_{opt}$ , $\gamma_{dry}$ via PI (PI: Independent, $\gamma_{dry}$ : Dependent))

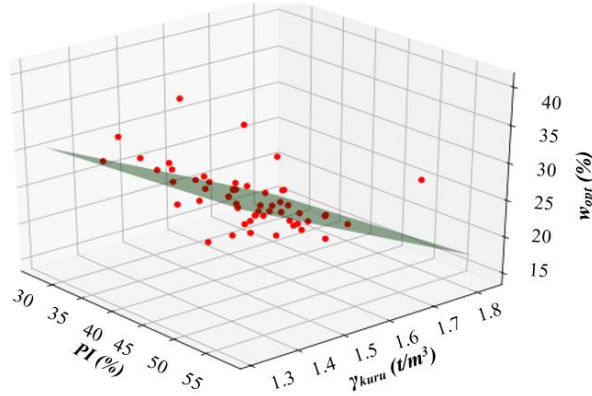
#### 1. Çoklu regresyon analizleri kullanımı (The usage of multi-lineer regression analysis):

$\gamma_{kuru}$  -PI -  $w_{opt}$  ilişkisinin tahmininde ikinci veri seti için çoklu doğrusal regresyon analizleri kullanılmıştır ve bu parametreler arasındaki ilişki Eşitlik (8) ile elde edilmiştir.



$$w_{opt} = 0.07*PI - 30.48*\gamma_{kuru} + 68.75 \quad (8)$$

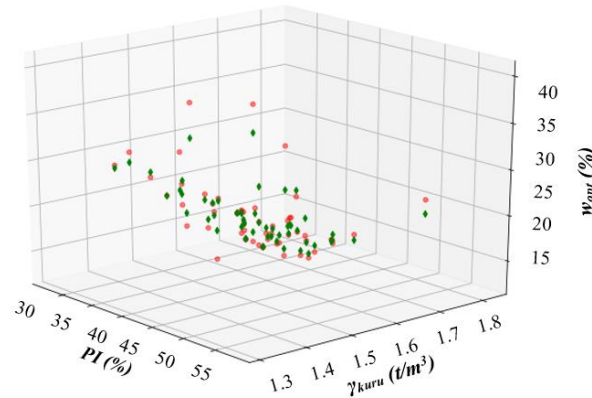
Kıvam limit deneylerinin gerçek değerlerine göre Eşitlik (8) 'in hesaplanması ile elde edilen sonuç eğrisi Şekil 15'te verilmiştir. Bu veri dağılımından  $R^2$  değeri 0.53 olarak, SSE değeri 561.5 ve MAE değeri 2.11 şeklinde hesaplanmıştır. Çoklu değişken kullanılarak yapılan bu analiz, sadece doğrusal olarak yapılan  $\gamma_{kuru}$  -PI ile PI -  $w_{opt}$  ilişkilerinin regresyon analizlerinden daha tutarlı bir sonuç vermektedir.



Şekil 15. İkinci veri seti için çoklu doğrusal regresyon ile PI- $\gamma_{kuru}$ - $w_{opt}$  ilişkisi (The relationship between PI- $\gamma_{dry}$ - $w_{opt}$  via multi-linear regression (Data set 2))

## 2. RO regresyonu yöntemi kullanımı (The usage of random forest regression method):

RO regresyonu yönteminin kullanılması ile elde edilen PI- $\gamma_{kuru}$ - $w_{opt}$  değerleri arasındaki ilişki Şekil 16'da verilmiştir. Şekil 16'daki kırmızı noktalar gerçek verileri ve yeşil noktalar RO metodunun tahmin ettiği değerleri temsil etmektedir. Bu veri dağılımından  $R^2$  değeri 0.912 olarak, SSE değeri 105.46 ve MAE değeri 0.88 şeklinde hesaplanmıştır.  $R^2$  değerindeki bu artış ile RO metodu  $\gamma_{kuru}$  -PI-  $w_{opt}$  arasındaki ilişkide en iyi ifade eden seçenek olmuştur.



Şekil 16. İkinci veri seti için RO regresyonu yöntemi ile PI- $\gamma_{kuru}$  - $w_{opt}$  ilişkisi (The relationship between PI- $\gamma_{dry}$ - $w_{opt}$  via RF regression method (Data set 2))

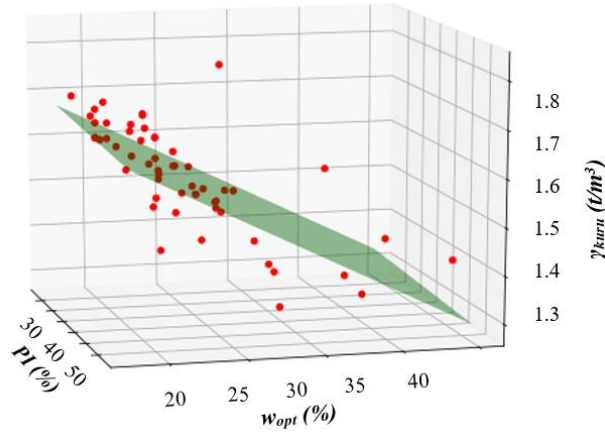
### 4.2.4. $\gamma_{kuru}$ - PI - $w_{opt}$ ilişkisinin tahmini (PI, $w_{opt}$ : Bağımsız, $\gamma_{kuru}$ : Bağımlı) (The prediction of $w_{opt}$ , $\gamma_{dry}$ via PI (PI, $w_{opt}$ : Independent, $\gamma_{dry}$ : Dependent))

#### 1. Çoklu regresyon analizleri kullanımı (The usage of multi-linear regression analysis):

$\gamma_{kuru}$  -PI -  $w_{opt}$  ilişkisinin tahmininde ikinci veri seti için çoklu doğrusal regresyon analizleri kullanılmıştır ve bu parametreler arasındaki ilişki Eşitlik (9) ile elde edilmiştir.

$$\gamma_{kuru} = -0.00086*PI - 0.0158*w_{opt} + 1.976 \quad (9)$$

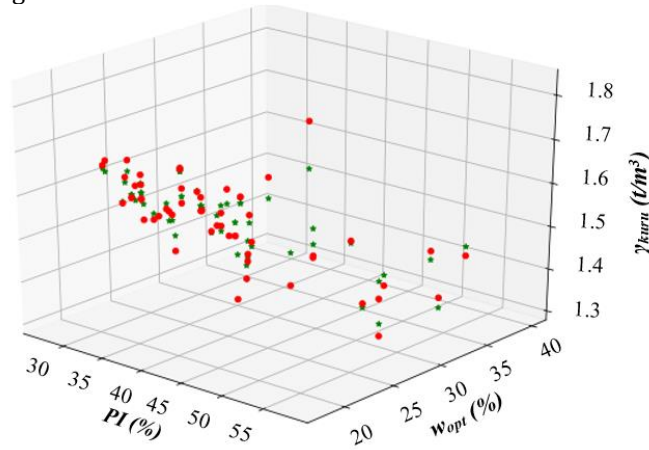
Kıvam limit deneylerinin gerçek değerlerine göre Eşitlik (9) 'un hesaplanması ile elde edilen sonuç eğrisi Şekil 17'de verilmiştir. Bu veri dağılımından elde edilen  $R^2$  değeri 0.523 olarak, SSE değeri 0.291 ve MAE değeri 0.052 şeklinde hesaplanmıştır.



Şekil 17. İkinci veri seti için çoklu doğrusal regresyon ile PI- $w_{opt}$ - $\gamma_{kuru}$  ilişkisi (The relationship between PI- $\gamma_{dry}$ - $w_{opt}$  via multi-linear regression (Data set 2))

## 2. Rastgele Orman regresyon yöntemi kullanımı (The usage of random forest regression method):

RO regresyon yönteminin kullanılması ile elde edilen PI- $\gamma_{kuru}$ - $w_{opt}$  değerleri arasındaki ilişki Şekil 18'de verilmiştir. Şekil 18'deki kırmızı noktalar gerçek verileri ve yeşil yıldızlar RO metodunun tahmin ettiği değerleri temsil etmektedir. Bu veri dağılımından  $R^2$  değeri 0.925 olarak, SSE değeri 0.046 ve MAE değeri 0.021 şeklinde hesaplanmıştır. Bu değerler, RO regresyonu yönteminin çoklu doğrusal regresyon analizine oranla uygulanabilir nitelikte yaklaşım verdiğini göstermektedir.



Şekil 18. İkinci veri seti için RO regresyonu yöntemi ile PI- $w_{opt}$ - $\gamma_{kuru}$  ilişkisi (The relationship between PI- $\gamma_{dry}$ - $w_{opt}$  via RF regression method (Data set 2))

## 4. Sonuç ve Tartışma (Results and Discussion)

Bu çalışma kapsamında, literatür kaynaklarından derlenen ve içeriğinde geoteknik mühendisliğinin temel deneylerinden kıvam limitleri ve kompaksiyon deneyi sonuçlarını içeren geniş bir veri tabanı hazırlanarak Rastgele Orman regresyonu metodunun kıvam ve kompaksiyon parametreleri arasında ilişki kurmadaki başarısı araştırılmıştır. Bu bağlamda, RO metodunun zemin parametrelerini tahmindeki başarısının ölçülmesi amacı ile basit doğrusal, çoklu doğrusal ve ikinci derece polinomal regresyon analizleri de yapılarak karşılaştırmalı yorumlamalar ile çalışma sonuçlandırılmıştır.

Makale kapsamında uygulanan analizler sonucunda aşağıda maddelerle özetlenen çıkarımlar yapılmıştır:

1. Uygulanan tüm incelemeler RO metodunun, kullanımı sıklıkla tercih edilen diğer standart analiz yöntemlerinden çok daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. RO regresyonu, bu çalışmada yapılan analizler içerisinde iyi diğer analiz türüne göre,  $R^2$  değerlerinde ortalama %70, MSE değerlerinde %80, RMSE değerlerinde %56, MAE değerlerinde %62, SSE değerlerinde ise %75 oranında iyileşme sağlamıştır. Bu durumun en önemli nedeni, RO regresyonunun kollektif bir makine öğrenmesi algoritması olmasıdır. Bu bağlamda RO regresyonu sayısını kullanıcının belirlediği karar ağaçlarının tahmin ettiği değerleri toparlayıp ortalamasını alır ve bu şekilde doğruluğu yüksek olan çıktılar verir. Ayrıca, RO regresyonu,

sıklıkla kullanılan diğer analiz yöntemlerindeki gibi herhangi bir lineer, polinomal, üssel, düzlemsel vb. denklemlere bağlı çalışmamaktadır. Bu tür çözümler, denklemin verdiği sonuçlar ile sınırlı kalmaktayken RO regresyonu ise marjinal verilere de ulaşabilir.

2. Doğrusal ilişkiye sahip olan veri setlerinde RO kullanıcıya, zemin parametreleri tahmininde çok yüksek uygulanabilirlik seviyesi sunmaktadır. Ancak, RO metodunun olumsuz özelliği, diğer regresyon metodlarında olduğu şekilde herhangi bir denkleme sahip olmamasıdır. RO regresyonu metodunun amacı, veriyi olduğu noktada tahmin etmektir. Bu nedenle pratik kullanıma uygunluğu yetersiz olarak yorumlanabilmekte olup çok dağınık bir veri setinin bulunduğu durumlarda ise RO metodunun üstünlüğü görülebilmektedir.
3. Yapılan analizlerde bağımsız değişken sayısının artması RO metodundaki doğruluk seviyesini arttırmaktadır. Ancak, bu durumda bağımsız değişkenlerin veri ile ilişkisi de sorgulanması gereken önemli bir konudur.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında RO regresyon metodu ile yapılan analizlerin; CH türü zeminlerin sahip olduğu PI ile LL veya LL-h ilişkisi ile PI-wopt veya PI- $\gamma$ kuru veya PI-wopt- $\gamma$ kuru ilişkilerini temsil etme yeteneğinin yüksek olduğunu ve yeterli geoteknik araştırma bulunamayan durumlarda, veri tahmin sürecinde kıvam ve kompaksiyon özelliklerinin tespit edilmesi amacı ile uygulanabilir nitelik taşıdığını göstermektedir.

### **Teşekkür (Acknowledgement)**

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BYP-2020-34856 ve FBA-2020-34051 projeleri ile desteklenmektedir.

### **Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### **Kaynaklar (References)**

- Akar, Ö., Güngör, O., 2012. Rastgele Orman Algoritması Kullanılarak Çok Banlı Görüntülerin Sınıflandırılması. Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi. 1 (2), 139-146. DOI: 10.9733/jgg.241212.1t.
- Akar, Ö., Güngör, O., Akar, A., 2010. Rastgele Orman Sınıflandırıcısı ile Arazi Kullanım Alanlarının Belirlenmesi. III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Gebze, Kocaeli, 142-152.
- Akbağ Arama, Z., Akin, M.S., Nuray, S.E., Dalyan, İ., 2020. Estimation of Consistency Limits of Fine-Grained Soils via Regression Analysis: A Special Case for High and Very High Plastic Clayey Soils in Istanbul. International Advanced Researchers and Engineering Journal (10.09.2020-Kabul edilmiş makale).
- Akman, M., Genç, Y., Ankaralı, H., 2011. Random Forests Yöntemi ve Sağlık Alanında Bir Uygulama. Türkiye Klinikleri Biyoistatistik Dergisi. 3(1) 36-48.
- Archer, K.J., 2008. Empirical Characterization of Random Forest Variable Importance Measure, Computational Statistical Data Analysis, Computational Statistics & Data Analysis, 52(4), 2249-2260.
- Ardakani, A., Kordnaeij, A., 2019. Soil Compaction Parameters Prediction Using GMDH-Type Neural Network and Genetic Algorithm. European Journal of Environmental and Civil Engineering 23:4, 449-462.
- ASTM Standard D 4318. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils.
- ASTM Standard D 698-12. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort.
- Benson, C.H., Zhai, H., Wang, X., 1994. Estimating Hydraulic Conductivity of Compacted Clay Liners. Journal of Geotechnical Engineering Vol. 120, No. 2.
- Benson, C.H., Daniel, D.E., Boutwell, G.P., 1999. Field Performance of Compacted Clay Liners. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Vol. 125, No.5.
- Breiman, L., 2001. Random Forests, Machine Learning, 2001 Kluwer Academic Publishers, 45(1), 5-32.
- Breiman, L., Cutler, A., 2005. Random Forest, [http://www.stat.berkeley.edu/~g/RandomForests/cc\\_home.htm](http://www.stat.berkeley.edu/~g/RandomForests/cc_home.htm).
- Boulila, W., Farah, I.R., Ettabaa, K.S., Solaiman, B., Ben Ghezala, H., 2011. A Data Mining Based Approach To Predict Spatiotemporal Changes in Satellite Images. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13, 386-395.
- Canillas, C.E., Saloko M.V., 2001. Regression Analysis of Some Factors Influencing Soil Compaction. Soil & Tillage Research 61, 167-178.
- Dewoolkar, M.M., Huzjak, R.J., 2005. Drained Residual Shear Strength of Some Claystones from Front Range, Colorado.
- Dharumarajan, S., Hegdea, R., Singh, S.K., 2017. Spatial Prediction of Major Soil Properties Using Random Forest Techniques - A Case Study In Semi-Arid Tropics Of South India. Geoderma Regional 10 (2017) 154-162.
- Fidan, H., 2020. Random Forest (Rastgele Orman) Algoritması Temelli Süreç İzleme Yönteminin Ambulatuvar Kan Basıncı İzlemede Hipertansiyonun Erken Tanısı İçin Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Kocaman Üniversitesi.

- Grimm, R., Behrens, T., Märker, M., Elsenbeer, H., 2008. Soil Organic Carbon Concentrations and Stocks on Barro Colorado Island-Digital Soil Mapping Using Random Forests Analysis. *Geoderma* 146, 102–113.
- Gislason, P.O., Benediktsson, J.A., Sveinsson, J.R., 2004. Random Forest Classification of Multi-Source Remote Sensing and Geographic Data. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS '04 Proceedings*, 2, 1049 – 1052.
- Gislason, P.O., Benediktsson, J.A., Sveinsson, J.R., 2006. Random Forest For Land Cover Classification. *Pattern Recognition Letters*, 27, 294-300.
- Gunaydin, O., 2009. Estimation of Soil Compaction Parameters by Using Statistical Analyses and Artificial Neural Networks. *Environment Geology* 57:203–215.
- Gunther, E.C., Gerwien, R.W., Heyes, M.P., Bento, P., Stone, D.J. 2003. Prediction of Clinical Drug Efficacy by Classification of Drug-Induced Genomic Expression Profiles in Vitro. *Proceedings of The National Academy of Sciences*. 100(16) 9608-9613. <https://doi.org/10.1073/pnas.1632587100>.
- Hill, T., Lewicki, P., 2006. *Statistics Methods and Applications. A Comprehensive Reference For Science, Industry and Data Mining*, StatSoft, Tulsa, OK.
- Kavzaoglu, T., Sahin, E.S., Colkesen, I., 2012. Heyelan Duyarlılığının İncelenmesinde Regresyon Ağaçlarının Kullanımı: Trabzon Örneği (Assessment of Landslide Susceptibility Using Regression Trees: The Case of Trabzon Province)
- Kemppinen, J., Niittynen, P., Riihimäki, H., Luoto, M., 2018. Modelling Soil Moisture In A High-Altitude Landscape Using LiDAR and Soil Data. *Earth Surface Processes And Landforms* 43, 1019–1031. DOI: 10.1002/esp.4301.
- Khuntia, S., Muftaba, H., Patra, C., Farooq, K., Sivakugan, N.&Das, B.M., 2014. Prediction of Compaction Parameters of Coarse Grained Soil Using Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS). *International Journal of Geotechnical Engineering* 9:1, 79-88.
- Liaw A, Wiener M., 2002. Classification and Regression By Random Forest, *R News*, 2(3).
- Ließ, M., Glaser, B., Huwe, B., 2011. Functional Soil-Landscape Modelling To Estimate Slope Stability In A Steep Andean Mountain Forest Region. *Geomorphology* 132 (3–4), 287–299.
- Magerman, D.M., 1995. Statistical Decision-Tree Models for Parsing. *DecisionTree Modeling*. 276–283.
- Matteo, L.D, Bigotti, F., Ricco, R., 2009. Best-Fit Models to Estimate Modified Proctor Properties of Compacted Soil. *ASCE*.
- Mehta, B., Sachan, A., 2017. Effect of Mineralogical Properties of Expansive Soil on Its Mechanical Behavior. *Geotechnical Geology Engineering* 35:2923–2934.
- Omar, M., Shanableh, A., Basma, A., Barakat, S., 2003. Compaction Characteristic of Granular Soils in United Arab Emirates. *Geotechnical and Geological Engineering* 21: 283-295.
- Ouedraogo, I., Defourny, P., Vanclooster, M., 2019. Application of Random Forest Regression and Comparison of Its Performance To Multiple Linear Regression In Modeling Groundwater Nitrate Concentration At The African Continent Scale. *Hydrogeology Journal*, 27:1081–1098. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1900-5>.
- Özdarıcı, Ok A., Akar, Ö., Güngör, O., 2011. Rastgele Orman Sınıflandırma Yöntemi Yardımıyla Tarım Alanlarındaki Ürün Çeşitliliğinin Sınıflandırılması. *TUFUAB 2011 VI. Teknik Sempozyumu, Antalya, Türkiye*, ss.1-7.
- Pal, M., 2003. Random Forest For Land Cover Classification. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '03 Proceedings*, 6, 3510-3512.
- Pal, M., 2005. Random Forest Classifier For Remote Sensing Classification. *International Journal of Remote Sensing*. 26(1) 217–222. <https://doi.org/10.1080/01431160412331269698>.
- Pal, M., Mather, P.M., 2003. An Assessment of The Effectiveness of Decision Tree Methods For Land Cover Classification. *Remote Sensing Of Environment*, 86, 554-565.
- Peng, W., Chen, J., Zhou, H., 2009. An Implementation of Decision Tree Learning Algorithm.
- Pham, T.B., Qi, C., Ho, L.S., Thoi, T.N., Ansari, N.A., Nguyen, M.D., Nguyen, H.D., Ly, H.B., Le, H.V., Prakash, I., 2020. A Novel Hybrid Soft Computing Model Using Random Forest and Particle Swarm Optimization for Estimation of Undrained Shear Strength of Soil. *Sustainability*, 12, 2218; DOI:10.3390/su12062218.
- Rastgou, M., Bayat, H., Mansoorizadeh, M., Gregory, A.S., 2020. Estimating The Soil Water Retention Curve: Comparison of Multiple Nonlinear Regression Approach and Random Forest Data Mining Technique. *Computers and Electronics in Agriculture* 174, 105502.
- Sahin, K.E., 2018. Heyelan Duyarlılık Haritası İçin Adımsal Regresyona Dayalı Faktör Seçme Yönteminin Etkinliğinin Araştırılması. *Harita Dergisi*. Sayı 159.
- Safavian, S.R., Landgrebe, D., 1991. A Survey of Decision Tree Classifier Methodology. *IEEE Transactions On Systems Man and Cybernetics*, 21, 660-674.
- Segal, M.R., 2003. *Machine Learning Benchmarks and Random Forest Regression*. Center for Bioinformatics and Molecular Biostatistics, UC San Francisco. 18(3), 1-14.
- Shukla, G., Garg, R.D., Srivastava, H.S. & Garg, K.P., 2018. An Effective Implementation and Assessment of A Random Forest Classifier As A Soil Spatial Predictive Model. *International Journal of Remote Sensing*, 39:8, 2637-2669, DOI: 10.1080/01431161.2018.1430399.
- Singh, B., Sihag, B., Singh, K., 2017. Modelling of Ompact of Water Quality On Infiltration Rate of Soil By Random Forest Regression Model. *Earth Syst. Environ.* 3:999–1004. DOI: 10.1007/s40808-017-0347-.
- Singhal, S., Houston, S.L., Houston, W.N., 2015. Swell Pressure, Matric Suction, and Matric Suction Equivalent for Undisturbed Expansive Clays. *Can. Geotechnical Journal* 52: 356–366.
- Sinha, S.K., Wang, M.C., 2008. Artificial Neural Network Prediction Models for Soil Compaction and Permeability. *Geotechnical Geology Engineering* 26:47-64.
- Thompson, M.J., White, D.J., 2008. Estimating Compaction of Cohesive Soils from Machine Drive Power. *ASCE*.
- Viji, V.K., Lissy, K.F., Sobha, C. & Benny M.A., 2013. Predictions on Compaction Characteristics of Fly Ashes Using Regression Analysis and Artificial Neural Network Analysis. *International Journal of Geotechnical Engineering* 7:3, 282-291.
- Viscara Rossel, R.A., Behrens, T., 2010. Using Data Mining To Model and Interpret Soil 650 Diffuse Reflectance Spectra. *Geoderma* 158 (1–2), 46–54.

- Waske B., Heinzl V., Braun M., Menz G., 2007. Random Forests for Classifying Multi-Temporal Sar Data, Proc. 'Envisat Symposium Montreux, Switzerland, <http://envisat.esa.int/envisatsymposium/proceedings/sessions/3D3/461589wa.pdf>.
- Waske, B., Braun, M., 2009. Classifier Ensembles For Land Cover Mapping Using Multitemporal SAR Imagery. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 64 (2009) 450\_457.
- Zhang, P., Yin, Z., Jin, Y., Chan, T.H.T., 2020. A Novel Hybrid Surrogate Intelligent Model For Creep Index Prediction Based On Particle Swarm Optimization and Random Forest. Engineering Geology 265, 105328.



## TEMİZLİK ÇALIŞANLARININ ÇALIŞMA POZİSYONLARININ BAUA YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ: GIDA ÜRETİM FABRİKASI ÖRNEĞİ

Gülçin ÖZCAN, Müge ENSARİ ÖZAY\*

Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Ergonomik Risk Analizi,  
İş Sağlığı ve Güvenliği,  
BAUA Yöntemi.*

### Öz

Gıda üretim fabrikalarında yapılan temizlik işlerinde kaldırma, indirme, itme-çekme gibi işlerde oluşan uygunsuz çalışma pozisyonlarına bağlı olarak çalışanlarda kas iskelet sistemi hastalıkları meydana çıkabilmektedir. Araştırma kapsamında gıda üretim fabrikasında çalışan temizlik işçilerinin duruş pozisyonları BAUA yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. BAUA risk analizi metodunda yapılan işin türü, süresi ve iş yapılma esnasındaki fiziki özellikler ön plandadır. 1 ay süresince fabrikada tüm temizlik işleri izlenerek, hatalı duruş oluşturabilecek 101 adet fotoğraf çekilmiştir. 101 adet fotoğraf içerisinde, 5 tanesi manuel yapılan işler, 3 tanesi kaldırma işleri ve 4 tanesi itme-çekme işleri olarak iş bazından en uygun olan toplamda 12 adet çalışma pozisyonu seçilmiştir. Analiz sonuçlarına göre manuel yapılan işlerde risk seviyesinin daha yüksek olduğu, itme-çekme işlerinin orta riskli ve kaldırma işlerinin daha az riskli olduğu tespit edilmiştir. Temizlik çalışanlarının uygun fiziki duruşlarda çalışması, çalışma ortamındaki ergonomik risklerin giderilmesi, kas iskelet sistemi hastalıklarının azaltılması ve önlenmesi konularında önerilerde bulunulmuştur.

## ANAYSIS OF THE WORK POSTURES OF CLEANING WORKERS BY BAUA METHOD: A CASE STUDY OF FOOD PRODUCTION FACTORY

### Keywords

*Ergonomic Risk Analysis,  
Occupational Health and  
Safety,  
BAUA Method.*

### Abstract

Musculoskeletal disorders can occur among cleaning workers in food production plants due to awkward working postures during lifting, lowering, pushing and pulling works. Within the scope of the research, the positions of the cleaning workers in the food production plant were analysed using the BAUA method. 101 photographs of incorrect posture were taken by monitoring all the cleaning works in the factory during one-month period. Among the 101 photos, 12 of them were chosen. 5 of them were manual works, 3 of them were lifting works and 4 of them were push-pull works. According to the results of the analysis, it was found that the risk level is higher in manual works, the push-pull works have medium risk and lifting works are less at risk. Suggestions have been made about the work of cleaning staff to have appropriate physical postures, to eliminate ergonomic risks in the work environment, to reduce and prevent musculoskeletal diseases.

### Alıntı / Cite

Özcan, G., Ensari Özay, M., (2021). Temizlik Çalışanlarının Çalışma Pozisyonlarının BAUA Yöntemi ile İncelenmesi: Gıda Üretim Fabrikası Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 282-300.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

G. Özcan, 0000-0003-0367-0416  
M. Ensari Özay, 0000-0002-4785-5503

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	26.07.2020
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	18.12.2020
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	07.01.2021
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

### 1. Giriş (Introduction)

Sanayide üretim alanında yoğun şekilde devam eden çalışma sürecinde, yük kaldırma-indirme ve manuel yapılan ince işlerde kas iskelet sistemi hastalıklarının (KİSH) oluşması riski artmaktadır (Atıcı vd., 2015; Cengiz ve Pişkin,

\*İlgili yazar / Corresponding author: muge.ensariozay@uskudar.edu.tr, +90-21-400-2222

2013). Üretim sektöründe elle kaldırma-indirme işlerinin yanı sıra yapılan temizlik işleri oldukça detaylı ve sürekli devam eden işlerdir. Temizlik esnasındaki eğilme ve, kalkma pozisyonlarında ani hareketler beraberinde KİSH getirebilmektedir.

Türkiye’de gıda üretimi yapan tesisler hemen hemen her ilde mevcuttur. İşletmenin üretim durumuna göre temizlik çalışanı sayısı değişmektedir. Bayramlar gibi ekstra yoğun üretim yapılan durumlarda dönemlik işçi alımları yapılmaktadır. Bu tesislerde gıda üretimi nedeni ile hijyen en önemli konudur. Hijyen hem çalışanın kendisinde, hem de tesis içerisinde en üst düzeyde sağlanmak zorundadır. İncelenen gıda üretim fabrikasında temizliği yapılan çeşitli teknolojik makine-ekipmanlarının yanı sıra zemin, tavan, duvar, tuvalet gibi yerlerin de temizliğinin yapılması nedeni ile fazla sayıda temizlik işi ve çeşidi bulunmaktadır. Bu alanların tümünün temizliği en üst düzeyde ve belirli bir düzen içinde yapılmaktadır.

Türkiye’de 2018 yılı SGK verilerinde tüm meslek gruplarında toplam iş kazası sayısı 430.985 ve ölen sayısı 1541’dir. Temizlikçiler ve yardımcıları meslek grubuna ait toplam iş kazası geçiren sigortalı sayısı 21.273 ve ölen sigortalı sayısı 35 şeklindedir. Türkiye geneli ile bu grup karşılaştırıldığında iş kazası oranının %4,94, ölüm oranının ise %2,27 olduğu görülmektedir. Temizlikçiler ve Yardımcılar meslek grubun da meslek hastalığına tutulan toplam sayı 12 ve ölen olmadığı şeklindedir (SGK, 2018). 2018 yılı SGK iş kazası ve meslek hastalıkları istatistiklerinde; Nace kodu 10 olan ‘gıda ürünlerinin imalatı’ işinde çalışanların bildirim yapılan iş kazası sigortalı sayısı 22.610 şeklindedir (SGK, 2018). 2018 yılında iş kazası sonucu ölen sigortalı sayısı toplam 300 iken bunun 38’ ini gıda ürünleri imalatı işinde çalışanlar oluşturmaktadır (SGK, 2018). 2018 yılında meslek hastalığına tutulan sigortalı sayısı toplam 1044 iken bunun 6’sını gıda üretim işinde çalışanların oluşturulduğu görülmektedir (SGK, 2018). Gıda ürünleri imalatı işinde çalışan sigortalıların iş kazası sonucunda yatarak ve ayaktan toplam 5 gün ve üzeri geçici iş görmezlik raporu alanların sayısı 112.574 olduğu görülmektedir (SGK, 2018). Gıda sektöründe meslek hastalığı sonucu yatarak ve ayaktan toplam kaybedilen gün sayısı 13 olarak bildirilmiştir (SGK, 2018). Meslek hastalığına tutulan sigortalı sayısı tanı gruplarına göre bakıldığında J grubu solunum sistemi hastalıkları 388 kişi ile birinci sırada olup, M grubu kas iskelet sistemi ve bağ dokusu hastalıkları 49 kişi ile ikinci sırada yer almaktadır (SGK, 2018).

Sürekliliği olan ve yoğun şekilde devam eden temizlik işleri SGK verilerine bakıldığında sağlık üzerindeki olumsuz etkisi önemli ölçüdedir. Bu rahatsızlıkları önlemek ve uygunsuz duruşların değerlendirilmesi için ergonomik analizler yapılmaktadır. Almanya Federal İş Güvenliği ve Sağlığı Enstitüsü uzun süreli çalışmalar sonunda 3 farklı anahtar gösterge metodu (LMM) yayınlamıştır. Almanya İş güvenliği ve İş hekimliği kurumunun yöntemine göre bunlar; Manuel el işleri için BAUA LMM MA, Tutma, kaldırma, taşıma işleri için BAUA LMM HHT, İtme-çekme işleri için BAUA LMM SZ adımları şeklindedir (www.BAUA.com Erişim Tarihi:20.04.2019). BAUA yöntemi; uzun süreli çalışmalar sonunda elle yapılan taşıma ve yerleştirme işleri veya çeşitli yük kaldırma ve yer değiştirme işlemleri için kullanıldığından araştırmanın yöntemi olarak tercih edilmiştir. (Sevimli vd., 2018).

Bu araştırmanın amacı gıda üretim fabrikasında, temizlik çalışanlarının çalışma pozisyonlarını BAUA metodu kullanarak analiz ederek, çalışanlarda çalışma pozisyonları nedeniyle oluşabilecek KİSH’lerin azaltılması ve önlenmesi yönünde tavsiyelerde bulunmaktadır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

İngiltere sağlık ve güvenlik idaresinin 2006 yılındaki raporunda en fazla oluşan meslek hastalığının mesleki KİSH’ler olduğu ve yılda bir milyon kişiyi etkilediği belirtilmiştir (Özel ve Çetik, 2010). Gelişmiş ülkelerde bel ağrılarının sanayide üretimin azalmasını etkileyen ikinci en önemli faktör olarak kabul edilmektedir. Bel ağrısının Avrupa’da tahmini yıllık görülme sıklığı %25 ile %45 arasında iken ABD’de %5 ile %20 arasında olduğu görülmektedir (Mordeniz ve Sivacı, 2010). Avrupa’da her dört çalışandan biri bel-sırt (%24,7) veya genel kas ağrısından (%22,8) yakınmaktadır. Türkiye’de sakatlık yükü sıralamasında KİSH %9,9 ile üçüncü sırada yer almakta ve yasalarda meslek hastalığı olarak kabul edilmektedir (Bilir, 2007). Çeşitli çalışmalarda ağır yük kaldırma, statik kas yükü ve uygun olmayan çalışma duruşları gibi ağır fiziksel yüklenmeler ile kas iskelet sistemi rahatsızlıklarındaki artış arasında kuvvetli bir ilişki olduğu ortaya konmuştur (Holte vd., 2000).

Morken ve arkadaşlarının (2003) çalışmasında mavi yakalı çalışanlarda beyaz yakalı çalışanlara göre bel ağrısı görülme oranının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Temizlik işçileri de mavi yaka çalışanları arasındadır. Mesleki KİSH’lerin ulusal bir halk sağlığı önceliği olduğu, erken tanı ve tedavi ile klinik ölçümlerle, sağlık ekonomisi, teknolojisi ve üretim verimliliği ile birlikte desteklenmesi gerektiği ve ergonomi çalışmalarının önemi uluslararası platformlarda vurgulanmıştır (Duran ve Köksal, 2016).

Ergonomik risk analizlerinde BAUA ile birlikte çeşitli metotlar kullanılarak Türkiye’de yapılan bazı çalışmalar ve elde edilen bilgiler aşağıda verilmiştir.

Yetim ve Gündüz (2015) taşıma kaplarının elle yerleştirilmesi işini seçerek BAUA ve REBA risk analizi metotlarını çalışmışlardır. Karşılaştırılan REBA ve BAUA yöntemlerinin aynı işte farklı sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. Çalışma sonucunda BAUA yönteminin yapılan işe göre tüm vücut duruşlarında taşınan yüke ve süresine önem verirken, REBA yönteminin üst uzuvlarının duruşlarına ait puanlarının da hesaba katılmasını sağladığını gözlemlemişlerdir. Daha çok güç ve vücut kullanılarak yapılan işlerde BAUA yönteminin kullanılmasını tavsiye etmişlerdir.

Yavuzkan ve ark. (2015) iş sağlığı ve güvenliğinde risk haritalandırılmasının önemine dikkat çekerek ergonomik risk analizlerinin daha güvenli ve hızlı yapılması için NIOSH kaldırma denklemi ve Alman BAUA tarafından geliştirilmiş olan itme-çekme, tutma-taşıma işlerinin değerlendirilmesi için kullanılan yöntemleri Excel VBA tabanında ve MS Access üzerinden yazılım haline getirmişlerdir.

Sevimli ve ark. (2018) bir çeltik fabrikasında üretim hatlarından biri olan pirinç paketleme bölümünde çalışanları ergonomik açıdan REBA ve BAUA yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada REBA yönteminin ideal gözlem süresi ve gözlem aralıklarının belirsiz olduğunu bildirmişlerdir. BAUA yönteminde ise süreler ve gözlem aralıkları bellidir. Çalışmalarının sonucunda önerileri fabrikanın üst yönetime sunulmuş ve tavsiyeler dikkate alınmıştır. Düzenlemeler sonrasında yeniden risk analizi yapıldığında ergonomik risklerin azaldığını belirtmişlerdir.

Yüce (2019) otomotiv sektöründe teknik çalışmaları BAUA risk analizi metodu ile değerlendirmiştir. Bu çalışmada değerlendirilen 12 iş bölümünün, tavsiye ve öneriler sonucunda en yüksek risk skorlu işte 76,5 dan 37,5 a düştüğü gözlemlenmiştir.

Kahya ve Çicek (2019) klozet, lavabo vb. üretim yapan seramik fabrikasında fırın yükleme, boşaltma ve basınçlı döküm olmak üzere 3 bölüm de yapılan taşıma işlerini REBA ve BAUA risk analizi metotlarını kullanarak incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda riskli işlere yaptıkları tavsiye ve önerilerle risk skorunun 41 den 13 e düştüğünü ve risk seviyesinin kabul edilebilir düzeye geldiğini gözlemlemişlerdir.

Almanya da kayıp iş günü nedenlerinin başında kas iskelet sisteminin nedeni ile İş Sağlığı ve Güvenliği Federal Enstitüsü ve Alman Sosyal Kaza Sigortası ortak projesi MEGAPHYS kapsamında risk analizi yöntemleri ile ilgili bilgileri 2 cilt şeklinde yayınlamışlardır (BAUA, 2019). Yapılan anket çalışması sonucunda ergonomik risk analizine olan ihtiyacı ortaya koymuşlardır (BAUA, 2019). "Özel Tarama" yöntemi için "BAUA, Mesleki Tıp, Güvenlik Teknolojisi ve Ergonomi Enstitüsü" (ASER) yeni veya daha ileri gelişmeler olarak altı temel özellik yöntemi geliştirmiştir (BAUA, 2019).

Berber (2020) gıda sektöründe yapılan işleri detaylı olarak ele alarak REBA, BAUA, NIOSH ve SNOOK analizlerini uygulamıştır. Yapılan işe göre farklı metotların uygulaması sonucunda, BAUA yöntemi ile 7 işlemin analizi yapılmıştır. Bu analizlerin 4 tanesinde iyileştirme yapılması; 2 tanesinde kesinlikle iyileştirme yapılması ve bir tanesinde düzenleme yapılması gerektiği sonucuna varılmış ve tavsiyelerde bulunulmuştur.

Ülker (2020) mobilya imalatında çalışanların parça taşımaları esnasında çalışma pozisyonlarını BAUA yöntemi ile analiz ederek, risk skorlarını sırasıyla 3-3-2 elde etmiş ve yapılan ergonomik iyileştirmeler sonucunda iş istasyonlarındaki risk seviyelerinin 1-1-1 seviyelerine indiğini gözlemlemiştir. Çalışma koşullarının geliştirilmesi ve iş veriminin artırılması için önerilerde bulunmuştur.

Ülkemizde her alanda görülen temizlik çalışanlarının özellikle gıda üretim fabrikalarında vardiyalı şekilde sürekli ve yoğun fiziksel güç uygulanması nedeni ile meydana gelen KİŞH'in tartışıldığı çalışmalara yazarlar tarafından rastlanmamıştır. Bu çalışma ile literatürdeki bir boşluğun doldurulması hedeflenmektedir.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada incelenen gıda üretim fabrikası ve bu fabrika da faaliyet gösteren taşeron temizlik firmasının NACE kodu az tehlikeli sınıftadır. Bu çalışmada ele alınan taşeron temizlik firmasının toplam 43 çalışanı bulunmaktadır. Çalışanların 6'sı kadın, 37'si erkektir. 43 çalışanın tümü temizlik işçisi görevindedir. Demografik özellikler Tablo 1'de sunulmuştur.



**Tablo 1.** Örneklem Grubunun Demografik Özellikleri (Demographic Characteristics of the Sample Group)

NACE Kodu		
	Az Tehlikeli	8121
Cinsiyet	Erkek	37
	Kadın	6
Eğitim Düzeyi	Mezuniyet Yok	0
	İlköğretim	19
	Ortaöğretim	17
	Lise	6
	Meslek Yüksek Okulu	1
Yaş Frekansları	18-25	11
	26-35	5
	36-45	11
	46+	16

Taşeron temizlik firmasının hizmet verdiği 5 katlı ve ofislerin bulunduğu gıda üretim fabrikasında, çeşitli teknolojik makine ekipmanlarının bulunması nedeni ile birçok temizlik alanı bulunmaktadır. Gıda üretim fabrikasında çalışanlarının, yapılan iş bilgileri dikkate alınarak risklere karşı maruziyeti saatlik, günlük, haftalık ve aylık olarak iş esnasında çekilen fotoğrafları, ergonomik risk değerlendirme metodu olan BAUA LMM kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırmada BAUA yönteminin tercih edilmesinin bir nedeni basit ve çabuk kullanılabilir olması olsa da, en önemli nedeni, BAUA metodu ile yapılan risk değerlendirmelerin yapılan iş ile ilgili, fiziksel durumu, ortam şartlarını, yapılan işin süresini, mesafesini ve ağırlığını hesaplara katarak ayrıntılı değerlendirebilmesidir. Bağımsız olarak değişen bu risk sonuçlarına ulaşmak için matematiksel işlemlerin yapılmasından dolayı araştırmanın yöntemi nicel olarak belirlenmiştir.

Araştırma kapsamında toplamda 12 farklı iş, fotoğrafları çekilerek incelenmiştir. İncelenen iş kolları; tava silme, banttardan alınan sıcak tavalara arabalara dizilme işlemi, yer süzgeçlerini temizleme, el bezi ile toz olarak temizleme, süpürge makinesi ile temizleme işlemi, çöpleri arabadan boşaltma, taşıma arabalarının kaldırılarak yıkanması işlemi, çatıda su giderlerinin temizliği, makine ile yer silme işlemi, tavaların manuel trans palet ile taşınması işlemi, taşıma arabalarının yıkama alanına götürülmesi işlemi, un ve şeker çuvallarının taşınması şeklindedir. Bu temizlik çalışmaları esnasında belirlenen çalışma pozisyonlarının analizinde kullanılan BAUA metodları deneysel sonuçlar kısmında detaylı şekilde anlatılmıştır.

#### 4. Deneysel Sonuçlar(Experimental Results)

##### 4.1. Manuel El İşleri İçin BAUA LMM MA Ergonomik Risk Analiz Örneği (Case Study For Manual Crafts BAUA LMM MA Ergonomic Risk Analysis)

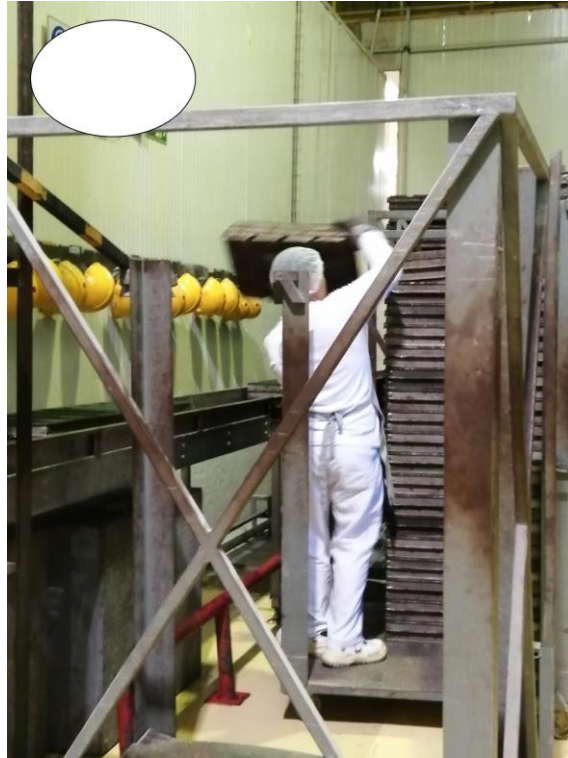
Gıda üretim fabrikasında temizlik esnasında yapılan işlerden manuel el işleri kategorisinde olan 5 adet çalışma pozisyonu BAUA LMM MA yöntemi ile incelenmiştir. İncelenen çalışma pozisyonları arasında risk skoru en yüksek olan iş 'banttan alınan sıcak tavalara arabalara dizilme işlemi' şeklindedir.

##### 4.1.1. Banttardan Alınan Sıcak Tavalara Arabalara Dizilme İşlemi (The Process of Lining up the Hot Pans Taken from the Tape to the Cars)

Banttardan alınan sıcak tavalara arabalara dizilme işlemi Şekil 1' de gösterilmiştir. Sıcak tavalara banttardan alınarak arabaya dizilmesi işlemi her gün yapılmaktadır. Vardiya başına tavalara arabaya dizilmesinin toplam süresi 3 saat olması nedeni ile Tablo 2'de zaman ağırlığı skoru 2 olarak seçilmiştir. Tavanın kaldırma işlemi sol elden güç alınarak yapılarak sağ elin destek vermesinden dolayı Tablo 3'deki parmak- el kuvveti tutma değeri sağ el orta kuvvet ile 5, sol el büyük kuvvet ile 8 olarak belirlenmiştir. Kuvvet aktarımı- kavrama koşulları Tablo 4'e göre değerlendirilmiş ve tava tutma işi avuç içi kavrama olarak seçilerek tutma biçimi şekilsiz ve tutulan yüzey kuru ve çok düzgün olduğu için skor 3 olarak belirlenmiştir. El-kol pozisyon değeri Tablo 5'e göre hareketin kısıtlı olması nedeni ile sınırlandırılmış el kol pozisyonu değeri 1 olarak seçilmiştir. İş organizasyon değeri Tablo 6'ya göre çalışma süresinin kısa olması ve yük durumlarının fazla değişkenlik göstermemesinden dolayı 1 olarak seçilmiştir. Tavaların en hafifi 2,5 kg ve en ağırı 5 kg civarındadır. İş koordinasyon değeri ise Tablo 7'ye göre kısıtlı alanda çalışmanın yapılması, yüklenen arabanın boyunun uzun olması, gelen ışığın az olması ve bandın çalışırken

çıkardığı gürültü nedeni ile sınırlı olarak belirlenmiş ve değeri 1 olarak seçilmiştir. Duruş pozisyonu değeri Tablo 8'e göre dar alanda belden ve omuzdan dönme hareketleri yapıldığı için 1 olarak belirlenmiştir. Tablo 9'da gösterilen sonuç tablosunda ise parmak ve/veya eldeki kuvvet, kuvvet aktarımı / kavrama koşulları, el / kol pozisyonu ve hareketi, iş organizasyonu, iş koordinasyonu, duruş değerlerinin puanları ile toplama işlemi yapıldıktan sonra çıkan sonuç zaman ağırlığı puanı ile çarpılarak risk skoru 30 olarak hesaplanmıştır (Tablo 9). Değerlendirme tablosuna göre bu değer 25 ile 50 arasındadır. Banttardan alınan sıcak tavaların arabalara dizilme işleminin risk seviyesi 3 olarak belirlenmiştir ve artan yük durumu nedeni ile fiziksel aşırı yüklenme görülmektedir. İşyerinin yeniden tasarlanması önerilir (Tablo 10).

Banttardan alınan sıcak tavaların arabalara dizilmesi işinde, tavaların konulduğu arabaların fotoğrafta görüldüğü üzere çapraz kenar korumalıları sonradan yapılmıştır. Korumalılarla tavaların düşmemesi hedeflenmiştir. Çalışılan alanın dar olması sorunu öncelikle çözülmelidir. Arabaların boyunun yüksekliği ortalama insan boyuna kısaltılarak çalışanın yukarıya parmak uçlarında yükselmesi engellenmelidir. İş planı yapılırken işin hız süresi belirlenmeli ve çalışana sıcak işlemlerle çalışma alanında zaman baskısı kurulmamalıdır. Çalışanın iş güvenliği açısından duvarda asılı olan bareti kullanması gerekmektedir.




Şekil 1. Banttardan Alınan Sıcak Tavaların Arabalara Dizilme İşlemi (Stacking The Hot Pans From The Tape to The Cars)



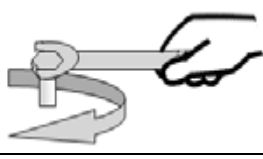








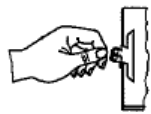
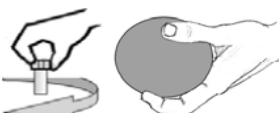
Tablo 2. Banttardan Alınan Sıcak Tavaların Arabalara Dizilme İşlemi LMM MA Zaman Ağırlığı Tablosu (Sequence of Hot Pans Taken From Tape to Cars LMM MA Time Weight Table)

Zaman Ağırlığı										
Vardiya başına bu aktivitenin toplam süresi [... saate kadar]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zaman Ağırlığı Puanı	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50









**Tablo 3.** Banttan Alınan Sıcak Tavaların Arabalara Dizilme LMM MA Parmak-El Kuvveti Tablosu (LMM MA Finger-Hand Strength Table Of Arranging The Hot Pans From The Tape To The Cars)

Parmak ve/veya eldeki kuvvet (tipleri)		Tutma				Taşıma					
		Ortalama Tutma süresi				Ortalama Tekrarlanan Hareket					
		Dakika başına saniye				Dakikadaki tekrar sayısı					
		60-31	30-16	15-4	<4	<1	1-4	5-15	16-30	31-60	>60
Seviye	Tanımlama ve Tipik Örnekler	Rating points									
Düşük	<b>Çok Düşük Kuvvet</b> Örneğin. düğme çalıştırma / değiştirme / sipariş	2,00	1,00	0,5	0,00	0,00	0,5	1,00	2,00	3,00	
	<b>Düşük Kuvvet</b> Örneğin. malzeme rehberliği / eklenmesi	3,00	1,50	1,00	0,00	0,00	1,00	1,50	3,00	5,00	
	<b>Orta Kuvvet</b> Örneğin. küçük iş parçalarını elle veya küçük aletlerle kavrama / birleştirme	5,00	2,00	1,00	0,00	0,5	1,00	2,00	5,00	8,00	
	<b>Büyük Kuvvet</b> Örneğin. Tornalama / sarma / paketlenme / tutma / tutma veya birleştirme / içeri bastırma / kesme Küçük elektrikli el aletleriyle çalışma	8,00	4,00	2,00	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00	13,00	
	<b>Çok Büyük Kuvvet</b> Örneğin. ana kuvvet unsuru içeren kesme / küçük zımba tabancalarıyla çalışma / hareketli veya tutma parçaları veya aletleri	12,00	6,00	3,00	1,00	1,00	3,00	6,00	12,00	21,00	
	<b>Zirve Kuvvet</b> Örneğin. sıkma, cıvataları gevşetme / ayırma / sıkma	19,00	9,00	4,00	1,00	2,00	4,00	9,00	19,00	33,00	
Yüksek	<b>Vurma</b> Örneğin baş parmağın, elin veya yumruğun topuyla	-	-	-	1,00	1,00	3,00	6,00	12,00	21,00	
<i>Çalışma döngüsü dikkate alınmalı ve kategorilerdeki güç puanları işaretlenmelidir. Birlikte eklendiğinde (sol ve sağ eller ayrı ayrı) bunlar kuvvet derecelendirme noktasını oluşturur. Toplam puan derecelendirme değerlerini hesaplamak için daha yüksek rakam kullanılmalıdır.</i>		<b>Kuvvet uygulamasının derecelendirme noktaları:</b>					<b>Sol El:</b>	<b>1,00</b>	<b>Sağ El:</b>	<b>5,00</b>	

**Tablo 4.** Banttın Alınan Sıcak Tavaların Arabalara Dizilme LMM MA Kuvvet Aktarımı/Kavrama Koşulları Ayrıntı Tablosu  
(Sequence of Hot Pans Taken From The Tape to Cars LMM MA Force Transfer / Clutch Conditions Detail Table)

	Kol tipi, kuvvet Aktarımı	Takım sapı tasarımı, bağlantı noktaları, nesnelere	Kavrama yüzey			
			kuru, kaymaz	kuru, çok düzgün	nemli	kaygan
	Güçlü kavrama	İyi şekillenmiş, optimum boyut	0	1	2	3
		Şekilsiz	1	2	3	3
		Çok büyük veya Çok Küçük	2	3	4	4
	Temas kavrama	İyi şekillenmiş, optimum boyut	0	1	2	3
		Şekilsiz	1	2	3	3
		Çok büyük veya Çok Küçük	2	3	4	4
	Avuç İçi Kavrama	İyi şekillenmiş, optimum boyut	0	1	2	3
		Şekilsiz	2	3	4	4
	Kanca Kavrama	İyi şekillenmiş, optimum boyut	0	0	1	2
		Şekilsiz	1	2	3	4
	Tutam Kavrama	İyi şekillenmiş, optimum boyut	0	1	2	3
		Şekilsiz	1	2	3	4
		Çok büyük veya Çok Küçük	2	3	4	4

**Tablo 5.** Banttın Alınan Sıcak Tavaların Arabalara Dizilme LMM MA El/Kol Pozisyon Değeri Tablosu (LMM MA Hand / Arm Position Value Array of Hot Pans Taken From The Tape)

El / kol pozisyonu ve hareketi			Rating Puanı
		İyi: orta (gevşeyen) aralıktaki eklemlerin pozisyonları veya hareketleri / sadece nadir sapmalar	0
		Sınırlandırılmış: ara sıra pozisyonlar veya eklemlerin hareketleri sınırında hareket aralıkları	1
		Elverişsiz: Sınırların sınırındaki sık konumlar veya eklem hareketleri hareket aralıkları	2
		Kötü: eklemlerin hareket aralıklarının sınırındaki sabit pozisyonları veya hareketleri / kolların el-kol desteği olmadan sabit tutulması	3
<b>Tipik pozisyonlar dikkate alınmalıdır. Nadir sapmalar göz ardı edilebilir.</b>			





**Tablo 6.** Banttın Alınan Sıcak Tavaların Arabalara Dizilme LMM MA İş Organizasyon Değeri Tablosu (LMM MA Work Organization Value Chart Arranging The Hot Pans From The Tape to The Cars)

İş organizasyonu	Rating Puanı
Diğer faaliyetler nedeniyle yük durumunun sıklıkla değişmesi / çok sayıda çalışma operasyonu / yeterli iyileşme fırsatı	0
Diğer faaliyetler / az sayıda çalışma işlemi / iyileşme süreleri nedeniyle yük durumunun nadiren değişmesi yeterli	1
Diğer aktivitelerden dolayı hiçbir yük durumu değişimi yok / neredeyse yok / operasyon başına birkaç tek hareket / yüksek hat balansı nedeniyle yüksek çalışma oranı ve / veya yüksek parça-iş çıkışı / dengesiz çalışma sırasız eşzamanlı yüksek yük tepeleri / çok az veya çok kısa iyileşme süreleri	2
<i>Tabloda belirtilmeyen özellikler buna göre dikkate alınmalıdır.</i>	

**Tablo 7.** Banttın Alınan Sıcak Tavaların Arabalara Dizilme LMM MA İş Koordinasyon Değeri Tablosu (LMM MA Work Coordination Value Table Of Array Of Hot Pans Taken From The Tape To Cars)

İş Koordinasyonu	Rating Puanı
İyi: ayrıntıların güvenilir şekilde tanınması / göz kamaştırıcı olmaması / iyi iklim koşulları	0
Sınırlı: göz kamaştırıcı veya aşırı küçük detaylar / taslaklar / soğuk / ıslak / Gürültü nedeniyle bozulmuş konsantrasyon	1
<i>Tabloda belirtilmeyen özellikler buna göre dikkate alınmalıdır. Son derece olumsuz koşullar altında puanlama noktası 2 atanabilir.</i>	

**Tablo 8.** Banttan Alınan Sıcak Tavaların Arabalara Dizilme LMM MA Duruş Değeri Tablosu (LMM MA Stance Value Table of The Hot Pans Taken From The Tape)

Postür	Rating Puanı	
	İyi: oturma ve ayakta durma mümkündür / ayakta durma ve Yürüme / dinamik oturma mümkündür / gerektiğinde el-kol desteği mümkündür /bükülme yoktur / kafa duruş değişkeni / omuz yüksekliğinin üzerinde kavrama yok	0
	Kısıtlı: Vücudun hareket alanına doğru hafif eğimli gövdesi / baskın oturma, ara sıra ayakta durma veya yürüme / ara sıra omuz yüksekliğinin üzerine eğilme	1
	Olumsuz: Gövde açıkça öne eğilmiş ve / veya bükülmüş / baş duruşu ayrıntı tanıma konumunda/ kısıtlı hareket serbestliği / özel duruş omuz yüksekliğinin üstünde yürüme / sık sık kavrama olmadan / vücuttan uzaklığı	3
	Zayıf: Gövde ciddi şekilde bükülmüş ve öne eğilmiş / vücut duruşu kesinlikle sabit / büyüteçler veya mikroskoplar / şiddetli ile eylemin görsel kontrolü başın eğimi veya bükülmesi / sık sık bükme / sabit kavrama omuz yüksekliği / sabit vücuttan uzak durma	5
Tipik duruşlar dikkate alınmalıdır. Nadir sapmalar göz ardı edilebilir		

**Tablo 9.** Banttan Alınan Sıcak Tavaların Arabalara Dizilme LMM MA Sonuç Değeri Tablosu (Sequence Of Hot Pans Taken From The Tape To Cars LMM MA Result Value Table)

	Puan
<b>Parmak ve/veya eldeki kuvvet</b>	8
<b>Kuvvet aktarımı / Kavrama koşulları</b>	3
<b>El / kol pozisyonu ve hareketi</b>	1
<b>İş organizasyonu</b>	1
<b>İş Koordinasyonu</b>	1
<b>Duruş</b>	1
<b>Toplam</b>	15
<b>Zaman Ağırlığı</b>	2
<b>Risk Skoru</b>	<b>30</b>

**Tablo 10. LMM MA Değerlendirme Tablosu (LMM MA Evaluation Chart)**

Risk Seviyesi	Risk Skoru	Tanımlama
1	<10	<b>Düşük yük durumu:</b> Fiziksel aşırı yüklenmeden kaynaklanan sağlık riskinin ortaya çıkması pek olası değildir
2	10< <25	<b>Orta yük durumu:</b> Fiziksel aşırı yüklenme mümkündür Bu grup için işyerinin yeniden tasarlanması faydalıdır.
3	25< <50	<b>Artan yük durumu:</b> Fiziksel aşırı yüklenme mümkündür. İşyerinin yeniden tasarlanması önerilir.
4	≥50	<b>Yüksek yük durumu:</b> Fiziksel aşırı yüklenme vardır. İş yerinin yeniden tasarlanması gereklidir.

#### 4.2. Kaldırma Tutma Taşıma İşleri İçin BAUA LMM HHT Ergonomik Risk Analiz Örneği (BAUA LMM HHT Ergonomic Risk Analysis Case Study for Lifting and Handling Works)

Gıda üretim fabrikasında temizlik esnasında yapılan işlerden 3 adet örnek iş BAUA LMM HHT ergonomik risk analiz yöntemi ile incelenmiştir. İncelenen fotoğraflar arasında risk skoru en yüksek olan iş 'taşıma arabalarının kaldırılarak yıkanması işlemi' şeklindedir.

##### 4.2.1. Taşıma Arabalarının Kaldırılarak Yıkanması İşlemi (Washing Process by Lifting of Transport Trolleys)

Taşıma arabalarının kaldırılarak yıkanması işlemi Şekil 2'de gösterilmiştir. Taşıma arabaları yıkama katına başkaları tarafından gönderilmektedir. Toplamda 3 taşıma arabası mevcuttur. Yıkama işlemi 5 dakika kadar sürmektedir. Haftada bir kez arabalar yıkanmaktadır. Tablo 11'de zaman ağırlığı tablosuna göre tutma süresi 5 ile 15 dakika arasında olduğu için 2 değeri seçilmiştir. Haftada bir kez arabalar yıkanmaktadır. Taşıma arabasının ortalama ağırlığı 10 kg civarında olması nedeni ile yükün önemliliği Tablo 12'e göre erkekler için 2 olarak seçilmiştir. Konum ağırlığı Tablo 13'e göre gövdenin öne eğilmesi nedeni ile 4 olarak seçilmiştir. Uygulama koşulları Tablo 14'e göre hareket etme serbestliği çok sınırlanmış ve yükün ağırlık merkezinin değişken olması nedeni ile 2 olarak seçilmiştir. Tablo 15'deki sonuç tablosuna göre yük önemliliği, konum ağırlığı, uygulama koşulları skorları toplanarak çıkan sonuç zaman ağırlığı skoru ile çarpılarak risk skoru hesaplanmıştır.



**Şekil 2.** Taşıma Arabalarının Kaldırılarak Yıkanması İşlemi (The Process of Lifting and Washing Transport Trolleys)


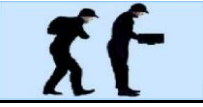


**Tablo 11.** Taşıma Arabalarının Kaldırılarak Yıkanması İşlemi LMM HHT Zaman Ağırlığı Belirleme Tablosu (Lifting And Washing Of Transport Trolleys LMM HHT Time Weight Determination Table)

Kaldırma ve Yer Değiştirme(<5s)		Tutma(>5s)		Taşıma(>5s)	
Bir günde yapılan iş sayısı	Zaman Ağırlığı	Bir günde toplam süre	Zaman Ağırlığı	Bir günde toplam mesafe	Zaman Ağırlığı
<10	1	>5 dak.	1	<300 m.	1
10<...<40	2	5<...<15 dak.	2	300<...<1000 m.	2
40<...<200	4	15<...<60 dak.	4	1<...<4 km.	4
200<...<500	6	1<...<2 saat	6	4<...<8 km.	6
500<...<1000	8	2<...<4 saat	8	8<...<16 km.	8
≥1000	10	≥4 saat	10	≥16 km.	10

**Tablo 12.** Taşıma Arabalarının Kaldırılarak Yıkanması İşlemi LMM HHT Yük Önemliliği Belirleme Tablosu (Lifting and Washing of Transport Trolleys LMM HHT Load Significance Determination Table)

Etken Kuvvet (Erkekler İçin)	Yük Önemliliği	Etken Kuvvet (Kadınlar İçin)	Yük Önemliliği
<10 kg	1	<5 kg	1
10<...<20 kg	2	5<...<10 kg	2
20<...<30 kg	4	10<...<15 kg	4
30<...<40 kg	7	15<...<25 kg	7
≥40 kg	25	≥25 kg	25

**Tablo 13.** Taşıma Arabalarının Kaldırılarak Yıkanması İşlemi LMM HHT Konum Ağırlığı Belirleme Tablosu (Lifting and Washing of Transport Trolleys LMM HHT Position Weight Determination Table)

	Vücut Duruşu, Yükün Pozisyonu	Konum Ağırlığı
	- Gövdenin üstü dik, döndürülmüyor - Yük gövdede	1
	- Çok hafif eğilme veya üst gövdenin döndürülmesi - Yük gövdede veya gövde yakınında	2
	- Aşağıya veya öne fazla eğilme var - Öne doğru biraz eğilirken, gövdenin üst kısmının döndürülmesi - Yük gövdeden uzakta veya omuz yüksekliğinin üzerinde	4
	- Öne doğru fazla eğilirken, gövdenin üst kısmının döndürülmesi - Yük gövdeden uzakta - Ayakta konumunu sabit tutabilmek zor - Çömelme veya dizlerin üzerine çökme	8



**Tablo 14.** Taşıma Arabalarının Kaldırılarak Yıkanması İşlemi LMM HHT Uygulama Koşulları Tablosu (Lifting And Washing of Transport Trolleys LMM HHT Application Conditions Table)

Uygulama Koşulları	Rating Puanı
İyi ergonomik koşullar, örneğin yeterli alan, engelsiz çalışma alanı, düz-kaymayan zemin, yeterli aydınlatma, tutabilme iyi ve kolay	0
Hareket etme olanağı sınırlı, ergonomik koşullar kötü. Örnek: 1.Alçak tavan ve 1,5 m2 den daha az çalışma alanı 2.Düz olmayan veya yumuşak zemin nedeniyle ayakta dururken sendeleme, düşme olasılığı	1
Hareket etme serbestliği çok sınırlanmış ve/veya yükün ağırlık merkezinin değişken olması (örneğin hasta taşıma)	2

**Tablo 15.** Taşıma Arabalarının Kaldırılarak Yıkanması İşlemi LMM HHT Sonuç Tablosu (Lifting And Washing of Transport Trolleys LMM HHT Result Table)

	Puan
Yük Önemliliği	2
Konum Ağırlığı	4
Uygulama Koşulları	2
Toplam	8
Zaman Ağırlığı	2
<b>Risk Skoru</b>	<b>16</b>

Hesaplanan risk skorunu 16 bulunmuştur (Tablo 15). Değerlendirme tablosuna göre bu değer 10 ile 25 arasındadır. Taşıma arabalarının kaldırılarak yıkanması işleminin risk seviyesi 2 olarak saptanmıştır. Orta yük durumu sonucuna göre fiziksel aşırı yüklenme mümkündür. İşyerinin yeniden tasarlanması faydalıdır (Tablo 10).

Taşıma arabalarının kaldırılarak yıkanması ile ilgili önlem alınmalıdır. İş sağlığı ve güvenliği açısından fotoğrafta görüldüğü üzere arabayı hafif kaldırma işlemi yapılması ve temizleme süresinin kısa olması ergonomik olarak yüksek risk teşkil etmemektedir. Yine de yıkama işleminin iki kişi ile yapılması ani bel incinmelerinin önüne geçilmesi için tavsiye edilmektedir. Eldivenlerin ve zeminin ıslak ve kaygan olmasından dolayı araba elinden kayarak ayağına düşebilir. Bu neden ile yıkama işlemi yapılırken arabanın kaldırılmadan, etrafında dönerek temizleme işleminin yapılması faydalı olacaktır.

#### 4.3. İtme Çekme İşleri İçin BAUA LMM SZ Ergonomik Risk Analiz Örneği (BAUA LMM SZ Ergonomic Risk Analysis Case Study for Push and Pull Works)

Gıda üretim fabrikasında temizlik esnasında yapılan işlerden 4 adet örnek iş BAUA LMM SZ ergonomik risk analiz yöntemi ile incelenmiştir. İncelenen fotoğraflar arasında risk skoru en yüksek olan iş 'makine ile yer silme işlemi' şeklindedir.

##### 4.3.1. Makine ile Yer Silme İşlemi (Wiping Floor by the Machine)

Makine ile yer silme işlemi Şekil 3'de gösterilmiştir. Yer temizlemek için kullanılan bu makinenin 4 aküsü bulunmaktadır. Bir akü ortalama 12 saatte dolmaktadır. Boş akülerin dolumu sırasında aküler makineden çıkarılarak akü doldurma alanında akşamları şarja takılır ve sabah çıkarılır. Haznesi su ile dolmakta ve su ile çalışmaktadır. Su ile dolu hali 300 kg ağırlığındadır. Belirli bir alanı temizleme işlemi etrafında engellerin olması, alanın kısıtlı-dar olması gibi nedenlerle makineyi hareket ettirmek zorlaşacağı için işin yapım süresi de uzayabilmektedir. Belirli alanı temizleme işlemi mola vermeden yaklaşık 15 dakika sürmektedir. 15 dakikalık süreçte yavaş hareket edilmesi ve aynı noktalardan geçilmesi nedeni ile tek seferde yapılan mesafe 300 metreden fazla 1 kilometreden az şeklindedir. Bu nedenle Tablo 16'da zaman ağırlığı 2 olarak belirlenmiştir. Yer silme işleminde kullanılan elektrikli otomat aracının ortalama ağırlığı 65 kg civarındadır. Bu nedenle Tablo 17'ye göre yardımcı araç skoru 1 olarak bulunmuştur. Cihaz sık sık yön değiştirilebilir ve hareket hızı ise 0,8m/s 'den az olduğu için bulunan konum değer skoru 2 olarak belirlenmiştir (Tablo 18). Makineyi itme sırasında çalışanın bedeni makinenin hareket ettirdiği yöne doğru kıvrılmaktadır. Dolayısıyla Tablo 19 'da bulunan beden konum skoru 4 olarak belirlenmiştir. Makinenin yer ile temas ettiği zeminin düzgün fakat alanın kısıtlı ve etrafta fazla malzeme olmasından dolayı uygulama koşulu skoru 2 belirlenmiştir. Tablo 20'deki hesaplamalar sonucunda risk skoru 18 olarak hesaplanmıştır.

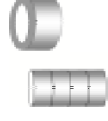
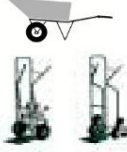



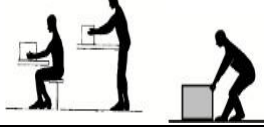


Şekil 3. Makine İle Yer Silme İşlemi (Floor Cleaning with Machine)

Tablo 16. Makine İle Yer Silme İşlemi BAUA LMM SZ Zaman Ağırlığı Tablosu (Floor Cleaning with Machine BAUA LMM SZ Time Weight Table)

Kısa Mesafelerde çekme-itme veya sık sık durarak çekme-itme (Bir Seferde < 5 m)		Uzun Mesafelerde itme ve çekme (Bir seferde > 5 metre)	
Bir Günde Yapılan İş		Bir Günde Toplam	
Sayısı	Zaman Ağırlığı	Mesafe	Zaman Ağırlığı
< 10	1	< 300 m	1
10 < ... < 40	2	300 m < ... < 1 km	2
40 < ... < 200	4	1 km < ... < 4 km	4
200 < ... < 500	6	4 km < ... < 8 km	6
500 < ... < 1000	8	8 km < ... < 10 km	8
> 1000	10	> 16 km	10
Örnek: Makineye takım veya parça takma, hastanede yemek dağıtma		Örnek: Konteyner yükleme - boşaltma, binada yuvarlanıır parçalar üstünde mobilya taşıma, çöp bidonlarını boşaltma	

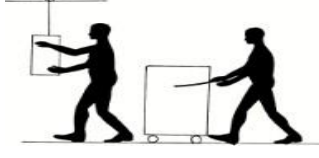
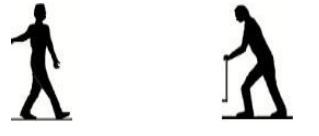
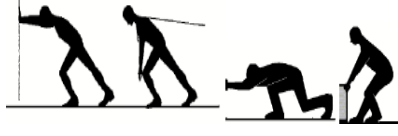

**Tablo 17.** Makine İle Yer Silme İşlemi BAUA LMM SZ Yardımcı Araç Değer Tablosu (Floor Cleaning with Machine BAUA LMM SZ Auxiliary Vehicle Value Table)

	Yük Yardımcı Araçsız Yuvarlanıyor	El Arabası	Tekerlekli Sehpa (Yönlendirme Olanığı Olmaksızın)	Transpalet, Kas Gücüyle Çalışan Forklift	Manipülör
<b>Hareket Ettirilecek Kütle (Yuvarlanarak)</b>					
< 50 kg	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
50kg < ...< 100 kg	1	1	1	1	1
100kg < ...< 200 kg	1,5	2	2	1,5	2
200kg < ...< 300kg	2	4	3	2	4
300kg < ...< 400 kg	3		4	3	
400kg < ...< 600 kg	4		5	4	
600kg < ...< 1000kg	5			5	
<b>Kaydırarak</b>					
< 10 kg	1				
10kg < ...< 25 kg	2				
25 kg < ...< 50 kg	4				
>50 kg					

**Tablo 18.** Makine İle Yer Silme İşlemi BAUA LMM SZ Konum Değer Tablosu (Floor Cleaning with Machine BAUA LMM SZ Position Value Table)

Konum Hassasiyeti	Hareket Hızı	
	Yavaş	Hızlı
	<0,8m/s	0,8-1,3m/s
<b>Önemsiz:</b> Hareket yolu keyfidir. Yük Yuvarlanabilir veya durması bir engelle sağlanır.	1	2
<b>Önemli:</b> Yükün yerleştirileceği yer kesin bellidir, buna uyulmalıdır. Hareket yolu bellidir, uyulmalıdır. Sık sık yön değiştirilir.	2	4

**Tablo 19.** Makine İle Yer Silme İşlemi BAUA LMM SZ Beden Konumu Ve Uygulama Koşulları Değer Tablosu (Floor Cleaning with Machine BAUA LMM SZ Size Position and Application Conditions Value Table)

Beden Konumu		
	Beden dik, herhangi bir dönme yok	1
	Üst gövde hafif öne eğik veya hafif dönmüş(Tek Yönlü Çekme)	2
	Hareket yönünde gövde fazla eğik, diz çökme, çömelme	4
	Eğilme ve dönme birlikte	6
Uygulama Koşulları		
<b>İyi:</b> Döşeme sabit, düz kaygan değil, kuru; eğim yok; engel yok, tekerlekler, makaralar kolay dönüyor, teker yataklarında aşınma yok		0
<b>Sınırlı:</b> Döşeme düz değil, kirli, yumuşakça; 2° kadar eğimli; etrafında dolaşılması gereken engeller var; tekerler, makaralar pek kolay dönmüyor; teker yataklarında aşınma var.		2
<b>Zor:</b> Sabit ve sağlam olmayan, kaba taş döşenmiş yol, çukurlar var, kirli: 2°- 5° eğim var; taşıma araçlarını harekete başlatabilmek için çok kuvvete gereksinim var; makaralar, tekerler kirli, zor dönüyor.		4
<b>Komplike, çok zor:</b> Yol üzerinde basamak, merdiven var; eğim 5° den fazla, Yukarıda verilen sınırlı ve zor sınıflandırma koşulları birlikte mevcut		8

**Tablo 20.** Makine İle Yer Silme İşlemi BAUA LMM SZ Sonuç Tablosu (Floor Cleaning with Machine BAUA LMM SZ Results Table)

	Puan	
	Yardımcı Araç Durumu	1
+	Hareket Hızı	2
+	Beden Konumu	4
+	Uygulama Koşulları	2
	Toplam	9
x	Zaman Ağırlığı	2
x	Cinsiyet (Erkek için 1 Kadın için 1,3)	1
	<b>Risk Skoru</b>	<b>18</b>

Tablo 20’de skorların yerleştirilmesi ve hesaplanması sonucu elde edilen risk skoru 18 olarak bulunmuştur. Değerlendirme tablosuna göre bu değer 10 ile 25 arasındadır. Makine ile yer silme işleminin risk seviyesi 2 olarak tespit edilmiştir (Tablo 10).

Şekil 4 te gösterilen binicili yer temizleme makinesi farklı ebatlarda bulunabilmektedir. Ergonomik olmasının yanı sıra maddi anlamda da kullanıma uygundur. Bir defa şarj edilmesi ile 3-4 saat kullanılabilir ve saate ortalama 3000 m2 ile 7000 m2 arası temizlik yapabilen çeşitleri bulunmaktadır. Darbelere dayanıklı olması nedeni ile kullanım ömrü de uzamaktadır. Kullanılan kimyasallardan ve sudan %85 e kadar tasarruf sağlamaktadır. Makine ile yer silme işleminde makinenin ergonomik açıdan daha uygun tasarlanmış olan oturarak çalışılan makineler ile değiştirilmesi önerilmektedir.



Şekil 4. Binicili Yer Temizleme Makinesi (Rider Floor Scrubber)

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Araştırma kapsamında iş esnasında çekilen 12 adet çalışma pozisyonunun değerlendirme sonuçlarının özet tabloları Tablo 21, Tablo 22 ve Tablo 23’de verilmiştir.

**Tablo 21.** Gıda Fabrikasında Yapılan Temizlik İşlerinin BAUA LMM MA Analizleri Özet Tablosu (BAUA LMM MA Analysis Summary Table of Cleaning Works in The Food Industry)

İşler	Parmak ve/veya eldeki kuvvet	Kuvvet aktarımı / Kavrama koşullar	El / kol pozisyonu ve hareketi	İş organizasyonu	İş Koordinasyonu	Duruş	Toplam	Zaman Ağırlığı	Risk Skoru	Risk Seviyesi	
										Risk Seviyesi	
BAUA LMM MA	Tava Silme	4	2	1	0	0	8	8	1,5	12	2
	Banttın Alınan Sıcak Tavalardan Arabalara Dizilmesi	8	3	1	1	1	1	15	2	30	3
	Yer Süzgeçlerini Temizleme	5	4	1	1	0	5	15	2	30	3
	El Bezi İle Toz Alarak Temizleme	3	2	1	1	0	1	8	1	8	1
	Süpürge Makinesi ile Temizleme	5	1	1	1	1	5	14	1	14	2

Tablo 21’de elle yapılan işler konulu 5 risk analizinden biri düşük yük durumunu belirten 1. derece risk seviyesinde, ikisi orta yük durumunu belirten 2. derece risk seviyesinde, 2 adeti ise artan yük durumunu belirten 3. derece risk seviyesinde görülmektedir. Manuel el işlerinde yapılan işlerin risk seviyeleri ile yapılan işler Şekil 4’ de grafik halinde gösterilmiştir.

BAUA LMM MA ergonomik risk değerlendirme yönteminde; el/koldaki maruz kalınan kuvvet risk skoru, kuvvet koşulları/kavrama koşulları risk skoru, el/kol pozisyonu risk skoru, organizasyon risk skoru, koordinasyon risk skoru ve duruş risk skorlarının toplanması ve zaman ağırlığı ile çarpılması sonucu elde edilen toplam risk skoru değerlendirilmektedir. Zaman ağırlığı dışındaki tüm faktörler toplama eşit etki etmektedir. Zaman ağırlığı değeri ise risk skorunu yükselten bir faktördür. Tablo 21’de görüleceği üzere risk seviyesinin 2 ve 3 olduğu işlerde zaman ağırlığı skoru yüksektir.

**Tablo 22.** Gıda Fabrikasında Yapılan Temizlik İşlerinin BAUA LMM HHT Analizleri Özet Tablosu (BAUA LMM HHT Analysis Summary Table of Cleaning Works Carried Out in The Food Factory)

İşler		Yük Önemliliği	Konum Ağırlığı	Uygulama Koşulları	Toplam	Zaman Ağırlığı	Risk Skoru	Risk Seviyesi
BAUA LMM HHT	Çöplerin arabadan boşlatılması	1	4	2	7	1	7	1
	Taşıma arabalarının kaldırılarak yıkanması	2	4	2	8	2	16	2
	Çatıda su giderlerinin temizlenmesi	1	2	0	3	4	12	2

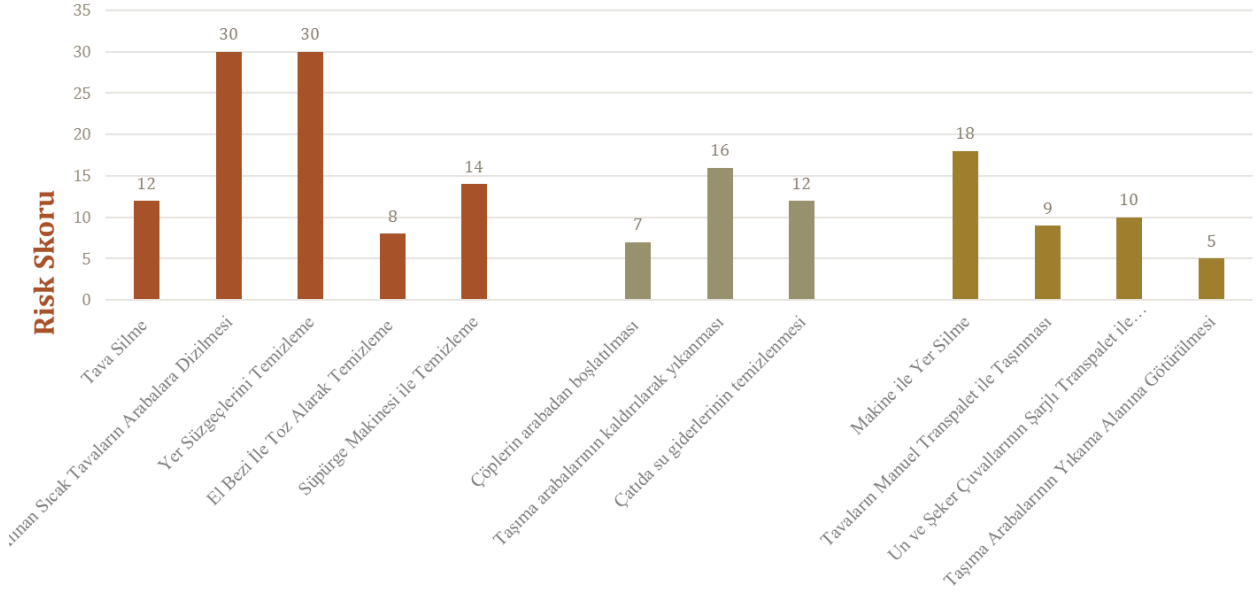
Tablo 22’de tutma, kaldırma, taşıma konulu 3 adet işin BAUA LMM HHT risk analizi ile yapılan değerlendirmelerinin özet hali verilmiştir. Üç risk analizinden 2’si orta yük durumunu belirten 2. derece risk seviyesinde, 1’i düşük yük durumunu belirten 1. derece risk seviyesindedir.

**Tablo 23.** Gıda Fabrikasında Yapılan Temizlik İşlerinin BAUA LMM SZ Analizleri Özet Tablosu (BAUA LMM SZ Analysis Summary Table of Cleaning Works Carried Out in The Food Factory)

İşler		Yardımcı Araç Durumu	Hareket Hızı	Beden Koruma	Uygulama Koşulları	Toplam	Zaman Ağırlığı	Cinsiyet (Erkek için 1, Kadın için 1,3)	Risk Skoru	Risk Seviyesi
BAUA LMM SZ	Makine ile Yer Silme	1	2	4	2	9	2	1	18	2
	Tavaların Manuel Transpalet ile Taşınması	3	2	4	0	9	1	1	9	1
	Un ve Şeker Çuvallarının Şarjlı Transpalet ile Taşınması	5	1	2	2	10	1	1	10	1
	Taşıma Arabalarının Yıkama Alanına Götürülmesi	1	2	2	0	5	1	1	5	1

Tablo 23’de itme-çekme işlerinde 4 adet BAUA LMM SZ risk analizi ile yapılan değerlendirmelerin özeti sunulmuştur. 4 risk analizinden 1’i orta yük durumunu belirten 2. derece risk seviyesinde, 3’ü düşük yük durumunu belirten 1. derece risk seviyesindedir.

BAUA LMM MA (manuel el işleri), LMM HHT (kaldırma, tutma, taşıma işleri) ve LMM SZ (itme, çekme işleri) toplu halde Şekil 5’ deki grafikte gösterilmiştir. Şekil 5’ deki grafiğe bakıldığında bu 3 metot içerisinde en yüksek risk seviyelerinin manuel el işlerinde olduğu görülmektedir.



### İşler

**Şekil 5.** BAUA LMM MA, LMM HHT ve LMM SZ Risk Skor Grafiği (BAUA LMM MA, LMM HHT and LMM SZ Risk Score Chart)

İtme ve çekme işlerinde ise temel faktör yardımcı araç durumudur. Kullanılan yardımcı aracın işe uygunluğu ve ergonomik durumunun risk seviyesine etkisi büyüktür. İtme ve çekme işleri, manuel ve tutma, kaldırma, taşıma işlerine göre en az riske sahip olan işler olarak görülmektedir.

Manuel yapılan işlerde, kaldırma, tutma, taşıma şeklinde yapılan işlerde ve itme, çekme işlerinde düşük, orta ve artan iş yükü durumları mevcuttur. Bu durumların önlem alınması gereken işler niteliğindedir. Manuel yapılan işlerde öncelikle işin süresinin kısaltılması önerilmektedir. Buda işin birden fazla kişi yapılması veya daha fazla dinlenme arası verilerek yapılmalıdır. Yapılan çalışma sonucunda aşağıda maddeler halinde belirtilen önerilerde bulunulmuştur.

- ✓ Çalışma alanlarının ergonomik açıdan düzenlenmesi, çalışanların sağlığını korumaya yönelik çalışma şartlarının oluşturulması ve çalışanlara eğitimlerin verilmesi gibi düzeltici ve önleyici düzenlemeler hem işveren hem çalışan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Günümüz şartlarında mevcut işyerlerinde ergonomik düzenlemeleri gerçekleştirmek oldukça maliyetlidir. BAUA yöntemi ise neredeyse maliyetsiz bir şekilde oluşabilecek KİSH'lerin tespitinde yardımcı olmaktadır.
- ✓ Tüm vücut çalışmasının esas alındığı temizlik işlerinin, ergonomik olmayan alan, ekipman ve ağır makinelerle yapılması insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Bu durumun özellikle KİSH'lere yol açabileceği görülmüştür.
- ✓ KİSH'lerin önüne geçilmesi, iş kazalarının ve meslek hastalıklarının azalmasında etkili olacağından ergonomik risk analizlerinin yapılmasının önemi bu çalışmada görülmüştür.
- ✓ İş sağlığı ve güvenliğine ve ergonomiye verilen önem artırılmalıdır. Ergonomik risk analizleri düzenli olarak yapılan iş, çalışılan ortam ve çalışan kişiye göre özenli ve dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.
- ✓ Temizlik işlerinde kişisel koruyucu donanımların kullanılmasına özen gösterilmelidir.
- ✓ Yeni kurulacak olan iş yerlerinde iş sağlığı ve güvenliği ve ergonomik koşullar düşünülerek iş yeri tasarımı yapılmalıdır. Mevcuttaki işyerleri ise BAUA gibi risk analizi yöntemlerini kullanarak iyileştirmeler yapılmalıdır.

Bu çalışma ile benzer sonuçları Yüce (2019) tez çalışmasında otomotiv sektörü için bulmuştur. Bu doğrultuda yapılan işe uygun kullanılan her alet için bilgilendirme yapılması ve yüksek riskli yapılan işlerde iyileştirme çalışmaları ile risk faktörünün düşürülmesi önerilmiştir. Buna ek olarak bu çalışmada olduğu gibi Yetim ve Gündüz'de (2015) yapılan işi her açıdan değerlendirmesi ve çıkan sonuçların güvenilirliği açısından BAUA yöntemi kullanılmasını tavsiye edilmişlerdir.

İnsan hayatında ve tüm işyerlerinde vazgeçilmez en önemli çalışan görevi ise temizlik işidir. SGK (2018) verilerinden de anlaşılacağı üzere gıda üretim fabrikalarında çalışan temizlik işçilerinin iş gücü ve iş günü kayıpları, meslek hastalıkları ve iş kazası oranları oldukça yüksektir. Bu durum aynı zamanda işvereni ve devleti ciddi maddi kayıplara uğratmaktadır (Budakoğlu ve Akgün, 2007). Bu çalışma sonucunda temizlik çalışanlarının yaptıkları işleri BAUA metodu ile ayrı ayrı incelenmiş ve risk seviyelerinin azaltılması konusunda tavsiyelerde

bulunulmuştur. Özellikle yüksek risk skoru bulunan işlerde, risklerin azaltılması ve önlenmesi sonucunda başlatılacak olan düzeltici faaliyetlerin ergonomik açıdan meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıklarının önüne geçmesi konusunda katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Gülçin Özcan'ın Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalında yaptığı Yüksek Lisans tezinden düzenlenmiştir.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar (References)

- Atıcı H., Gönen D., Oral A., 2015. Çalışanlarda Zorlanmaya Neden Olan Duruşların REBA Yöntemi İle Ergonomik Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 3(3), 239-244. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/195456>
- BAUA, 2019. İşyerinde Fiziksel Stresin Çok Seviyeli Risk Analizi. 1. Baskı. Dortmund: Federal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü. DOI: 10.21934 / baua: report20190821 <https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2333.html>
- Berber N., 2020. Reba, BAUA, Niosh Ve Snook Tabloları Yöntemleriyle Ergonomik Risk Analizi İncelemesi: Gıda Sektörüne Yönelik Bir Uygulama. T.C. Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Budakoğlu İ., Akgün H.S., 2007. Kas İskelet Sistemi Hastalıklarının Dünyadaki Ve Ülkemizdeki Hastalık Yükü. İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 146, 20-23. <https://www.ailevecalisma.gov.tr/isggm/dergiler/34.pdf>
- Bilir N., 2007. Mesleksi Kas İskelet Sistemi Hastalıkları. İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 146, 10-13. <https://ailevecalisma.gov.tr/isggm/dergiler/34.pdf>
- Cengiz T.G., Pişkin K.K., 2013. Otomobil Koltuğu Kılıfı İmalatı Yapılan Bir Firmada RWL, REBA ve RULA Yöntemleri Kullanılarak Yapılan Yük Kaldırma Analizleri. 19. Ulusal Ergonomi Kongresi Bildiriler Kitabı, Balıkesir.
- Duran F.M., Köksal N.S., 2016. Reba Yöntemi Kullanılarak Düşük Maliyetli Ergonomik Çözümlerin Araştırılması. 8. İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı, Bildiri Tam Metinleri Kitabı, 2, 645. <http://cisam.cu.edu.tr/Tr/Belgeler/8uluslararasıblidr.pdf>
- Holte H.H., Tamsb K., Bjerkedal T., 2000. Manual Work As Predictor For Disability Pensioning With Osteoarthritis Among The Employed In Norway 1971-1990. International Journal Of Epidemiological Association, 29(3), 487-94. DOI: 10.1093/ije/29.3.487
- Kahya E., Çiçek E., 2019. Seramik Sektöründe Taşıma İşlemlerinde Ergonomik Risk Değerlendirmesi - Bir Pilot Çalışma. Ergoterapi ve Rehabilitasyon Dergisi, 7(1), 47-58. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/591834>
- Morken T., Riise T., Moen B., Hauge H.V.S., Holien S., Langedrag A., Pedersen S., Saue L.L.I., Seljeb M.G., Thoppil V., 2003. Low Back Pain And Widespread Pain Predict Sickness Absence Among Industrial Workers. BMC Musculoskeletal Disorders, 21(4), 1-8.
- Özel E., Çetik O., 2010. Mesleki Görevlerin Ergonomik Analizinde Kullanılan Araçlar Ve Bir Uygulama Örneği. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22, 41-56. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dpufbed/issue/36008/405251>
- Sevimli M., Atıcı U.H., Gündüz T., 2018. Pirinç Paketleme İşinde Çalışanların Çalışma Koşullarının Ergonomik Risk Analizleri İle Geliştirilmesi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(1), 38-54. <https://doi.org/10.25092/baunfbed.369102>
- SGK, 2018. Sosyal Güvenlik Kurumu Yıllıkları. [http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk\\_istatistik\\_yilliklari](http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari)
- Ülker O., 2020. Koltuk İmalatındaki Zorlanmaların BAUA Yöntemi İle Değerlendirilmesi. Ergonomi, 3(1), 45-54. DOI: 10.33439/ergonomi.704024
- Yavuzkan G., Kaya K., Yağız M., Erdem M., Acar I., 2015. Ergonomi Risk Analizleri Yazılımlaştırılması Ergonomi- İş Sağlığı Güvenliği Risk Haritalandırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 3(3), 603-614. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/195447>
- Yetim H., Gündüz T., 2015. Ergonomic Analysis Of Working Postures That Cause Strain On Workers That Work in Hand Placement Business Of Transporting Containers. PressAcademia Procedia, 1(1), 1-10. <https://doi.org/10.17261/pressacademia.2016118133>
- Yüce D., 2019. Otomotiv Sektöründe BAUA LMM Yöntemleriyle Ergonomik Risk Değerlendirilmesi: Teknik Servis Çalışmaları Vaka Analizi. T.C. Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tez Çalışması.





## GÜRBÜZ YÜZ TANIMA İÇİN ÇOK-KİPLİ ÖZİNİTELİK FÜZYONU

Cihan TOPAL<sup>1\*</sup>, Cevdet CIVIR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

<sup>2</sup> Visea İnovatif Bilgi Teknolojileri, Eskişehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Yüz Tanıma, Öznelik Çıkartma, Öznelik Birleştirme, Spektral Öznelikler, Uzamsal Öznelikler.</i>	Yüz tanıma çok sayıda uygulama alanı olan popüler bir bilgisayarla görü problemidir. Farklı ışık koşulları ve değişen yüz ifadeleri yüz tanıma problemi zorlaştıran etkenlerdir. Yüz tanıma işlemi için çeşitli yöntemlerle elde edilen öznelikler yüze ait farklı karakteristik özellikleri yansıtır. Bu karakteristik özelliklerden faydalanılarak yüz tanıma işlemi gerçekleştirilir. Bu çalışmada, örüntü ve doku tanımda sıklıkla kullanılan Yerel İkili Örüntü ve Felzenszwalb Yönelimli Gradyan Histogram özneliklerinin birleştirilmesi ile yüz tanıma problemine çok kipli bir çözüm sunulmuştur. Yüz imgesi bölgelere ayrılarak, her iki yöntem ile bölgelerden öznelik vektörleri elde edilmiştir. Bununla birlikte elde edilen vektörlere öznelik seçim yöntemleri uygulanarak hem vektör boyutu azaltılmış hem de başarımlar artırılmıştır. Öznelik seçimi sonucu her iki yöntem için seçilen öznelik alt kümeleri birleştirilerek uzamsal ve spektral öznelikleri içeren tek bir öznelik vektörü haline getirilmiştir. Seçilen öznelikler Ki-kare sınıflandırıcısı kullanılarak sınıflandırılmıştır. Önerilen yöntemin başarımlarını FERET veri setinde ölçülmüş, %89.45 yüz doğrulama ve %94.55 yüz tanıma başarımlarını elde edilmiştir.

## FUSION OF SELECTED MULTI-MODAL FEATURES FOR ACCURATE FACE RECOGNITION

Keywords	Abstract
<i>Face Recognition, Feature Extraction, Feature Fusion, Spectral Features, Spatial Features.</i>	Face recognition is a popular computer vision problem with many areas of application. Different lighting conditions and changing facial expressions are factors that make the face recognition problem difficult. The features extracted by different methods from the face image reflect the different characteristics of the face image. Face recognition process is applied by using these features. In this study, a multi-modal solution to the face recognition problem is presented by fusing the Local Binary Pattern and Felzenszwalb Histogram of Oriented Gradients features, which are frequently used in pattern and texture recognition. Face image is divided into regions and feature vectors are obtained from the regions through both methods. However, by applying feature selection methods to the obtained vectors, both the vector size is reduced and the performance is increased. As a result of the feature selection, the feature subsets selected for both methods are combined into a single feature vector containing spatial and spectral features. Selected features are classified using the Chi-square classifier. The success of the proposed method was measured in the FERET dataset, 89.45% verification success and 94.55% identification success were obtained.

### Alıntı / Cite

Topal, C., Cıvır, C., (2021). Türkçe Makaleler İçin Türkçe Başlık Olmalı ve Kelimelerin İlk Harfi Büyük Olmalıdır, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 301-311.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

C. Topal, 0000-0002-6329-5251  
C. Cıvır, 0000-0003-4607-0170

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	10.10.2020
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	09.02.2021
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	21.02.2021
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

\* İlgili yazar / Corresponding author: cihant@eskisehir.edu.tr, +90-222-321-3550

## 1. Giriş (Introduction)

Sosyal ilişkilerde ilk izlenimin oluşmasında odak bölge olan yüz, kimlik ve duygu durumu hakkında önemli bilgiler taşımaktadır. İnsanlar bu bilgilerden faydalanarak, kişinin yaşı, ifadesi, gözlük kullanması vb. değişen koşullara rağmen yüz tanıma konusunda oldukça başarılıdır. İnsanların tanımakta bu denli başarılı oldukları yüzlerin görsel olarak işlenmesi uzun yıllar boyunca üzerine çalışmaların yapıldığı bir araştırma konusu olmuştur.

Yüz, üzerinde biyometrik bilgiler barındırmakla birlikte kişiden kişiye değişen yapısıyla da öznelik oluşturmaktadır. Yüzün sahip olduğu biyometrik bilgilerden faydalanılarak yüz tanıma, yüz ifadesi tanıma, yapay yüz örneklerinin oluşturulması vb. çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Topal ve Erdem, 2018; Topal ve Gacav, 2017; Topal ve Özbey, 2018; Gacav ve Benligiray, 2016; Yavuz vd., 2016). Yapılan araştırmalar yüzün güvenilirliği yüksek etkin bir biyometrik belirleyici olduğunu göstermektedir. Bankalar, havaalanları, pasaport kontrol noktaları, gümrük kapıları, karakollar, mobese ve güvenlik sistemleri vb. mekanlarda biyometrik güvenlik yöntemlerine başvurulmaktadır. Geçtiğimiz yıllarda bu kurumlarda iris tanıma, parmak izi tanıma gibi teknolojiler birincil biyometrik güvenlik yöntemleri iken, günümüzde yüz tanıma daha sıklıkla başvuru alan biyometrik güvenlik yöntemi haline gelmiştir.

Yüz tanıma probleminin çözümünde temel olarak mevcut yüz imgelerinden öznelik vektörleri elde edilir. Elde edilen öznelik vektörlerinin, karşılaştırılacak olan yüze ait öznelik vektörüne olan uzaklığı hesaplanarak tanıma işlemi gerçekleştirilir. Faydalı öznelik vektörlerinin elde edilmesi yüz tanıma için büyük önem taşımaktadır. Öznelik vektörleri elde edilirken kullanılan yöntemlere HOG (histogram of gradient - yönelimli gradyan histogramları), LBP (local binary pattern - yerel ikili örüntü) gibi yöntemler örnek olarak verilebilir (Dalal ve Triggs, 2005; Ojala vd., 1996).

Önerilen yöntemde spektral ve uzamsal iki farklı öznelik olan LBP ve FHOG (Felzenszwalb histogram of gradient - Felzenszwalb yönelimli gradyan histogram) kullanılarak yüz tanıma problemine çok kipli bir çözüm sunulmuştur. Elde edilen öznelik vektör boyutunun azaltılması ve faydalı özneliklerin problemin çözümünde kullanılması amacıyla öznelik seçimi yapılmıştır. LBP öznelikleri için ardışık ileri öznelik seçimi, FHOG öznelikleri için ise en iyi bağımsız öznelik seçimi ile öznelik seçimi gerçekleştirilmiştir. LBP ve FHOG için seçilen öznelik altkümeleri birleştirilerek tek bir vektör haline getirilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde konu ile ilgili kaynak araştırması yapılmış, üçüncü bölümde spektral ve uzamsal farklı iki öznelik olan FHOG ve LBP algoritmalarıyla çıkarılan öznelik vektörlerinin birleştirilmesi anlatılmıştır. Dördüncü bölümde yapılan deneyler hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde ise sonuçlar yorumlanmış ve çıkarımlar yapılmıştır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Nesne ve örüntü tanıma uygulamalarında yüksek başarımla elde edilen HOG algoritması sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. HOG öznelikleri ilk kez Dalal ve Triggs'in yaya tespiti problemine çözüm olarak önerilmiştir. Bu öznelikler imgelerin bölgelere bölünmesi sonrasında her bölgedeki piksel için gradyan hesabı yapılarak elde edilir. Bir başka öznelik vektörü elde etme yöntemi olan LBP ilk olarak Ojala vd. tarafından 1996 yılında önerilmiştir. Başlangıçta doku tanıma amacıyla geliştirilen LBP daha sonra yüz imgeleri üzerinde de denenmiştir. LBP komşu piksellerin birbirleri ile karşılaştırılması sonucu oluşturulan görünüm tabanlı bir özneliktir.

Holat vd. yaptıkları çalışmada PCA (principal component analysis - temel bileşen analizi), LDA (linear discriminant analysis - doğrusal ayraç analizi) ve LBP kullanarak Yale veri seti üzerinde yüz tanıma uygulaması yapmışlardır (Holat vd., 2014). Görüntünün poz ve ışık farklılıklarına göre sistemin en uygun yöntemi seçmesi için imge üzerinde çeşitli histogram eşitleme yöntemleri ve filtre uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

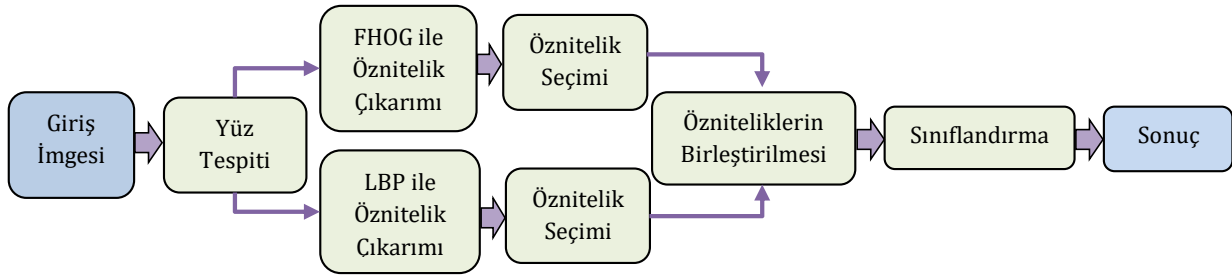
Memiş vd. yaptıkları çalışmada mobil ortamda elde edilen imgelerde görünüm tabanlı yöntemler kullanarak yüz tanıma çalışması gerçekleştirmişlerdir (Memiş vd., 2016). Mobil cihazın kamerasından çekilen görüntülerde Haar kaskat sınıflandırıcısını kullanarak yüz tespiti yaptıktan sonra tespit edilen yüzler üzerinde renk uzayı dönüşümü, boyutsal normalizasyon ve histogram eşleme işlemlerini yürütmüşlerdir. Yüzlere ait öznelikleri ise PCA, LDA ve LBP kullanarak elde etmişlerdir. Bu yöntemin başarımlarını ölçmek için K-en yakın komşu sınıflandırıcısını kullanarak sınıflandırma yapmışlardır.

Gusain vd. çalışmalarında bankaların güvenlik sistemleri için yüz tanıma, iris tarama ve avuç içi tarama yöntemlerini birleştirerek, çok aşamalı bir güvenlik yöntemi sunmuştur (Gusain vd., 2018). Yüz imgesini üst, orta ve alt seviye olarak 3 parçaya böldükten sonra veri tabanındaki imgeler ile karşılaştırarak erişim verilip verilemeyeceğini belirlemişlerdir.

Yüz tanıma işlemi için görünüm tabanlı yaklaşımların yanı sıra geometrik tabanlı yaklaşımlar da kullanılmaktadır. Huang vd. çalışmalarında geometrik tabanlı bir yaklaşım benimseyerek, LVP (local vector pattern – yerel vektör örüntüsü) kullanmışlardır (Huang vd., 2015). LVP bir girdi imgesi ile mevcut imgeler arasındaki uzaklığı hesaplayan bir yöntemdir. LVP ile elde edilen öznelik vektörleri yüz tanıma işleminde kullanılmak üzere ağırlıklandırılmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalarda farklı yöntemler ile öznelik vektörleri elde edilerek çeşitli veri setleri üzerinde başarımların ölçüldüğü çalışmaların mevcut olduğu görülmüştür. Derin öğrenme yöntemleri kullanılarak yüz tanımanın yapıldığı çalışmalara da sıklıkla rastlamak mümkündür (Yan vd., 2019; Taigman vd., 2014; Kowsari vd., 2018). Literatürde incelenen çalışmalar ile karşılaştırıldığında bu çalışma, problemin çözümü için geliştirilen spektral ve uzamsal iki farklı öznelik olan LBP ve FHOG özneliklerinin birleştirilmesi noktasında yenilikçi ve özgün olma özelliği taşımaktadır.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

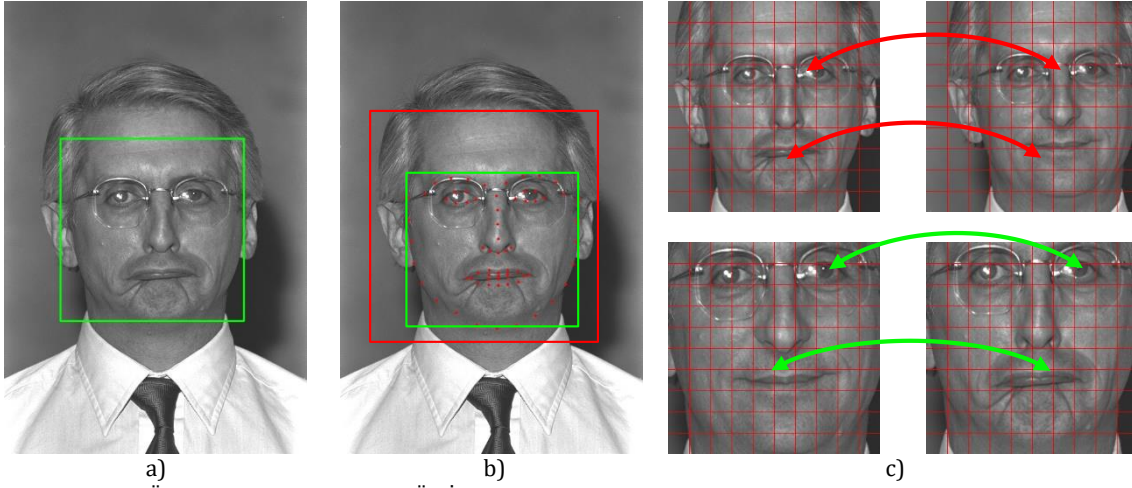


Şekil 1. Önerilen Yöntemin Akış Şeması (Flow Chart of The Proposed Method)

Yapmış olduğumuz bu çalışma için sırasıyla şu adımlar izlenmiştir: Veri setindeki ön yüzleri içeren imgeler üzerinde Haar kaskat sınıflandırıcısı kullanılarak yüz tespiti gerçekleştirilmiştir (Viola ve Jones, 2004). Haar kaskat sınıflandırıcısı çok ölçekli çalıştığı için tespit ettiği yüz bölgelerinin lokalizasyonu farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle tespit edilen yüzler üzerinde Kazami ve Sullivan'ın önerdiği yöntemin kullanılması ile nirengi noktaları tespit edilmiştir (Kazami ve Sullivan, 2014). Nirengi noktaları referans alınarak imgeler yüz sınır noktalarından kırılmıştır. Sonrasında imgeler aynı boyutta olacak şekilde yeniden boyutlandırılmıştır. Bu ön işlemlerden geçen imge eşit bölgelere ayrılmıştır. Ayrılan bölgelerin her imge için yüzün aynı bölgesine denk gelmesi amacıyla ön işlemler esnasında imgeler aynı boyuta getirilmiştir. Ayrılan bölgelerin her birinden uzamsal ve spektral iki farklı öznelik olan LBP ve FHOG öznelikleri elde edilmiştir. Elde edilen öznelik vektörlerinin boyutunun indirgenmesi amacıyla LBP için ardışık ileri öznelik seçimi uygulanırken FHOG için en iyi bağımsız öznelik seçimi ile öznelik seçimi gerçekleştirilmiştir. Öznelik seçimi sonucu elde edilen vektör altkümeleri birleştirilerek uzamsal ve spektral olarak çok kipli bir öznelik vektörü elde edilmiştir. Şekil 1'de önerilen yöntemin akış şeması gösterilmiştir. Şekil 1'de gösterilen temel yapı alt bölümlerde ayrıntılı şekilde açıklanmıştır.

#### 3.1. Yüz Tespiti ve Hizalaması (Face Detection and Alignment)

İmgelerde yüzlerin bulunabilmesi için Haar kaskat sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Haar kaskat, Paul Viola ve Micheal Jones tarafından 2001 yılında önerilen yüz tespit yöntemidir. Her insan yüzünün birbirine benzer özelliklerinden faydalanarak yüksek doğrulukta yüz tespiti yapmaktadır. Bir Haar özelliği, bir algılama penceresinde belirli bir konumdaki bitişik dikdörtgen bölgeleri dikkate alır. Her bölgedeki piksel yoğunluğunu toplar ve bu toplamlar arasındaki farkı hesaplar. Bir Haar özelliğine, yüzün göz bölgesinin burun kemerine göre daha koyu olması, örnek olarak verilebilir. Haar kaskat sınıflandırıcısı yüz tespiti yaparken yüz üzerinde farklı boyutlardaki çerçeveleri gezdirerek yüz aramaktadır. Bu sebeple Haar kaskat sınıflandırıcısı ile tespit edilen yüzlerin lokalizasyonu aynı olmamaktadır. Bu durum yüzlerin bulunduğu alandan çıkarılacak özneliklerde örtüşme sağlamadığı için performans düşüklüğüne sebep olmaktadır. Bu nedenle tespit edilen yüzler üzerinde Kazami ve Sullivan'ın önerdiği yöntem kullanılarak yüz üzerine 68 nokta yerleştirilmektedir. Yüzün sınır noktalarını ifade eden noktalar referans alınarak yüz imgesi kırılmıştır. Şekil 2'de gerçekleştirilen ön işlemler ve imgelerin aynı boyuta getirilmesinin önemini açıklayan görsel gösterilmiştir.

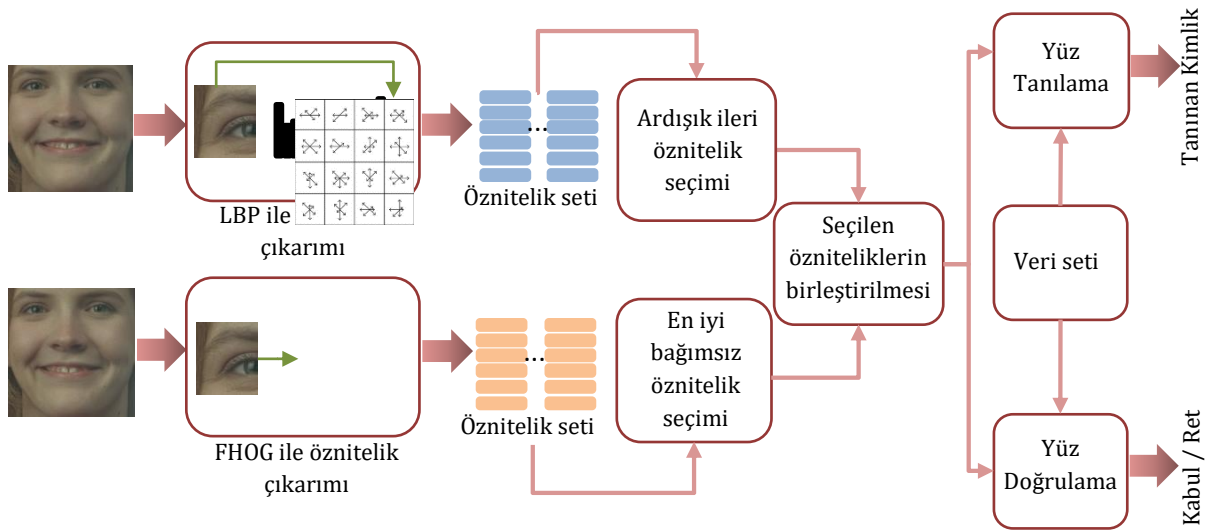


**Şekil 2.** Veri Seti Üzerinde Gerçekleştirilen Ön İşlemler; A) Haar Yüz Tespiti B) Nirengi Noktası Tespiti C) Hizalanarak Kırpılan Yüz İmgesi İle Hizalanmadan Kesilen Yüz İmgeleri (Preprocessing Steps in The Dataset; A) Haar Face Detection B) Landmark Detection C) Face Images Cropped Without Aligning With The Face Image Cropped By Alignment.)

### 3.2. FHOG Özniteliklerinin Elde Edilmesi (Extraction of FHOG Features)

HOG öznitelikleri görünüm tabanlı olup, girdi imgesi bölgelere bölündükten sonra bölgelerde bulunan her bir piksel için gradyan histogramı hesabının yapılmasıyla elde edilmektedir. Gradyan histogramında, girdi imgesindeki hücrelerin gradyan yönelimlerinin istatistikleri tutulur. HOG öznitelikleri  $36 \times 1$  boyutunda olmakla birlikte ışık koşulları ve diğer olumsuz şartlara karşı gürbüz olma özelliği taşımaktadır. HOG öznitelikleri ilk kez yaya tespit problemine uygulanmıştır (Dalal ve Triggs, 2005).

FHOG (Felzenszwalb vd., 2010), HOG'a kıyasla boyut olarak daha küçük öznitelik vektörü üretir. HOG'ta  $36 \times 1$  boyutunda olan vektör, FHOG'da  $31 \times 1$  boyutundadır.  $36 \times 1$  vektör boyutundaki HOG sadece kontrast duyarlı öznitelikleri içerirken,  $31 \times 1$  vektör boyutuna sahip olan FHOG kontrast duyarlı, kontrast duyarlı olmayan ve gradyan enerjisini yakalayan bilgiler içermektedir. Bu sebeple hem hız olarak hem de performans olarak HOG'a göre daha yüksek başarımlar sağladığı için, HOG yerine FHOG tercih edilmiştir. FHOG özniteliklerinden faydalanılarak yapılan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan yüz ile ilgili olan daha önce yapmış olduğumuz çalışmada FHOG öznitelikleri kullanarak yüz ifade tespit yöntemi geliştirilmiştir (Topal vd., 2018). Şekil 3'de öznitelik çıkarımı ve seçimini ifade eden görsele yer verilmiştir.

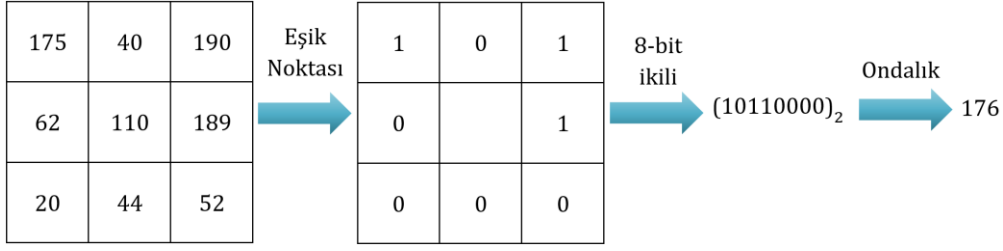


**Şekil 3.** Öznitelik Çıkarımı ve Seçimi (Flow Chart of The Proposed Method)

### 3.3. LBP Özniteliklerinin Elde Edilmesi (Extraction of LBP Features)

LBP ilk olarak 1996 yılında doku tanıma amacıyla geliştirilmiştir. Bu algoritma ilerleyen yıllarda yüz tespiti, yüz tanıma vb. uygulamalar için de kullanılmaya başlanmıştır. LBP bir merkez pikselin belirli bir yarıçaptaki komşu piksel değerleri ile karşılaştırılmasıyla ikili değerler oluşturur. LBP operatörü bir imgedeki her piksel için,

kendisini çevreleyen 3×3'lük komşu piksellerini merkez piksel değerine göre karşılaştırarak etiketler. Eğer merkez pikselin değeri komşu piksel değerinden büyük veya eşit ise 0, küçük ise 1 değerini alır. Bu sayede 3×3'lük bir komşuluk bölgesi için 8 bitlik LBP kodu oluşturulmuş olur. Oluşturulan ikili kodun onluk sistemdeki değeri, merkez pikseli içeren 3×3'lük bölgedeki yerel yapıyı ifade eder. Şekil 4.'de LBP operatörünün uygulanışı gösterilmiştir.



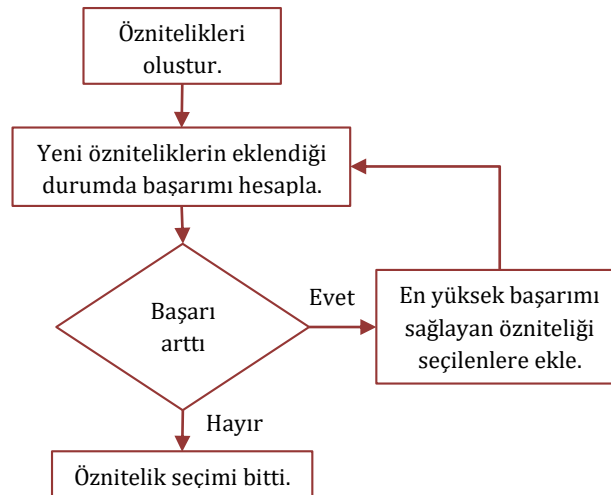
Şekil 4. LBP Operatörünün Uygulanışı (Implementing the LBP Operator) (Calculation of LBP)

R yarıçapına sahip bir komşuluk üzerinde varolan P adet komşu pikselin LBP kodu Eşitlik (1) ile hesaplanmaktadır. Kullanılan matematiksel eşitlikte  $g_c$ ; merkez pikselin gri-seviye değerini,  $g_p$  ise komşu piksellerin gri-seviye değerlerini ifade etmektedir. Deneysel çalışmalarda (P, R) değeri (8, 1) olarak kullanılmıştır.

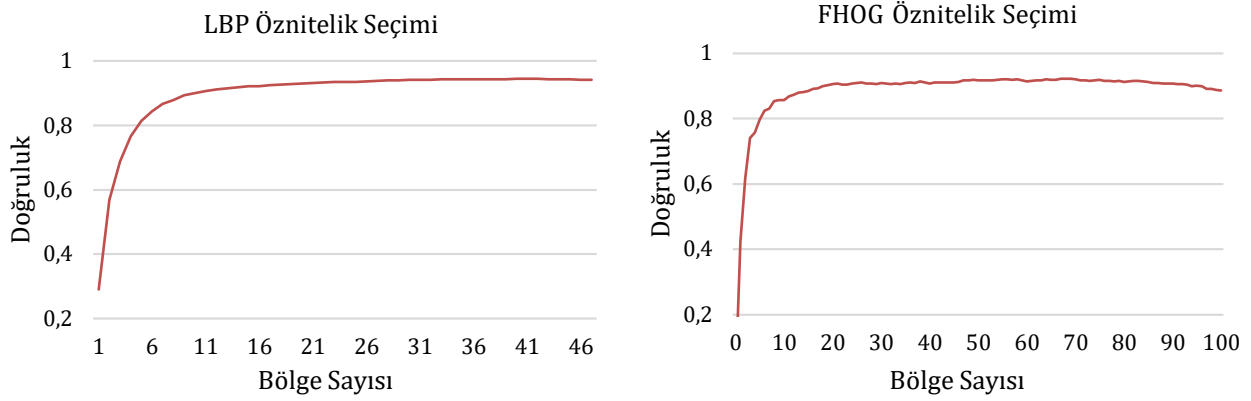
$$LBP_{P,R} = \sum_{p=0}^{p-1} s(g_p - g_c)2^p, \quad s(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

### 3.4. Öznitelik Seçimi (Feature Selection)

Öznitelik seçimi, veri boyutunu azaltmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte veri azaltma hız, doğruluk ve basitlik açısından sınıflandırma performansını ve örüntü tanıma sistemlerini geliştirir. Yerel aramadaki öznitelik sayısını azaltmak için kullanılan bir strateji sıralı arama algoritmalarıdır. Ardışık ileri öznitelik seçimi boş bir kümeden başlayarak öznitelik vektörlerinin teker teker eklenerek, minimum hata oranı veren öznitelik, öznitelik kümesine eklenmesiyle devam eder. Belli bir iterasyondan sonra öznitelik kümesinde bulunan özniteliklerden hiç biri hata oranını etkilemiyor ise öznitelik seçimi sonlandırılır. Ardışık ileri öznitelik seçimi basitlik ve hız olarak sağladığı avantajdan dolayı yaygın olarak kullanılır. Ardışık ileri öznitelik seçimi için daha ayrıntılı bilginin bulunduğu çalışmalar literatürde mevcuttur (Last vd., 2001; Nakariyakul vd., 2009; Schenk vd., 2009). Şekil 5'de ardışık ileri öznitelik seçiminin şeması gösterilmiştir.



Şekil 5. Ardışık İleri Öznitelik Seçimi Şeması (Sequential Forward Selection Flow Diagram)



**Şekil 6.** FHOG ve LBP için Öznitelik Seçim Algoritması İle Seçilen Özniteliklerden Elde Edilen Doğruluk Değerleri (Accuracy Values Obtained From The Features Selected With The Feature Selection Algorithm for FHOG and LBP)

Gerçekleştirilen çalışmada bölgelere ayrılan yüz imgesi üzerinde LBP ve FHOG algoritmaları kullanılarak öznitelik vektörleri elde edilmiştir. Elde edilen LBP öznitelik vektörü her bir bölge için 256 boyutlu iken FHOG öznitelik vektörü 31 boyutludur. LBP öznitelik vektörünün yüz tanıma için faydalı olan öznitelik alt kümesinin bulunması için ardışık ileri öznitelik seçimi uygulanmıştır. FHOG öznitelik vektörünün, yüz tanıma için faydalı olan alt kümesi ise her bölgenin başarımı ölçüldükten sonra büyükten küçüğe sıralanmış özniteliklerin art arda eklenmesi ile bulunmuştur. Belli bir iterasyondan sonra LBP ve FHOG için doğruluk oranının artmadığı Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu nedenle doğruluk oranının kayda değer bir değişim göstermediği anda öznitelik seçimi durdurulmuştur.

### 3.5. Özniteliklerin Birleştirilmesi (Feature Fusion)

Özniteliklerin birleştirilmesi örüntü tanıma problemlerinin çözümünde kullanılan popüler bir yöntemdir. Farklı özniteliklerin birleştirilmesi ile her birinin avantajlarından faydalanılarak probleme daha gülbüz ve doğru çözümler üretilmesine olanak sağlar. Aynı örüntü üzerinden elde edilen farklı öznitelik vektörleri daima örüntünün çeşitli karakteristik özelliklerini yansıtır. Bu sebeple veri setindeki imgelerden elde edilen FHOG ve LBP öznitelikleri öznitelik seçim aşamasından sonra uç uca eklenerek tek bir vektör haline getirilmektedir. Bu sayede uzamsal ve spektral özniteliklerin birleştirilmesi ile çok kipli öznitelik vektörü elde edilmiştir.

### 3.6. Kullanılan Sınıflandırma Yöntemleri (Employed Classification Methods)

#### 3.6.1. Ki-Kare Testi (Chi-Square Test)

Veri setindeki imgelerden elde edilen FHOG ve LBP histogramları karşılaştırma işleminde kullanılmıştır. Histogramların karşılaştırılması için Ki-kare metriği kullanılmıştır. Eşitlik (2)'de gösterilen formül kullanılarak Ki-kare metriği ile uzaklık hesaplanır.

$$d_{\chi^2}(S, T) = \sum_{i=1}^N \frac{(s_i - t_i)^2}{s_i + t_i} \quad (2)$$

Formülde karşılaştırılacak olan iki histogramı  $S$  ve  $T$  ifade etmektedir.  $N$ , histogramlardaki toplam eleman sayısını,  $s_i$  ve  $t_i$  ise  $S$  ve  $T$ 'nin  $i$ . Histogram elemanını göstermektedir.

#### 3.6.2 Öklid Uzaklık Metriği (Euclidean Distance Metric)

Veri setindeki imgelerden elde edilen FHOG ve LBP histogramlarının karşılaştırılması için Öklid uzaklık metriği kullanılmıştır. Ki-Kare Testi ve Öklid uzaklık metriği kullanılarak yapılan karşılaştırma işlemlerinde farklı metriklerin başarıma etkileri de irdelenmiştir. Eşitlik (3)'de gösterilen formül kullanılarak Öklid uzaklığı hesaplanmaktadır.

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (3)$$



Şekil 7. FERET Veri Kümesinden Örnek İmgeler (Sample Images From FERET Dataset)

#### 4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Bu bölümde, önerilen yöntemin etkinliğini göstermek ve önceki bölümlerde ifade edilen anlatımları doğrulamak amacıyla, yüz tanıma için halka açık bir veri seti üzerinde yapılan deneyler sunulmuştur. Çalışmada deneyler The Facial Recognition Technology (FERET) veri setinde gerçekleştirilmiştir (Phillips vd., 1997). 512×768 çözünürlüğünde imgelerden oluşan veri setinin içinde yaş, etnik ve cinsiyet özellikleri bakımından farklı gruplar yer almaktadır. Bununla birlikte kişilerin nötral ve ifadeli yüzleri de veri kümesi içinde yer almaktadır. FERET veri kümesine ait örnek görüntüler ise Şekil 7'de verilmiştir.

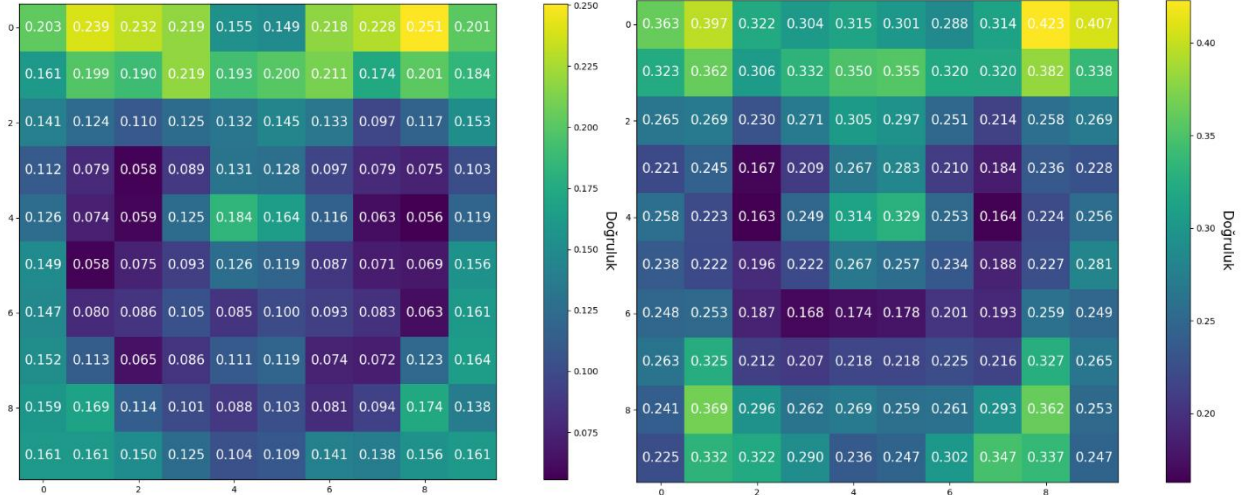
Önerilen yöntem ile farklı karakteristik özelliklere sahip olan iki öznitelik vektörü birleştirilmiştir. Bu sayede yüz tanıma probleminin çözümünde doğruluk oranı yüksek sonuçlar elde edilmiştir. FERET veri kümesi 1233 ifadeli ve 1229 ifadesiz yüz içeren imgelerden oluşmaktadır. Veri kümesindeki ifadesiz yüzler eğitim işlemi için kullanılırken, ifadeli yüzler ile test işlemi gerçekleştirilmiştir. Veri setinde bulunan ön yüz imgeleri 320×320 boyutunda yeniden boyutlandırılmıştır. Bu işlemin asıl sebebi yüz imgesi bölgelere ayrıldığında her bölgenin bir diğer imgede yüzün aynı bölgesine işaret etmesidir. Yeniden boyutlandırılan imge 32×32 boyutunda 100 bölgeye ayrılmıştır. Ayrılan 100 bölgeden her birinden 256×1 boyutlu LBP ve 31×1 boyutlu FHOG öznitelik vektörü elde edilmiştir. Öznitelik çıkarımında imgelerin 10×10'luk bloklara bölünmesinin sebebi bir yüze ait farklı detayların yeterince yüksek çözünürlükte elde edilmesinin sağlanmasıdır. Daha büyük bloklar seçildiğinde yüzün farklı bölgeleri (örn. göz, kaş, alın, vb.) aynı blok içine dahil edilmiş olacağından, yüzün hangi kısmının yüz tanımaya daha iyi etki sağladığının anlaşılması mümkün olmayacaktır. Daha yoğun bloklar kullanılmasıyla yüz bölgeleri birden fazla blokla temsil edilecek ve tanımaya katkı sağlaması durumunda öznitelik seçimi yöntemi bu blokların birkaçını ya da tamamını seçerek eniyileme yapacaktır.

Ayrılan bölgelerin başarımının ölçülmesi ile hangi yüz bölgelerinin yüz tanıma probleminin çözümünde faydalı olduğu gözlemlenmiştir. FERET veri seti örnek sayısı eşit iki alt gruba ayrılmıştır. İlk alt grup eğitim seti olarak adlandırılmış olup, veri setindeki nötral yüzlerden oluşmaktadır. İkinci alt grup ise test seti olarak adlandırılmış olup, veri setindeki ifadeli yüzlerden oluşmaktadır. Eğitim setindeki her imge 32×32 boyutunda olan 100 bölgeye sahiptir. Eğitim setindeki bir imgeye ait 100 bölgeden ilki, test setindeki tüm imgelerin ilk bölgesi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi bölgelerden elde edilen LBP ve FHOG öznitelikleri ayrı ayrı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma sonucunda eşleşme doğru ise gerçek pozitif (true positive) değeri artırılmış, eğer yanlış ise yanlış pozitif (false positive) değeri artırılmıştır. Bu işlem her bölge için tek tek gerçekleştirilmiştir. Başarımın ölçülmesinde kullanılan formül Eşitlik (4)'de gösterilmektedir. LBP ve FHOG öznitelikleri için her bölgenin başarı grafiği ise Şekil 8'de gösterilmiştir. Eşitlik (4)'de GP; gerçek pozitif değerini, YP ise yanlış pozitif değerini ifade etmektedir.

$$\text{Doğruluk (\%)} = \frac{GP}{GP + YP} * 100 \quad (4)$$

Bölgelerin başarımı ölçüldükten sonra bölgeler başarımlarına göre büyükten küçüğe sıralanmıştır. FHOG öznitelikleri kullanılarak elde edilen başarımlar için, en yüksek başarımdan en düşük başarıma doğru her iterasyonda bir bölge eklenerek tekrar başarımlar ölçülmüştür. Belli bir iterasyondan sonra yeni bölge eklendiğinde başarımın artmadığı gözlemlenmiştir. Bu noktada öznitelik seçimi sonlandırılmıştır. FHOG için 21 bölge seçilmiştir. Her bölgeden elde edilen 31×1 boyutundaki FHOG vektörü, 21 bölge için 651 boyutlu bir öznitelik vektörü haline almıştır. LBP özniteliklerinin seçimi için ardışık ileri öznitelik seçimi kullanılmıştır. Belli bir iterasyondan sonra başarımın artmadığı gözlemlenmiştir. Bu noktada öznitelik seçimi sonlandırılmıştır. LBP için 28 bölge seçilmiştir. Sonuç öznitelik vektörünün uzamsal ve spektral özniteliklerden dengeli miktarlarda oluşması hedeflenmiştir. LBP öznitelikleri boyut olarak büyük olduklarından en faydalı grubu bulmak daha büyük öneme sahiptir. Bu nedenle farklı birçok kombinasyonun denendiği ardışık ileri öznitelik seçim (AİÖS) yöntemi uygulanmıştır. FHOG öznitelik vektörlerinin boyutları ise daha küçük olduğundan daha çok sayıda öznitelik seçimini mümkün kılan en iyi bağımsız öznitelik seçimi (EİBÖS) yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak 7819 boyutlu

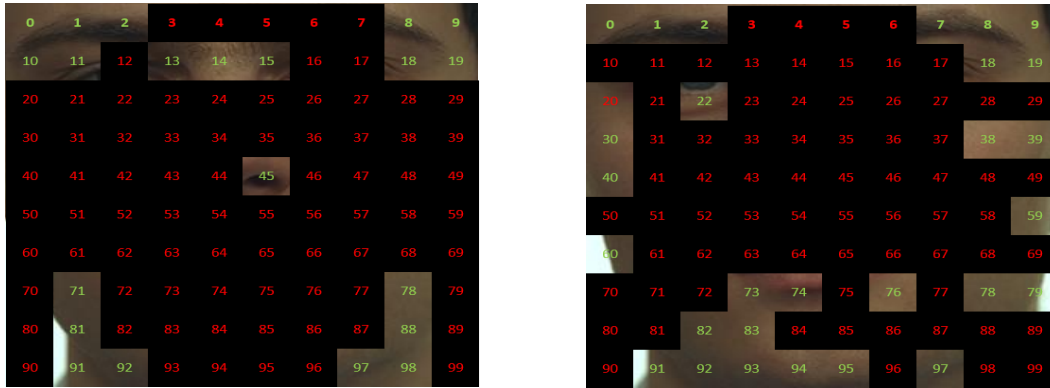
nihai öznitelik vektörünün 7168 boyutu LBP ve 651 boyutu FHOG vektörlerinden oluşmuştur. Veri kümesindeki bir imge üzerinde seçilen bölge aydınlatılmış görüntüsü Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 8. Bölümlerin Elde Edilen Başarımları; Soldaki FHOG, Sağdaki LBP (Accuracy Of Each Area. Left; FHOG. Right; LBP)

Öznitelik seçimi tamamlandıktan sonra FHOG öznitelik vektörünün sonuna LBP öznitelik vektörü eklenerek tek bir öznitelik vektörü elde edilmiştir. FERET veri setindeki ilk imge veri setindeki diğer tüm imgeler ile Ki-kare sınıflandırma yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda elde edilen uzaklık değeri belli bir eşik noktasının altında ise eşleşme sağlanır. Eğer eşleşme doğru ise gerçek pozitif (GP), eşleşme yanlış ise yanlış pozitif (YP) değeri artırılmaktadır. Eşleşmenin olmaması gereken kişi ile eşleşme gerçekleşmemiş ise gerçek negatif (GN) değeri artırılırken, eşleşmenin olması gerekirken eşleşme başarılı olamamış ise yanlış negatif (YN) değeri artırılmıştır. Bu değerlere bağlı kalınarak Eşitlik (5)'deki formül ile başarımlar hesaplanmıştır. Tablo 1'de yöntemlerin başarımları gösterilmiştir.

$$\text{Doğruluk}(\%) = \frac{GP + GN}{GP + GN + YP + YN} \quad (5)$$



Şekil 9. Seçilen Bölümlerin Gösterilmesi; Soldaki FHOG, Sağdaki LBP (Showing Selected Area . Left; FHOG. Right; LBP)

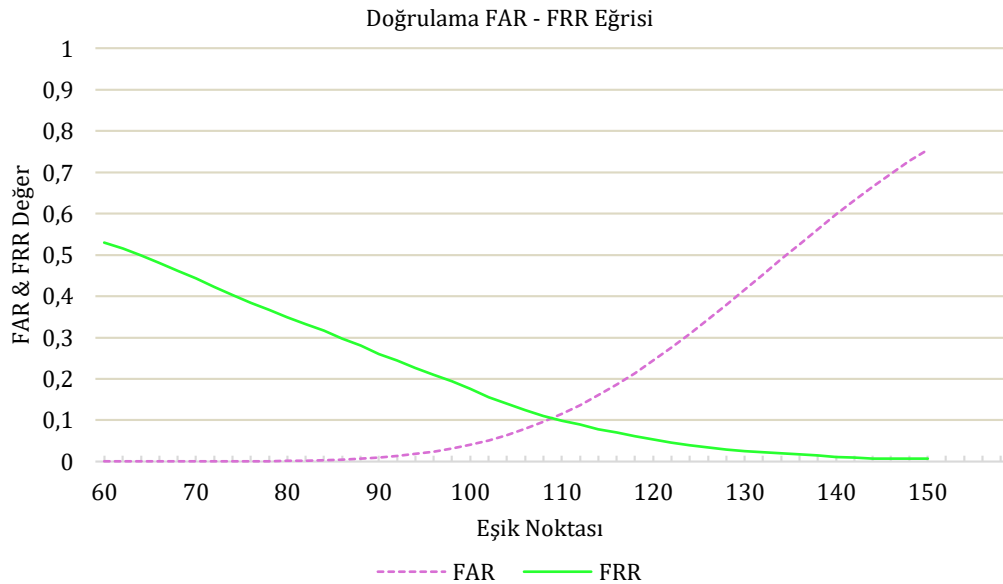


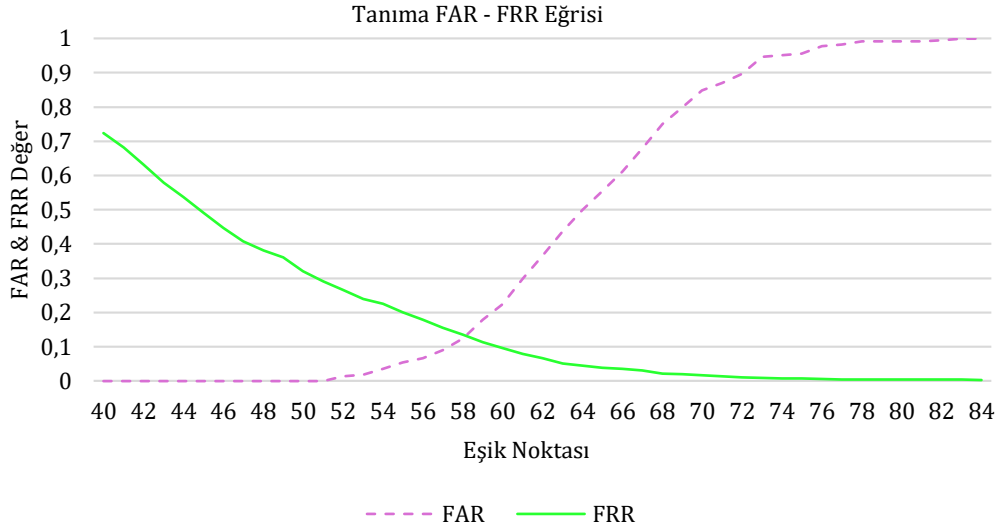
**Tablo 1.** Yöntem Başarımları (Methods Accuracy)

Yöntem	İmge Boyutu	Öznitelik Seçimi	Metrik	Vektör Boyutları	Doğruluk (%)
FHOG	280 × 280	Yok	Ki-Kare	3100	90.45
FHOG	280 × 280	Var	Ki-Kare	651	90.45
LBP	280 × 280	Yok	Ki-Kare	25600	89.18
LBP	280 × 280	Var	Ki-Kare	7168	93.51
LBP+FHOG	280 × 280	Yok	Ki-Kare	28700	90.38
LBP+FHOG	280 × 280	Var	Ki-Kare	7819	94.25
FHOG	280 × 280	Yok	Öklid	3100	89.70
FHOG	280 × 280	Var	Öklid	651	90.00
LBP	280 × 280	Yok	Öklid	25600	87.39
LBP	280 × 280	Var	Öklid	7168	90.60
LBP+FHOG	280 × 280	Yok	Öklid	28700	88.81
LBP+FHOG	280 × 280	Var	Öklid	7819	94.18
FHOG	320 × 320	Yok	Ki-Kare	3100	90.52
FHOG	320 × 320	Var	Ki-Kare	651	90.75
LBP	320 × 320	Yok	Ki-Kare	25600	89.38
LBP	320 × 320	Var	Ki-Kare	7168	94.10
LBP+FHOG	320 × 320	Yok	Ki-Kare	28700	90.60
<b>LBP+FHOG</b>	<b>320 × 320</b>	<b>Var</b>	<b>Ki-Kare</b>	<b>7819</b>	<b>94.55</b>
FHOG	320 × 320	Yok	Öklid	3100	89.56
FHOG	320 × 320	Var	Öklid	651	90.30
LBP	320 × 320	Yok	Öklid	25600	87.69
LBP	320 × 320	Var	Öklid	7168	91.64
LBP+FHOG	320 × 320	Yok	Öklid	28700	88.81
LBP+FHOG	320 × 320	Var	Öklid	7819	94.25

\*LBP için Ardışık İleri Öznitelik Seçimi, FHOG için En İyi Bağımsız Öznitelik Seçim yöntemi uygulanmıştır.

İki yüz imgesinin yakınlığının incelenmesi sonucu elde edilen uzaklık değerinin eşik noktası ile büyüklük ilişkisine göre eşleşme gerçekleşir. Değişen eşik noktalarında yöntemin başarımları da değişmektedir. Yüz tanıma sistemlerinde sistemin uygulama alanına göre eşleşmede yanlış kabul ve yanlış red ihtimali en aza indirmek istenebilmektedir. Doğrulama için yanlış kabul oranını (False Acceptance Rate - FAR) ifade eden ve yanlış ret oranını (False Rejection Rate - FRR) ifade eden eğri Şekil 9'da verilmiştir. FAR ve FRR değerlerinin eşit olduğu nokta ise eşit hata oranı (Equal Error Rate, EER) olarak adlandırılmaktadır. EER noktası da Şekil 10'da gösterilmiştir. Tanıma için farklı eşik noktalarında elde edilen FAR ve FRR değerlerini ifade eden eğriler Şekil 11'de gösterilmiştir. Uygulama alanına göre istenilen FAR ve FRR değerleri için eşik noktası seçimi bu eğriler referans alınarak seçilebilmektedir.

**Şekil 10.** Doğrulama İçin FAR & FRR Eğrisi (FAR & FRR Curve For Verification)



**Şekil 11.** Tanıma için FAR & FRR Eğrisi (FAR & FRR Curve for Identification)

Öznitelik seçimi uygulanarak, önerilen yöntem ile elde edilen öznitelik vektörünün boyutu azalmıştır. Vektör boyutunun bu yöndeki değişimi işlem süresinin azalmasına katkı sağlamıştır. Önerilen yöntemin işlem süresine olan etkisinin irdelenmesi için yöntemlerin öznitelik çıkarım süreleri ölçülmüştür. Bununla birlikte FHOG, LBP ve önerilen yöntemin sınıflandırma süreleri irdelenerek karşılaştırılmıştır. Deneyler 3.60 GHz Intel Core i7-7700 CPU donanımında gerçekleştirilmiştir. İşlem sürelerinin karşılaştırılması Tablo 2’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** İşlem Sürelerinin Karşılaştırılması (Comparison of Processing Times)

	FHOG (ms)		LBP (ms)		FHOG + LBP (ms)	
Öznitelik Çıkarımı	1.761		6.193		2.721	
Metrik (Ki-Kare Testi / Öklid Uzaklık)	0.011	0.005	0.112	0.083	0.036	0.016
Toplam Süre	1.772	1.766	6.305	6.276	2.757	2,737

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada literatürde birçok örüntü tanıma uygulamasında kullanılan LBP ve FHOG yöntemlerinin yüz tanıma problemindeki başarımının irdelenmesi amaçlanmıştır. Yöntemin sınıflandırma başarısını test etmek amacıyla FERET veri seti kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda yöntemin diğer yöntemlere göre başarımı irdelenmiştir. Bununla birlikte imgenin farklı karakteristik özelliklerini ortaya çıkaran öznitelik vektörlerinin birleştirilmesinin başarıma etkisi gözlemlenmiştir. Yöntemlerin birleştirilmesi ile LBP yöntemine göre %5.17, FHOG özniteliliğine göre %4.03 artış sağlanarak %94.55 tanıma başarımı elde edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda sistemin farklı eşik noktalarında gösterdiği başarımlar ayrıntılı bir şekilde irdelenmiştir. Bu sayede farklı uygulama alanlarında, FAR ve FRR değerlerindeki değişim incelenerek uygun eşik noktasında daha gürbüz uygulamalar gerçekleştirilebilir. Doğrulama deneylerinde FAR ve FRR’nin eşit olduğu EER noktasında %89.45 başarımlar elde edilmiştir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

## Kaynaklar (References)

- Dalal, Navneet, and Bill Triggs. "Histograms of oriented gradients for human detection." 2005 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition (CVPR'05). Vol. 1. Ieee, 2005.
- Felzenszwalb, Pedro F., et al. "Object detection with discriminatively trained part-based models." IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence 32.9 (2009): 1627-1645.

- Gacav, C., Topal, C., Benligiray B. (2017). Greedy search for descriptive spatial face features. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP).
- Gacav, Caner, Burak Benligiray, and Cihan Topal. "Greedy search for descriptive spatial face features." 2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE, 2017.
- Gacav, Caner, Burak Benligiray, and Cihan Topal. "Sequential forward feature selection for facial expression recognition." 2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU). IEEE, 2016.
- Gacav, Caner, et al. "Facial expression recognition with FHOg features." 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). IEEE, 2018.
- Gusain, Raj, Hemant Jain, and Shivendra Pratap. "Enhancing bank security system using Face Recognition, Iris Scanner and Palm Vein Technology." 2018 3rd International Conference On Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU). IEEE, 2018.
- Holat, Recep, and Selman Kulaç. "YÜZ BULMA VE TANIMA SİSTEMLERİ KULLANARAK KİMLİK TANIMA ID IDENTIFICATION BY USING FACE DETECTION AND RECOGNITION SYSTEMS."
- Huang, Y., Chen S. (2015). A Geometrical-Modal-Based Face Recognition. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP).
- Kazemi, Vahid, and Josephine Sullivan. "One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees." Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2014.
- Kowsari, Kamran, et al. "Rmdl: Random multimodel deep learning for classification." Proceedings of the 2nd International Conference on Information System and Data Mining. 2018.
- Last, Mark, Abraham Kandel, and Oded Maimon. "Information-theoretic algorithm for feature selection." Pattern Recognition Letters 22.6-7 (2001): 799-811.
- Memiş, Abbas, and Fethullah Karabiber. "Face recognition on mobile environment images using appearance based methods." 2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU). IEEE, 2016.
- Nakariyakul, Songyot, and David P. Casasent. "An improvement on floating search algorithms for feature subset selection." Pattern Recognition 42.9 (2009): 1932-1940.
- Ojala, Timo, Matti Pietikäinen, and David Harwood. "A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions." Pattern recognition 29.1 (1996): 51-59.
- Özbey, Nuri, and Cihan Topal. "Expression recognition with appearance-based features of facial landmarks." 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). IEEE, 2018.
- Phillips, P. Jonathon, et al. "The FERET evaluation methodology for face-recognition algorithms." IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence 22.10 (2000): 1090-1104.
- Schenk, Joachim, Moritz Kaiser, and Gerhard Rigoll. "Selecting features in on-line handwritten whiteboard note recognition: SFS or SFFS?." 2009 10th international conference on document analysis and recognition. IEEE, 2009.
- Taigman, Yaniv, et al. "Deepface: Closing the gap to human-level performance in face verification." Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2014.
- Viola, Paul, and Michael J. Jones. "Robust real-time face detection." International journal of computer vision 57.2 (2004): 137-154.
- Yan, Mengjia, et al. "Vargfacenet: An efficient variable group convolutional neural network for lightweight face recognition." Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops. 2019.
- Yavuz, Hasan Serhan, Hakan Cevikalp, and Rifat Edizkan. "A comprehensive comparison of features and embedding methods for face recognition." Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences 24.1 (2016): 313-340.



## ANKARA - İZMİR YÜKSEK HIZLI TREN PROJESİNİN AFYON - UŞAK (EŞME) KESİMİNDEKİ KAYA BİRİMLERİNİN JEOTEKNİK DEĞERLENDİRMESİ

Mehmet ÖZÇELİK\*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Yüksek Hızlı Tren, Jeoteknik Değerlendirme, Kaya Kütle Özellikleri, Kaya Kütle Sınıflaması.</i>	<p>Bu çalışmada, Ankara - İzmir Yüksek Hızlı Tren (YHT) projesinin Afyon - Uşak (Eşme) (Km 364+600 - 409+500) (52 menfez, 10 üst geçit, 4 alt geçit, toplam 1878.59 m uzunluğunda aç kapa tünel, toplam 22331.35 m uzunluğunda 24 tünel için) kesimindeki kaya birimlerinin jeoteknik özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Yapılmakta olan YHT için proje güzergahındaki kaya birimlerinin kütle özelliklerinin araştırılması ve mühendislik uygulamaları açısından bir görüş oluşturulması hedeflenmiştir. YHT güzergahı ve yakın civarında yüzeyleyen mevcut kaya birimleri olarak Menderes Metamorfikleri ve kısa bir mesafede ise graben dolgusu olarak tanımlanabilecek tortul örtü üzerinde ilerleyecektir. Kaya birimlerin destekleme ve tasarımı için kullanılan Kaya Kütleli Puanlama Sistemi (RMR) ve Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflaması (Q) dır. YHT güzergahındaki kayaların jeoteknik özellikleri ve kaya süreksizliklerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. RMR değerine göre Kaya Kütleli Sınıfı; ortognays için "orta kaliteli kaya", Neojen tortullar "iyi kaya", şist "çok kötü kaya", granit ise "çok iyi kaya" belirlenmiştir. Q sınıflama sistemine göre güzergahdaki kaya birimlerinin Kaya Destek Sınıfı; ortognays "zayıf kaya", Neojen birimler "iyi kaya", şist "çok fazla zayıf kaya" ve granit birimi ise "pek çok iyi kaya" olarak tanımlanmışlardır.</p>

## GEOTECHNICAL EVALUATION OF ROCK UNITS IN AFYON - UŞAK (EŞME) SECTION OF ANKARA - IZMIR HIGH SPEED TRAIN PROJECT

Keywords	Abstract
<i>High Speed Railway, Geotechnical Evaluation, Rock Mass Properties, Rock Mass Classification.</i>	<p>The goal of this study is to investigate the geotechnical properties of rock units in the Ankara-Izmir High Speed Railway (HSR) section of Afyon-Uşak (Eşme) (Km 364 + 600-409 + 500) (52 culverts, 10 overpasses, 4 underpasses, cut and cover tunnels with a total length of 1878.59 m, 24 tunnels with a total length of 22331.35 m). It is intended to analyze the mass properties of the rock units on the project route and to provide an opinion on the engineering applications for the HSR under construction. The HSR route will continue on the Menderes Metamorphics as the current rock units outcropping in its vicinity and on the sedimentary cover which can be represented as a graben filling at a short distance. It is the Rock Mass Scoring System (RMR) and Engineering Classification of Rock Masses (Q) used for supporting and designing rock units. Geotechnical properties and rock discontinuities on the HSR route have been evaluated. Rock Mass Class according to RMR value; "medium quality rock" for orthogneisses, "good rock" for Neogene sediments, "very poor rock" for schist, and "very good rock" for granite. Rock Support Class of rock units on the route according to the Q classification system; orthogneiss has been defined as "weak rock", Neogene units as "good rock", schist as "very weak rock" and granite unit as "very good rocks".</p>

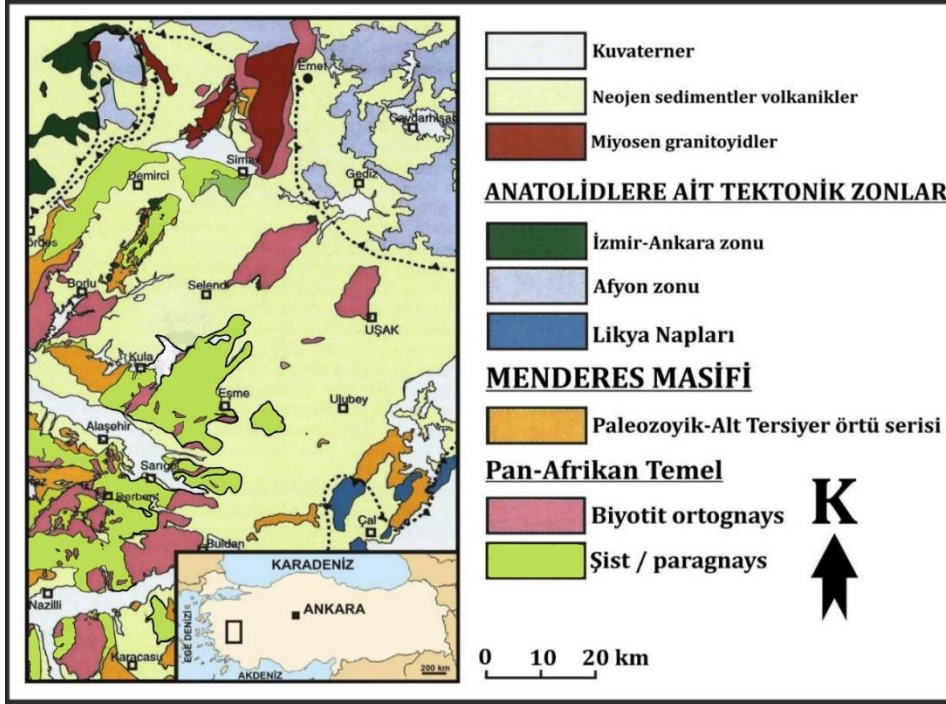
### Alıntı / Cite

Özçelik, M., (2021). Ankara - İzmir Yüksek Hızlı Tren Projesinin Afyon - Uşak (Eşme) Kesimindeki Kaya Birimlerinin Jeoteknik Değerlendirmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 312-318.

\* İlgili yazar / Corresponding author: ozcelikmehmet@sdu.edu.tr, +90-246-211-1327



şist ve gnays parçaları içeren konglomeralardan oluşur (Seyitoğlu vd., 2002). Üste doğru sarımsı kahverengi kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasıyla devam eder. Birimin üst düzeylerinde, içerisinde kireçtaşı ve konglomera mercceklerinin de yer aldığı laminalı çamurtaşları içermektedir (Seyitoğlu vd., 2002). İstif üstte doğru kırmızı rengin hakim olduğu köşeli konglomeralar, üst düzeylerinde ise açık kırmızımsı gri konglomera ve kumtaşı ardalanması ile devam eder (Seyitoğlu ve Scott, 1996; Seyitoğlu vd., 2002). İstif; üst seviyelerde açık sarı, yarı pekleşmiş konglomera ve kumtaşları ile son bulur (Seyitoğlu vd., 2002). Bölgenin jeoloji haritası Şekil 2 de verilmiştir.



Şekil 2. Bölgenin jeoloji haritası (Geological map of the region) (Işık, 2016)

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

#### 3.1. YHT Güzergahında Yapılan Arazi İncelemeleri ( Site Investigations on the HSR Route)

Arazi incelemeleri kapsamında, jeoteknik açıdan önemli alanlarda 1: 25000 ölçekli jeoloji haritasından yararlanılmıştır. Buradaki amaç, ana kaya durumu ile fay zonlarının karakterizasyonu ve konumu hakkında bilgi toplamaktır. Bu çalışma ile jeoteknik riskler belirlenmiş ve jeoteknik açıdan güzergahtaki olası problemlerin detaylı araştırılması amaçlanmıştır. Saha çalışmalarında incelenen jeolojik yapıyı tamamlamak ve doğrulamak için toplam uzunluğu 3862.7 m olan, 67 adet jeoteknik amaçlı sondaj yapımı firma tarafından açılmıştır (SWS Engineering, 2015). Sondaj kuyularının çoğu, hidrolik kırılma testleri, jeofizik metod araştırmaları ve hidrolik testler gibi yerinde testler için kullanılmıştır. Yansıma ve kırılma sismik ve jeoelektrik araştırmalarından oluşan jeofizik yöntemlerle ek bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca, laboratuvarında yapılacak olan jeoteknik amaçlı deneyler için sondaj karotlarından örnekler seçilmiştir.

#### 3.2. Morfolojik Ve Yapısal Görünümler İle Fay Bölgelerinin Belirlenmesi (Determination of Morphological and Structural Views and Fault Zones)

Çalışma alanı (Km 364+600 - 409+500 Kesim-2) Gediz Grabeni kenarında yer almaktadır. Menderes Masifine günümüzdeki şeklini kazandıran Gediz, Büyük Menderes ve Küçük Menderes grabenleri, yeni tektonik dönemde, ayrılma (detachment) faylarına bağlı olarak oluşmuştur. Günümüzde de diri olan Gediz Grabeni, BKB - DGD uzanımlı bir yarım grabendir. Grabenin en genç tortulları Salihli - Alasehir Ovası'nı oluşturur. Gediz Grabeni'nin açınımı, yöredeki en genç ayrılma (detachment) fayı olan Karadut Fayı'nın oluşumu ile başlamıştır. Erken Miyosen yaşlı granodiyoritleri kesen ve düşük eğimli (12 - 20°) bir normal fay olan Karadut Fayı, grabenin kenar fayı niteliğindedir. Bu faylanma bölgesel ölçekte bir kataklastik - milonitik zon oluşturmuştur. Bu zon boyunca gelişen deformasyon ve tavan bloğunun KKD yönünde hareketi aynı kinematik olayların ürünüdür. Graben oluşum mekanizması içerisinde bölgede oldukça fazla faylanma söz konusudur (Emre, 1996).

### 3.3. Proje Alanının Depremselliği (Seismicity of the Project Area)

Proje alanı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre "I. Derece Deprem Bölgesi" içerisinde yer almaktadır. Tarihsel dönem içerisinde proje güzergahı ve yakın çevresinde genel olarak magnitud büyüklüğü 6.0-6.5 e kadar olan çok sayıda depremler meydana gelmiştir. Bölgenin tektonik yapısına bağlı olarak günümüzde de deprem aktivitesi oldukça fazladır.

### 3.4. Ana Kayanın Ayrıntılı Jeoteknik Karakterizasyonu (Detailed Geotechnical Characterization of Bedrock)

Kaya birimlerinin jeoteknik değerlendirmesi için yapılan kaya sınıflamalarında kayanın kütle özelliği dikkate alınmaktadır. Bu bağlamda geliştirilen ve birçok değişik ülkedeki yeraltı kazılarında yaygın olarak kullanılan iki önemli kaya sınıflaması vardır. Kaya birimlerin destekleme ve tasarımı için kullanılan Kaya Kütleli Puanlama Sistemi (RMR) ve Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflaması (Q) dır.

Bu amaçla, arazide yapılan çalışmalarla kaya süreksizliklerinin özellikleri Kaya Kütleli Puanlama Sistemi (RMR) kullanılmak amacıyla değerlendirilmiştir. Ortognays, Neojen birimler, şist ve granitlere ait süreksizlikler ilgili ölçüm ve gözlemler ISRM (1981) tarafından önerilen standarda göre yapılmıştır. Yapılan ölçümler, süreksizlik ara uzaklığı, süreksizlik açıklığı, devamlılık ve süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülükleridir. Elde edilen ölçüm ve gözlem sonuçlarına göre; süreksizlik ara uzaklıkları ortognays ve şist "orta aralıklı", Neojen birimler ve granitlere "geniş aralıklı" olarak belirlenmiştir. Süreksizliklerin devamlılıkları Neojen birimler, şist ve granitler için "orta", ortognays için ise "yüksek" (> 10 m) olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 1). Süreksizlik açıklıkları ISRM (1981) ve Anon (1979) a göre ortognays, şist ve granitler "çok dar-dar", Neojen birimler "dar" olarak sınıflandırılmıştır. Süreksizlik yüzey pürüzlülüğü, ortognays "az-orta pürüzlü" Neojen birimler, şist ve granitler "az pürüzlü" olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 1). Süreksizliklerin yüzey pürüzlülüğü sınıflamaları ISRM (1981) e göre yapılmıştır.

## 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

### 4.1. Güzergah Boyunca Yapılan Jeoteknik Değerlendirmeler (Geotechnical Evaluations Along the Route)

Çalışma alanı olarak seçilen YHT güzergahındaki kaya birimlerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için; arazide süreksizliklerin jeoteknik parametreleri ölçülmüş, laboratuvarda kaya malzemelerinin jeoteknik özellikleri saptanmış ve elde edilen veriler değerlendirilerek kaya birimlerinin kütle ve destek sınıflamaları yapılmıştır.

#### 4.1.1. Süreksizliklerin Jeoteknik Parametreleri (Geotechnical Parameters of Discontinuities)

Güzergahtaki kaya birimlerinde bulunan süreksizliklerin yönelim ve takım sayısı, aralıkları, devamlılıkları, açıklıkları, yüzey pürüzlülükleri, dolgu malzemesinin cinsi, ayrışma durumu, su durumu, RQD (%) ve eklem yüzeyi dayanımından oluşan diğer parametreler saptanmıştır. Bu parametreler kayaların kütle davranışlarını önemli ölçüde etkilemekte olduğundan ve kaya kütle sınıflamalarında kullanıldıklarından dolayı ISRM (1981) tarafından önerilen standarda göre belirlenmiştir (Tablo 1). YHT güzergahındaki kayaların süreksizlik parametreleri kaya mostraları üzerinde ISRM (1981) tarafından önerilen "hat etüdü yöntemi" kullanılarak belirlenmiştir. Kaya kütleleri üzerindeki süreksizlik parametreleri 10-50 m uzunlukta değişen hatlar boyunca gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışma alanı olarak seçilen YHT güzergahında yer alan kayalara ait süreksizliklerin jeoteknik parametreleri (Geotechnical parameters of the discontinuities of the rocks on the HSR route)

Parametre	Kaya Birimleri			
	Ortognays	Neojen Birimler	Şist	Granit
Kaya Kalite Göstergesi (RQD) (%)	29.2	72	25.9	38
Eklem yüzey dayanımı (MPa)	22.78	58	40	60
Yönelim ve takım sayısı	2	3	3	2
Süreksizlik ara uzaklığı (cm)	0-6	10-20	0-6	20-30
Süreksizlik Uzunluğu (m)	11	8	10	7
Süreksizlik açıklığı (mm)	1-5	1-20	1-5	1-5
Pürüzlülük	az-orta pürüzlü	az pürüzlü	az pürüzlü	az pürüzlü
Dolgu malzemesi	sert dolgulu <5 mm	kalsit+kil	yumuşak dolgulu >5 mm	kil
Ayrışma Durumu	çok ayrılmış	çok ayrılmış	çok ayrılmış	tamamen ayrılmış
Su durumu	nemli	nemli	nemli	nemli

Süreksizliklerin eklem yüzeyi dayanım parametrelerini belirlemek için süreksizlik yüzeyleri üzerinde Schmidt Çekici deneyleri yapılmıştır. Schmidt Testi, Atkinson vd.(1978) belirlediği yönteme göre yapılmıştır. Schmidt Çekici uygulaması kaya yüzeyinde en az 3 mm aralıklarla 40 ayrı noktadan okuma yapılması ve en yüksek 10 değer alınması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Schmidt çekici geri tepme sayısına bağlı olarak kaya cinsleri Tablo 2 de görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

**Tablo 2.** Schmidt Çekici deney sonuçları (Schmidt Hammer Test results)

Kaya Birimleri	en az	en çok	ort.
Ortognays	38	46	42
Neojen Birimler	32	40	36
Şist	36	46	41
Granit	45	54	49

Ortognays, Neojen Birimler, Şist ve Granitler üzerinde yapılan Schmidt Çekici deneylerinden elde edilen geri tepme sayılarının değerlendirilmesi sonucunda ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlamaya göre, ortognays, Neojen birimler ve şist “sert”, granitler “çok sert” kaya olarak tanımlanmışlardır (ISRM, 1981).

#### 4.1.2. Kayaçların Jeoteknik Özellikleri (Geotechnical Properties of Rocks)

YHT güzergahındaki kayaçların mekanik özelliklerini belirlemek için sondajlardan alınan karot örneklerinden birim hacim ağırlık, porozite, özgül ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri yapılmıştır (Tablo 3). Anon (1979) tarafından önerilen sınıflamaya göre kuru birim hacim ağırlıklar açısından ortognayslar “orta”, Neojen birimler ve şist “yüksek”, granitlerin “çok yüksek” birim hacim ağırlık değerlerine, porozite açısından ise ortognays, Neojen birimler ve şist “orta”, granitler “yüksek” porozite değerlerine sahip oldukları saptanmıştır (Tablo 3).

**Tablo 3.** YHT güzergahındaki kayaçların fiziksel özellikleri (Physical properties of rocks on HSR route)

Parametre	Ortognays			Neojen Birimler			Şist			Granit		
	en az	en çok	ort.	en az	en çok	ort.	en az	en çok	ort.	en az	en çok	ort.
Kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_k$ ) (kN/m <sup>3</sup> )	21.57	25.27	23.42	22.76	24.12	23.49	24.18	25.18	24.68	26.62	27.44	27.03
Doygun birim hacim ağırlık ( $\gamma_a$ ) (kN/m <sup>3</sup> )	21.05	23.85	22.45	23.23	24.5	23.86	24.56	25.48	25.02	26.61	27.59	27.10
Özgül Ağırlık (Gs)	2.50	2.70	2.69	2.30	2.69	2.49	2.50	2.80	2.65	2.70	2.92	2.81
Görünür porozite (n) (%)	0.97	1.91	1.44	1.00	1.58	1.29	0.86	1.95	1.40	0.64	0.67	0.65
Ağırlıkça su emme ( $S_A$ ) (%)	1.15	2.03	1.59	2.97	3.11	3.04	0.33	0.66	0.49	0.23	0.34	0.28
Hacimce su emme ( $S_v$ ) (%)	2.28	3.25	2.76	3.63	3.97	3.80	0.91	1.82	1.36	0.64	0.68	0.66

Ayrıca, kayaçların üç eksenli ve tek eksenli basınç dayanımları, standartlara uygun olarak her birim için hazırlanan karot örnekleri üzerinde yapılan deneylerle belirlenmiştir (Tablo 4). Üç eksenli ve tek eksenli basınç dayanımları ASTM' ye göre yapılmıştır (ASTM, 1980b; ASTM,1980a). Kayaçların tek eksenli basınç dayanımları ISRM (1981) tarafından önerilen standarda göre tanımlanmış olup ortognays, Neojen birimler, şist ve granitler “yüksek” dayanıma sahip kayaçlar olarak sınıflandırılmıştır (ISRM, 1981). Karot örnekleri üzerinde üç eksenli deneyler her defasında yanal gerilmeler artırılarak (2.5, 5.0 ve 7.5 MPa) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen, içsel sürtünme açısı ( $\theta$ ) ve kohezyon (c) değerleri Tablo 4 te verilmiştir.

**Tablo 4.** YHT güzergahındaki kayaçların mekanik özellikleri (Mechanical properties of rocks on HSR route)

Parametre	Ortognays			Neojen Birimler			Şist			Granit		
	en az	en çok	ort.	en az	en çok	ort.	en az	en çok	ort.	en az	en çok	ort.
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ ) (MPa)	83.60	275.90	179.75	182.10	225.60	203.85	50.00	167.1	108.55	130.80	242.40	186.60
Kohezyon (c) (MPa)	20.20	38.20	29.20	17.91	25.17	21.54	33.65	38.32	35.98	29.51	53.20	41.35
Elastisite Modülü	26.51	38.30	32.40	34.69	40.65	37.67	29.24	31.03	30.13	28.55	35.28	31.91
Poisson Oranı	0.25	0.28	0.26	0.25	0.28	0.26	0.25	0.26	0.25	0.26	0.29	0.27
İçsel sürtünme açısı ( $\theta$ ) (°)	21.73	47.97	34.85	22.50	31.12	26.81	41.15	42.10	41.62	28.61	34.86	31.73



Bieniawski (1989) tarafından önerilen Kaya Kütleli Puanlama Sistemi (RMR) tünel, metro, açık-kapalı maden ocakları, şev, mühendislik temellerinin stabilite özelliklerini değerlendirmede ve kaya kütlelerinin taşıma güçlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu nedenle çalışma güzergahında kaya birimler Kaya Kütleli Puanlama Sistemine (RMR) (Bieniawski, 1989) ve Q sınıflama sistemine göre değerlendirilmiştir. Buna göre, RMR değerine göre Kaya Kütleli sınıfı; ortognays için “orta kaliteli kaya”, Neojen tortullar “iyi kaya”, şist “çok kötü kaya”, granit ise “çok iyi kaya” belirlenmiştir. Q sınıflama sistemine göre güzergahtaki kaya birimlerinin Kaya Destek Sınıfı; ortognays “zayıf kaya”, Neojen birimler “iyi kaya”, şist “çok fazla zayıf kaya” ve granit birimi ise “pek çok iyi kaya” olarak tanımlanmışlardır (Tablo 5).

**Tablo 5.** YHT güzergahındaki kayaların kaya kütle özellikleri (Rock mass properties of HSR route)

Parametre	Ortognays	Neojen Birimler	Şist	Granit
RMR değeri	47.4	68.0	7.1	89.0
Kaya kütleli sınıfı	orta kaliteli kaya	iyi kaya	çok kötü kaya	çok iyi kaya
Q sınıflama sistemi	1.46	14.39	0.016	148.40
Kaya destek sınıfı	zayıf kaya	iyi kaya	çok fazla zayıf kaya	pek çok iyi kaya

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışma kapsamında Ankara - İzmir YHT projesinin Afyon - Uşak (Eşme) (Km 364+600 - 409+500 Kesim-2) arasındaki kaya birimleri jeoteknik özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Bu nedenle güzergah boyunca yer alan jeolojik birimlerde ayrıntılı (jeoteknik amaçlı sondaj, araştırma çukuru, arazi deneyleri ve laboratuvar deneyleri) araştırmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarla kaya birimlere ait jeolojik - jeoteknik değerlendirmelerle güzergahta yapılacak olan tüneller, şevler ve dolgular ve sanat yapılarının projelendirilmesine yönelik verilerin elde edilmesi sağlanmıştır.

Öncelikle, Ankara-İzmir YHT projesinin Afyon-Uşak (Eşme) kesimi çok büyük oranda Menderes Metamorfikleri, kısa bir mesafede ise Neojen Kuvarterner yaşlı, graben dolgusu olarak tanımlanabilecek tortul örtü üzerinde ilerlemektedir. Tortul örtü ile Menderes Masifi metamorfikleri arasındaki orijinal sınır bir aşıl uyumsuzluktur. Günümüzde ise bu sınır büyük oranda Gediz Grabeni'nin kuzey sınır fayı ile sınırlanmaktadır.

Çalışılan güzergahının uzunluğu 44.9 km dir. Güzergah oldukça engebeli bir topoğrafik yapıya sahip olmasından dolayı, proje önemli oranda sanat yapısını içermektedir. Proje güzergahında, 52 menfez, 10 üst geçit, 4 alt geçit, toplam 1878.59 metre uzunluğunda aç kapa tünel, toplam 22331.35 metre uzunluğunda 24 tünel ve toplam 4532.50 metre uzunluğunda 20 viyadük planlanmış ve hala proje yapım aşamasındadır. Proje güzergahının tamamı Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasında I. Derece Deprem Bölgesi'nde yer almaktadır.

Güzergahtaki süreksizliklerin jeoteknik incelenmesi sonucunda süreksizlik ara uzaklıkları ortognays ve şist “orta aralıklı”, Neojen birimler ve granitlere “geniş aralıklı” olarak belirlenmiştir. Süreksizliklerin devamlılıkları Neojen birimler, şist ve granitlere “orta”, ortognays ise “yüksek” (> 10 m) olarak sınıflandırılmıştır. Süreksizlik açıklıkları ISRM (1981) ve Anon (1979) a göre ortognays, şist ve granitler “çok dar-dar”, Neojen birimler “dar” olarak sınıflandırılmıştır. Süreksizlik yüzey pürüzlülüğü, ortognays “az-orta pürüzlü” Neojen birimler, şist ve granitler “az pürüzlü” olarak sınıflandırılmıştır.

Güzergahta yüzeyleyen kayaların porozite özellikleri olarak; ortognays, Neojen birimler ve şist “orta”, granitlerin “yüksek” porozite değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir.

ISRM (1981) standardına göre güzergahta yüzeyleyen kayaların tek eksenli basınç dayanımları değerlendirildiğinde; ortognays, Neojen birimler, şist ve granitler “yüksek” dayanıma sahip kayalar olarak sınıflandırılmıştır.

Çalışma güzergahında kaya birimlerin RMR değerine göre Kaya Kütleli sınıfı; ortognays için “orta kaliteli kaya”, Neojen tortullar “iyi kaya”, şist “çok kötü kaya”, granit ise “çok iyi kaya” belirlenmiştir. Q sınıflama sistemine göre güzergahtaki kaya birimlerinin Kaya Destek Sınıfı; ortognays “zayıf kaya”, Neojen birimler “iyi kaya”, şist “çok fazla zayıf kaya” ve granit birimi ise “pek çok iyi kaya” olarak tanımlanmışlardır.

## Teşekkür (Acknowledgement)

Yazar bu çalışmadaki katkılarından dolayı; Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demir Yolları İşletmesi, Etüt Proje ve Yatırım Dairesi Başkanlığına teşekkürlerini sunar. Ayrıca, yazar makalenin geliştirilmesindeki görüş ve katkılarından dolayı Editör ve Hakemlere ayrı ayrı teşekkür eder.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

## KAYNAKLAR

- Akkök, R., 1981. Menderes Masifinin gnayslarında ve şistlerinde metamorfizma koşulları, Alaşehir – Manisa. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 24, 11-20.
- ASTM, 1980a. Standard method of test for unconfined compressive strength of rock core specimens, Annual Book of ASTM Standards, Designation 2939-79, Part 19, 440443.
- ASTM, 1980b. Standard method of test for triaxial compressive strength of undrained rock core specimens without pore pressure measurements, Annual Book of ASTM Standards, Designation 2664-67.
- Anon, 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping, Part 1, Rock and Soil Materials, Report of the Commission of Engineering Geological Mapping, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 19, pp. 364-371.
- Atkinson, R.H., Bamford W.H., Broch E., Deere D.U., Franklin J.A., Nieble C., Rummel F., Tarkoy P.S., Van D.H., 1978. Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks, ISRM Commission Standardization of Laboratory and Field Tests, International Journal of Rock Mechanics Mining Science and Geomechanics, 15, 91-97.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classification, Mc Graw Hill, 237 p.
- Bülbül, A., 2009. Alaşehir (Manisa) sıcak ve soğuk su sistemlerinin hidrojeolojik ve hidrokimyasal açıdan değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora tezi, 250 s.
- Dora, O., Kun, N., Candan, O., 1990. Metamorphic history and geotectonic evolution of the Menderes Masif, International Earth Sciences Congress On Aegean Regions, İzmir, 2, 102-115.
- Ediger, V., Batı, Z., Yazman, M., 1996. Palynology of possible hydrocarbon source rocks of the Alaşehir-Turgutlu area in the Gediz Graben (western Anatolia), Turkish Association of Petroleum Geologists Bulletin, 8, 94-112.
- Emre, T., 1996. Gediz Graben'nin tektonik evrimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, Geological Bulletin of Turkey, 39(2), 1-18. <https://tr.railturkey.org/2016/05/27/ankara-izmir-yuksek-hizli-tren-hatti/> (erişim tarihi 25.10.2020)
- ISRM, 1981. Rock characterization testing and monitoring (Editor: E.T. Brown, ISRM Suggested Methods), Pergamon Press, Oxford, England, 211 p.
- Işık, K., 2016. Dervişli (Eşme-Uşak) dolayındaki rutilli plaserlerin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, YL Tezi, 116 s.
- Purvis, M., Robertson, A., 2005. Sedimentation of the Neogene-Recent Alaşehir (Gediz) continental graben system used to test alternative tectonic models for western (Aegean) Turkey, Sedimentary Geology, 173, 373-408.
- Seyitoğlu, G., Scott, B., 1996. The age of the Alaşehir graben (west Turkey) and its tectonic implications, Geological Magazine, 139, 15-26.
- Seyitoğlu, G., Tekeli, O., Çemen, İ., Şen, Ş., Işık, V., 2002. The role of the flexural rotation/Rolling hinge model in the tectonic evolution of the Alaşehir graben, western Turkey, Geological Magazine, 139, 15-26.
- Sözbilir, H., 2001. Extensional tectonics and the geometry of related macroscopic structures: field evidence from the Gediz detachment, Western Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 10, 51-67.
- SWS Engineering S.p.A., 2015. Afyon - Uşak (Eşme) (Km 364+600 - 409+500 Kesim-2): Jeolojik-Jeoteknik araştırma raporu. 143 s. (yayınlanmamış)
- Yılmaz, Y., Genç, S.C., Gürer, O.F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, S., Elmas, A., 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop? In: Bozkurt E., Winchester J.A., Piper J.D.A. (Eds.). Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area. Geological Society Special Publication 173. Geological Society, London. 353-384.



## ZIMPARA TAŞI İÇEREN CEVHER ALANINA AİT MANYETİK VERİLERİN SINIR ANALİZİ YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ: MUĞLA, TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Erdoğan ÖKSÜM<sup>1</sup>, M.Nuri DOLMAZ<sup>1</sup>, Muhterem DEMİR<sup>2,\*</sup>, Luan Thanh PHAM<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye

<sup>3</sup> Department of Geophysics, Faculty of Physics, University of Science, Vietnam National University, Hanoi, Vietnam

### Anahtar Kelimeler

*Manyetik,  
Zımpara Taşı,  
Milas-Muğla.*

### Öz

Doğal zımpara taşları çoğunlukla Türkiye’de Ege bölgesinde ve Yunanistan’da görülür. Türkiye’nin batısında yer alan Menderes Masifi demir bakımından zengin zımpara taşı yatakları içermektedir. Önemli zımpara taşı yataklarından biri, GB Türkiye’de Milas’ın KB da yer alan Kayabaşı köyü güneyinde görülmektedir. Zımpara taşları bünyesinde çoğunlukla alüminyum ve demir mineralleri içerdiği için ölçülebilir manyetik anomalilere neden olabilmektedir. Bu çalışma, Kayabaşı Köyü GB’da yer alan bir maden sahasının 150 x 200 m boyutlarında lokal bir bölgesinde potansiyel zımpara taşı kaynaklarının yer altındaki konumlarının ve devamlılıklarının araştırılmasını amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda inceleme sahasında jeofizik potansiyel alan verilerinden olan manyetik alan verilerinin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sahasının manyetik anomalilerine kaynak olan yapıların konumlarının tespiti için sınır analizleri kapsamında analitik sinyal, yatay türevlerin analitik sinyali, toplam yatay gradyanın tilt açısı ve yatay gradyanın lojistik fonksiyonu esasına dayanan dört farklı analiz tekniği uygulanmıştır. Elde edilen sınır analizleri haritalarının birlikte yorumlanması ile inceleme alanının doğusunda genel olarak sığ kaynaklı yapısal unsurların, batısında ise göreceli olarak daha derin kaynaklı yapısal unsurların varlığı gözlemlenmiştir.

## EVALUATION OF MAGNETIC DATA OF AN EMERY BEARING ORE FIELD BY EDGE DETECTION METHODS: MUĞLA, TÜRKİYE EXAMPLE

### Keywords

*Magnetic,  
Emery Rock,  
Milas-Muğla.*

### Abstract

Emery rocks occurs naturally in the Aegean region, mostly in Turkey and Greece. The Menderes Massif located to the western part of Turkey bears several Fe-rich emery ore deposits. One of the important ore deposits is seen at southern Kayabaşı village, Milas, SW Turkey. Since emery rocks are mainly composed of alumina and iron minerals, they cause measurable magnetic anomalies. This study aims to investigate the localization and continuity of potential emery resources in a local area of 150 x 200 m in a mining site in the SW of Kayabaşı Village. For this purpose, magnetic field, which is one of the geophysical potential field data, were measured in the study area. Four different analysis techniques based on the analytical signal, the analytical signal of the horizontal derivatives, the tilt angle of the total horizontal gradient and the logistic function of the total horizontal gradient have been applied within the scope of the edge detection to determine the positions of the structures that are the source of the magnetic anomalies of the study area. With the interpretation of the obtained analysis maps together, it was observed that there were generally shallow-sourced structural elements in the east of the study area and relatively deeper-sourced structural elements in the west.

### Alıntı / Cite

Öksüm, E., Dolmaz, M.N., Demir, M., Pham, L.T., (2021). Zımpara Taşı İçeren Cevher Alanına Ait Manyetik Verilerin Sınır Analizi Yöntemleri İle Değerlendirilmesi: Muğla, Türkiye Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 319-329.

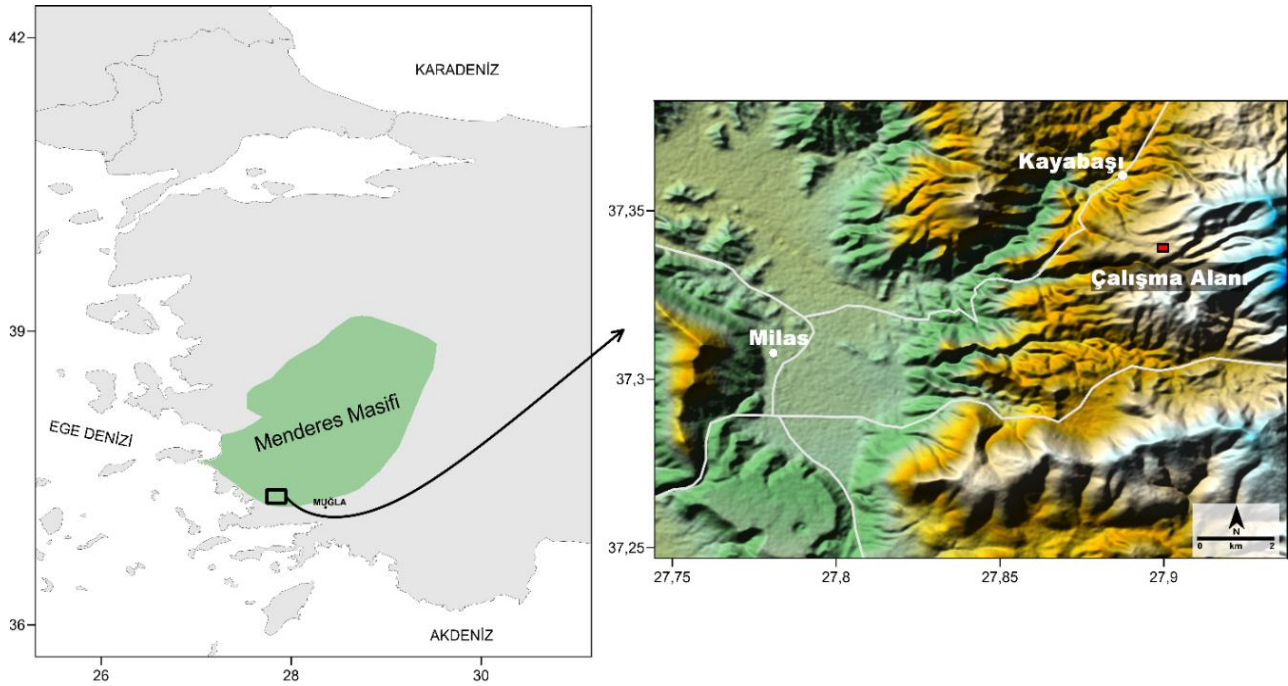
\* İlgili yazar / Corresponding author: muhteremdemire@gmail.com, +90-543-538-0757

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
E. Öksüm, 0000-0001-8386-9411	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	16.09.2020
M. N. Dolmaz, 0000-0002-9185-983	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	17.12.2020
M. Demir, 0000-0002-3661-5395	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	18.12.2020
L.T. Pham, 0000-0002-5415-8001	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

## 1. Giriş (Introduction)

Menderes Masifi (Şekil 1), demir bakımından zengin irili ufaklı merceksi yapılarda ve yüzey plaserleri şeklinde zımpara taşı içermektedir. Bunun yanı sıra demir, krom, bakır, kurşun, çinko, cıva, altın, gümüş, uranyum, kömür, feldspat, kaolin ve boksit gibi metalik ve metalik olmayan mineraller bakımından da zengindir (Smith, 1850; Chazan, 1946; Calame, 1956; Yalçın vd., 1993; Gümüş vd., 1999). Bu nedenle birçok yer bilimci, özel tektoniği, jeolojik özellikleri ve çeşitli maden yatakları içermesi nedeniyle Menderes Masifi ile ilgilenmiştir. Masif'te eski zamanlardan beri çeşitli madencilik faaliyetleri gerçekleştirilmiş fakat bu faaliyetlerin birçoğu rapor edilmemiş veya yayınlanmamıştır.

Türkiye'de bulunan zımpara taşı yatakları, irili ufaklı merceksi yapılarda ve yüzey plaserleri halinde oluşmuştur. Batı Anadolu'da büyük zımpara taşı rezervleri genel olarak Muğla ili civarında, özellikle Milas ve Yatağan dolaylarında bulunmaktadır. Dünya çapında zımpara taşı yataklarının jeolojisi, petrolojisi ve mineral kimyası üzerine pek çok araştırma yapılmış olsa da (Yalçın vd., 1993; Feenstra, 1996, 1997), zımpara taşı alanlarında jeofizik araştırmalara ilişkin sınırlı sayıda yayın bulunmaktadır. Bu araştırma, Menderes Masifi'nin güney kenarında, Muğla Milas KB'sında Kayabaşı Köyü güneyinde yer alan bir maden sahasının zımpara taşı potansiyeli içeren inceleme alanında gerçekleştirilen bir jeofizik çalışmayı kapsamaktadır (Şekil 1). Bu kapsamda, inceleme alanı içerisinde zımpara taşı seviyelerinin yer altındaki lokasyonlarının ve devamlılıklarının araştırılması amaçlanmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının yeri (Location of the study area)

Zımpara taşları bünyelerinde çoğunlukla alüminyum ve demir mineralleri içermektedir, dolayısıyla içinde buldukları çevre kayalarına göre göreceli olarak ölçülebilir manyetik alan anomalilerine neden olabilmektedirler. Yer altında manyetik alan kontrastı oluşturan yapıların konumlarının belirlenmesinde jeofiziğin potansiyel alan yöntemlerinden olan manyetik alan yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Manyetik alan verilerinin değerlendirilerek yapı sınırlarının belirlenmesi konusunda ise büyük ölçüde alanın türevlerine veya bunların kombinasyonlarına dayanan pek çok yöntem ileri sürülmüştür. Evjen (1936) kaynağın yatay sınırlarının tespiti için alanın düşey türevinin sıfır değerini kullanmıştır. Cordell ve Grauch (1985) ise kaynak yapı sınırları üzerinde maksimum değerleri üretme eğiliminde olan yatay gradyan genliğini kullanmışlardır. Diğer yandan Nabighian (1972) ve Atchuta vd. (1981), manyetik anomalilerin analitik sinyallerinin manyetizasyon yönlerine daha az duyarlı olduklarını ve bunların kalıntı mıknatıslanma durumlarında faydalı veriler olabileceğini kanıtlamışlardır. Buna göre Roest vd. (1992)'de yanal yapı sınırlarını belirlemek için analitik sinyal genliğinin (AS)

maksimum değerlerinin kullanılması önerilmiştir. Hsu vd. (1996) tarafından ise sınır tespiti sonuçlarının çözünürlüğünü iyileştirmek için daha yüksek dereceli türevlere dayanan gelişmiş analitik sinyalin kullanılması önerilmiştir. Analitik sinyal esasına dayanan diğer bir sınır analizi tekniği ise Bournas ve Baker (2001) tarafından önerilmiştir. Araştırmacılar, yatay türevlerin analitik sinyallerinin yapıların sınırlarını belirlemede analitik sinyal yönteminden daha iyi sonuçlar aldıklarını belirtmişlerdir. Fedi ve Florio (2001) ise sınır tespitlerinin geliştirilmesi için yüksek mertebedeki düşey türevlerin yatay türevlerini kullanmışlardır.

Yukarıdaki bahsedilen yöntemlerin ortak dezavantajı, aynı anda farklı derinliklerde bulunan etken yapılar tarafından üretilen anomalilerin genliklerini dengelemede zayıf performans göstermeleridir (Pham vd., 2018a, 2018b; 2019; Nasuti vd., 2018). Sığ ve derin kaynakların sınırlarının eşzamanlı olarak belirlenebilmesi için çeşitli faz tabanlı yöntemler geliştirilmiştir. Örneğin tilt açısı yöntemi (Miller ve Singh, 1994), tilt açısının toplam yatay türevi yöntemi (Verduzco vd., 2004), teta haritası yöntemi (Wijns vd., 2005), yatay gradyanın düşey türev ile normalizasyonu filtresi ve hiperbolik tilt açısı yöntemleri (Cooper ve Cowan, 2006), yatay gradyanın tilt açısı filtresi (Ferreira vd., 2013), lojistik fonksiyon ve toplam yatay gradyanın bir kombinasyonu olan gelişmiş lojistik filtresi (Pham vd., 2020). Pham vd. (2020) farklı derinliklere sahip modellerin manyetik anomali verileri üzerinde yaptıkları çalışmada yukarıda verilen faz tabanlı yöntemleri karşılaştırarak Ferreira vd. (2013) yöntemi ile çalışmalarında sundukları yöntemin diğer yöntemlere göre eşzamanlı olarak derin ve sığ kaynakların sınırlarını daha etkin belirleyebildiklerini vurgulamışlardır.

Geleneksel kenar belirleme yöntemleri yanında eğrisellik (curvature) yöntemi de son yıllarda geliştirilmiş, potansiyel alan verilerinin ikinci dereceden kısmi türevlerine dayanan önemli potansiyel alan analiz yöntemlerinden birisidir. Yöntem ilk olarak Hansen ve deRidder (2006) tarafından havadan manyetik veriler üzerinde lineer özellik analizi için uygulanmıştır. Yöntem daha sonra Philips vd. (2007) tarafından gravite verilerine uygulanmıştır. Daha sonra Barraud (2013) tarafından geometrik analiz ve derinlik kestirimi için kullanılmıştır. Kafadar (2017) tarafından, bu yöntem kullanılarak kolaylıkla teorik ve arazi uygulamaları geliştirilebilmesi için, açık kaynak kodlu görsel bir yazılım geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, inceleme alanından elde edilen manyetik verilere neden olan yeraltı yapılarının konumlarının belirlenmesi için manyetizasyon yönlerine daha az duyarlı olan analitik sinyal tekniği (Roest vd., 1992), yatay türevlerin analitik sinyalleri (Bournas ve Baker, 2001) ve ayrıca derin yapıların sınırlarının belirlenmesinde etkili olan yatay gradyanın tilt açısı filtresi (Ferreira vd., 2013) ile gelişmiş lojistik filtresi (Pham vd., 2020) uygulanmıştır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Çalışma alanı ve çevresini kapsayan bölgede, birçok yerli ve yabancı araştırmacı tektonik, jeolojik özellikleri ve çeşitli maden yataklarının araştırılmasını kapsayan çalışmalar gerçekleştirmişlerdir.

Önay (1949), Doktora çalışmasında, diyasporit ve zımparaların, boksitin bir metamorfizma ürünü olduğu ispat etmiş ve Menteşe Mermerleri içerisinde kesinlikle ayırt edilebilen bir horizontta bulunduğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca metamorfizmanın, Menderes Masifine yaklaştıkça arttığını ve böylece diyasporitin daha dışta, zımparanın ise daha içeride; masif etrafında bir daire şeklinde birikmiş olduklarını tespit etmiştir.

Schuling (1962), "Türkiye'nin Güneybatısındaki Menderes Migmatit Kompleksinin Petrolojisi, yaşı ve yapısı hakkında" başlıklı çalışmasında Menderes Masifinde geniş bir şekilde mostra veren migmatit özelliğindeki gnaysların petrografisi, yaşı ve yapıları hakkında bilgi vermiştir.

Tuğal (1964), Milas civarının diyasporit ve zımpara yataklarını incelemiş ve hesaplamış olduğu 32 milyon ton diyasporit rezervinin 19 milyon tonunun alüminyum sanayine elverişli olduğunu belirtmiştir.

Wippert (1965), Menderes Masifi çevresindeki diyasporit ve zımpara yataklarını incelemiş ve bu zımparalardan alüminyum elde edilmesi ile ilgili yöntemleri araştırmıştır. Tespit ettiği 72 milyon ton diyasporit ve 8 milyon ton zımparanın, bir alüminyum fabrikasını uzun zaman besleyebileceğini belirtmiştir.

Graciansky (1965), "Menderes Masifinin güney kıyısı boyunca (Türkiye'nin GB'sı) görülen metamorfizma hakkında açıklamalar" başlıklı çalışmasında Menderes Masifinin güney kanadında görülen metamorfizma hakkında bilgi vermiş; ayrıca mermerlere de değinmiştir.

Brinkmann (1966), Menderes Masifinin çekirdeğini teşkil eden gnaysların orijinal maddesinin Pre-Kambriyen yaşında olduğunu, çekirdeğin metamorfizmasının muhtemelen Pre-Kambriyen arasında, Paleozoyik ve Mezozoik yaşında örtü tabakalarının Jura yaşına rastladığını savunmuştur.

Dürr (1975), Menderes Masifi Metamorfitlerinin stratigrafisini incelemiş ve Metamorfitlerin Prekambriyenden Alt Triyasa kadar çıkan bir istif sunduğunu, metamorfizmanın en son Alt Tersiyer’de etkin olduğunu belirtmiştir.

Papazachos ve Comninakis (1977)’e göre, Güneybatı Anadolu bölgesi boyunca, Afrika Levhasının Ege – Anadolu Levhasının altına dalmasıyla, dalan levhanın üst yüzeyinde büyük bir sürtünme ısısı hidrokinamik kuvvetler oluşturmaktadır. Bu kuvvetler dalma batma zonu boyunca sıcak magmayı yukarıya doğru Anadolu levhası içine doğru göçe zorlamakta ve manto hacminin artışına neden olmaktadır. Artan hacim Ege-Anadolu Levhasının kuzeye ve güneye, dolaylı olarak da manto malzemesinin kabuk içine sokulmasına, volkanik aktiviteye, yüksek ısı akısına, kabuk yapısı ve kalınlığının değişmesine neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Çağlayan vd. (1980), Menderes Masifi Metamorfitleri Stratigrafisini açıklarken, tabanda Prekambriyenle başlattıkları metamorfite Üst Paleosene kadar çıkartmışlardır. Bununla birlikte araştırmacılar, Menderes Masifi güneyinde yoğun bir şekilde çalışmışlar ve elde ettikleri bilgiler sayesinde bölge için yapısal yorumlar yapmışlardır.

Orhon vd. (1985), Milas boksit sahalarında yer alan diyasporit mostralarını haritalamışlar, sondajları değerlendirmişler ve sonuçta 12.8 milyon ton görünür diyasporit rezervi saptamışlardır.

Dora vd. (1987), yapmış oldukları “Menderes Masifi Postmetamorfik Plütonlar” başlıklı çalışmalarında Menderes Masifinin genel jeolojik konumuna, litolojik istifi ve Menderes Masifinin jeotektonik evrimine değinmişlerdir.

Orhon ve Yılmaz (1987), Milas-Kurukümes zımpara ocağının rezerv ve tenörünün belirlenmesi amacı ile çalışmışlar ve 17.650 ton görünür, 1200 ton muhtemel olmak üzere 18.850 ton %51,19 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü zımpara rezervi saptamışlardır.

Ünsal vd. (1989), Muğla (Milas-Yatağan) Kozağaç, Kurukümes ve Elmacık zımpara sahalarında 1989 yılında sahaların 1/25 000 ölçekli ve 1/1 000 ölçekli detay jeoloji harita alımlarını gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda; Kozağaç, Kurukümes ve Elmacık sahalarında 587.266 ton masif cevher ve 291.216 ton plaser olmak üzere, toplam 878.482 ton cevher tespit edilmiştir.

Kuşçu (1992), yayınlamış olduğu makalede, Kestanecik ve Kozağaç (Yatağan-Muğla) mermerlerinin mineralojik, fiziksel ve petrografik ve jeolojik özelliklerinin yanında, bu mermerlerin ekonomik özelliklerini de irdelemiştir. Yalçın vd. (1993), yayınlamış oldukları çalışmada GB Türkiye’deki Menderes Masifinin metaboksitlerine Zn’ce zengin högbömit ve gahnit minerallerinin varlığını saptamışlardır ve Menderes Masifindeki diyaspor, zımparalara ve bunlarla birlikte bulunan kloritoid, margarit minerallerine de ayrıntılı bir şekilde değinmişlerdir.

Aydoğan (2001), “Muğla-Yatağan Elmacık Köyü İsmail Dağı Civarındaki Zımparaların Araştırılması” adlı çalışmasında Zımpara mostraları Kretase-Jura yaşlı, dolomitik mermerler içerisinde masif-mercekler-tabakalar şeklinde bulunduğunu söylemiştir. Elmacık ile Mesken köyleri arasındaki düzlükleri dolduran plaser zımparaların boyutları yer yer çok küçük çakıllardan, blok boyutuna kadar değiştiğini kanıtlamıştır. Genel olarak cevherin alt üst kloritoidler (1-30 cm) ve beyaz renkli, margaritler (1-10 cm) gözlemlenmiş, cevher mikroskobisi incelemeleri ile zımparaların hematit, korund, diyaspor, kloritoid, varlığı XRD, EMP analizleri ile teyit edilmiştir ve analizleri yapılmıştır. Sahada yaptıkları rezerv hesabı sonucu toplam olarak 75.000 ton görünür +75.000 ton muhtemel rezerv tespit etmiştir.

Aydın vd. (2011), Muğla Yatağan’ın Elmacık bölgesinde Yaran Dağı ve İsmail Dağı eteklerindeki birikim havzasında, bilinen demirce zengin zımpara horizonlarının sürekliliğini belirlemek ve yeni birikintileri araştırmak için manyetik ve elektrik yöntemler kullanarak jeofiziksel bir araştırma yapmıştır. 5 km<sup>2</sup>’lik bir alanda manyetik ölçümler yapmış ve olası plaser zımpara horizonlarını araştırmak ve olası fay hatlarını tespit etmek için alanın alüvyonal kısmında 15 noktada D.E.S yaparak tabaka kalınlıklarını araştırmışlardır. İsmail dağı mermerlerindeki eski ve terk edilmiş zımpara çukurlarının çevresinde önemli manyetik anomaliler elde etmişlerdir. Bu anomalilerin 10 metreden daha derin olmayan ve demirce zengin zımpara cevherlerinden kaynaklandığını öne sürmüşlerdir. Alanın alüvyonal kısmındaki manyetik anomalileri incelediklerinde küçük yeni plaser zımpara çökellerinin olabileceğini öne sürmüşlerdir. Sonuç olarak alanda 5 adet birincil, 5 adet plaser olmak üzere 10 farklı alanda zımpara taşı potansiyeli olabilecek yerleri önermişlerdir.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

#### 3.1. Toplam alan manyetik veri (Total field magnetic data)

İnceleme alanında gerçekleştirilen manyetik ölçümler, Geometrics G-857 Proton manyetometresi kullanılarak

yapılmıştır (Şekil 2). Manyetik etüt kapsamında ölçümler, ~150×200 m boyutlarına sahip çalışma sahasında genel olarak 5 m aralıklı profiller üzerinde 2 m ölçüm aralıklarında alınmıştır. Elde edilen manyetik alan ölçü değerleri, 2 m örnekleme aralığı ile gridlenerek inceleme sahasının toplam alan manyetik anomali haritası oluşturulmuştur (Şekil 3a). Manyetik anomali haritasında toplam alan değerleri 45200-47600nT arasında olup yaklaşık 2400 nT genlik değişimi göstermektedir.



Şekil 2. Saha çalışmasından bir görüntü ( a view from the investigation)

### 3.2. Sınır analizi yöntemleri (Edge detection methods)

Analitik sinyal yöntemi yeraltındaki yapıların sınırlarını belirlemek için manyetik anomalilerin yatay ve düşey türevlerinin alınmasıyla uygulanmaktadır. Analitik sinyalin genlik fonksiyonu AS, Roest vd. (1992) tarafından;

$$|A(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2} \quad (1)$$

denklemleri ile verilmiştir. Burada  $M$  manyetik alanı,  $x, y, z$  ise sırasıyla yatay ve düşey yönleri simgelemektedir. Bu filtrede yapı konumlarının  $AS$ 'in yüksek değerlerine karşılık geldiği ifade edilmektedir.

Analitik sinyal esasına dayanan diğer bir yöntem olan yatay gradient analitik sinyali (HGAS), Bournas ve Baker (2001) tarafından aşağıda verilen ifadeler ile tanımlanmıştır;

$$|A_h(x, y)| = \sqrt{|AS_x(x, y)|^2 + |AS_y(x, y)|^2} \quad (2)$$

$$AS_x(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial M_x}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M_x}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M_x}{\partial z}\right)^2} \quad (3)$$

$$AS_y(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial M_y}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M_y}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M_y}{\partial z}\right)^2} \quad (4)$$

Burada  $M_x$  ve  $M_y$  potansiyel alan verisinin  $x$  ve  $y$  yönlerinde alınan türevleridir. Bu filtrenin yüksek değerleri, yine yapıların yatay konumları ile ilişkilendirilmektedir.

Yukarıda verilen analitik sinyal yöntemleri, yer manyetik alanı yönüne daha az duyarlı olduklarından yapı sınırlarının belirlenmesinde avantaj sağlamaktadırlar. Fakat diğer bir yandan aynı ortamda sığ ve derin yapılardan kaynaklı şiddetli ve zayıf anomalilerin genliklerini dengelemede dezavantajlı olmaktadır (Pham vd., 2020). Diğer bir deyişle analitik sinyal esasına dayanan sınır analizi yöntemlerinde potansiyel alanın düşey türevi de hesaplamalara katıldığından farklı derinliklerde bulunan kaynakların manyetik anomalilerinin analitik sinyalleri farklı genliklerde olmaktadır. Bu nedenle analitik sinyal genlikleri genel olarak göreceli sığ kütlelerin sınırlarını belirgin gösterirken, daha derin kütlelerin sınırlarını iyi yansıtmamaktadır. Diğer bir dezavantajı ise analitik sinyal genliklerinin yapının sadece sınırlarında tüm kütle üzerinde değer vermesidir.

Ferreira vd. (2013) tarafından sığ ve derin kaynaklı anomalilerin genliklerini daha iyi dengeleyebilen faz tabanlı bir filtre olan yatay gradyanın tilt açısı TAHG filtresini;

$$TAHG = \operatorname{atan} \frac{\frac{\partial THDR}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial THDR}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial THDR}{\partial y}\right)^2}} \quad (5)$$

bağıntısıyla vermiştir. Burada  $THDR$  potansiyel alanın toplam yatay gradyanını simgelemektedir

$$THDR = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2} \quad (6)$$

Araştırmacılar, burada THDR filtresinin maksimum değerlerinin yapıların kenarlarını temsil ettiklerini vurgulamıştır.

Zayıf ve şiddetli anomalilerin genliklerini dengeleyerek sığ ve derin yapıların sınırlarının araştırılmasına yönelik ileri sürülen güncel diğer bir faz tabanlı kenar algılama filtresi Pham vd. (2020) tarafından sunulmuştur. Buna göre yatay gradyanın geliştirilmiş lojistik fonksiyon ile kombinasyonu olarak tanımlanan IL kenar algılama filtresi (Pham vd., 2020);

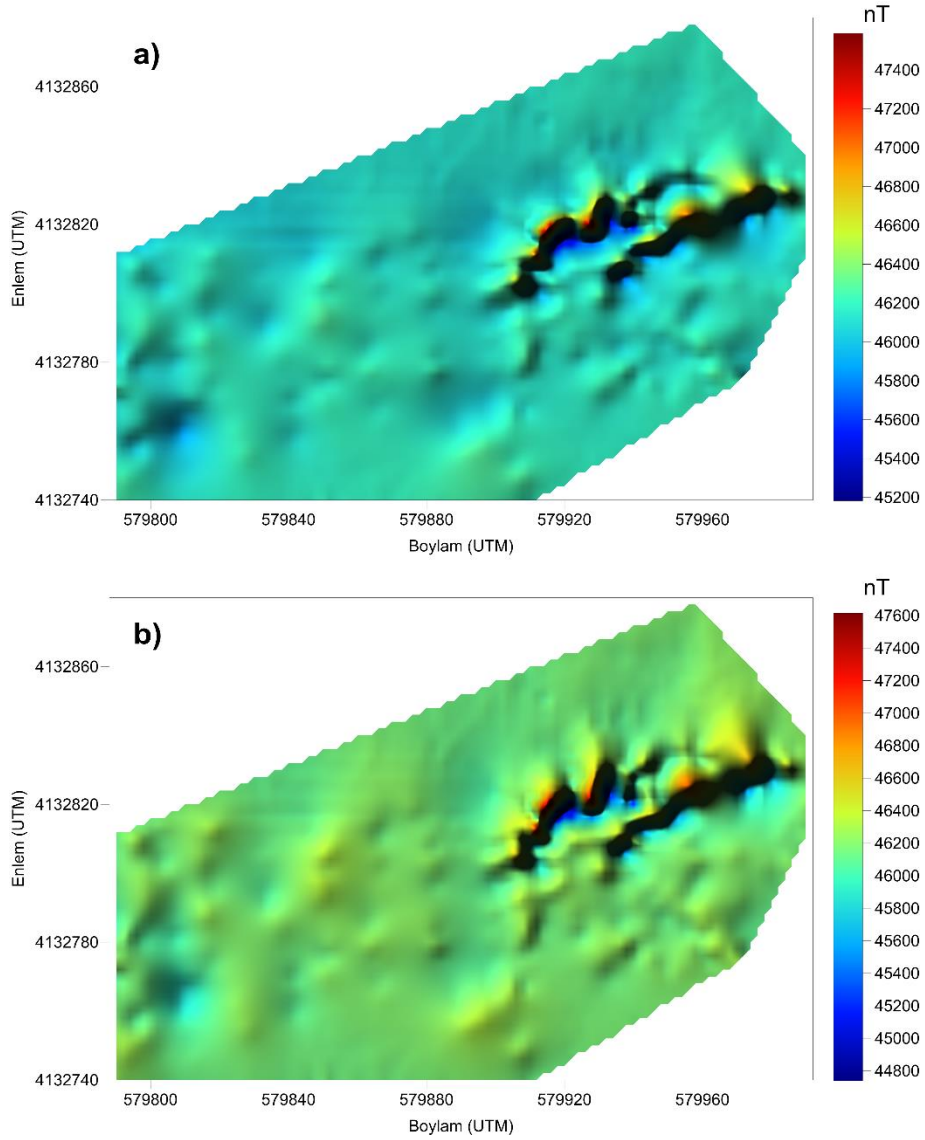
$$IL = \frac{1}{1 + \exp[-p(R_{THDR} - 1) + 1]} \quad (7)$$

bağıntısıyla verilmiştir. Burada  $R_{THDR}$ , THDR'nin düşey türevinin yatay gradyanına oranıdır.

$$R_{THDR} = \frac{\frac{\partial THDR}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial THDR}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial THDR}{\partial y}\right)^2}} \quad (8)$$

Pham vd. (2020), Eşitlik (7)'de  $p$  parametresini kullanıcı seçimli bir çözünürlülük katsayısı olarak tanımlamışlardır, fakat genel olarak 2-10 arasında bir değer seçiminde en iyi sonuçların elde edildiğini belirtmişlerdir. Diğer yandan, IL filtresinin maksimum değerlerinin yine TAHG' de olduğu gibi sadece yapının kenar sınırlarını verdiğini ifade etmişlerdir.



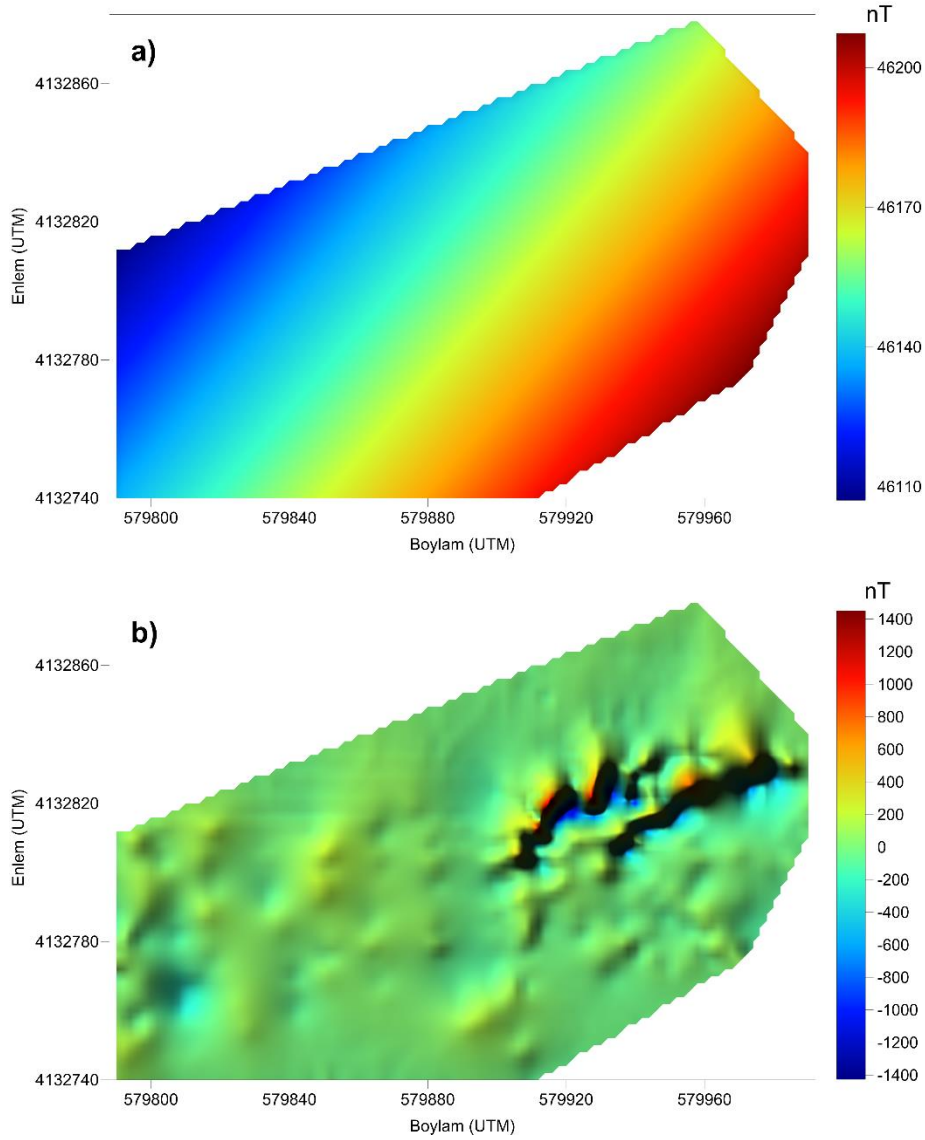


**Şekil 3.** a) İnceleme sahasına ait elde edilen toplam alan manyetik anomali haritası, b) kutba indirgenmiş toplam alan manyetik anomali haritası, kontur aralığı 200 nT ((a) Total field magnetic anomaly map of the study area, b) the total field magnetic anomaly map after reducing to pole, contour interval is 200 nT)

#### 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

İnceleme alanında yapılan manyetik ölçümler sonucunda oluşturulan toplam alan manyetik anomali haritasına yapı sınır analiz tekniklerini uygulamadan önce manyetik anomalilerin değerlendirilmesinde standart olan bazı ön veri işlem aşamaları gerçekleştirilmiştir. Buna göre manyetik anomali haritalarında maksimumların anomaliye sebep olan yer altı yapılarının düzeyinde konumlandırılması ve toplam alan anomali haritasının daha doğru değerlendirilmesi için verilere kutba indirgeme işlemi uygulanmıştır (Baranov,1957) (Şekil 3b). Kutba indirgeme işleminde yer manyetik alanının inklinasyon açısı değeri  $57^\circ$ , denklinasyon açısı değeri  $4^\circ$  olarak alınmıştır.

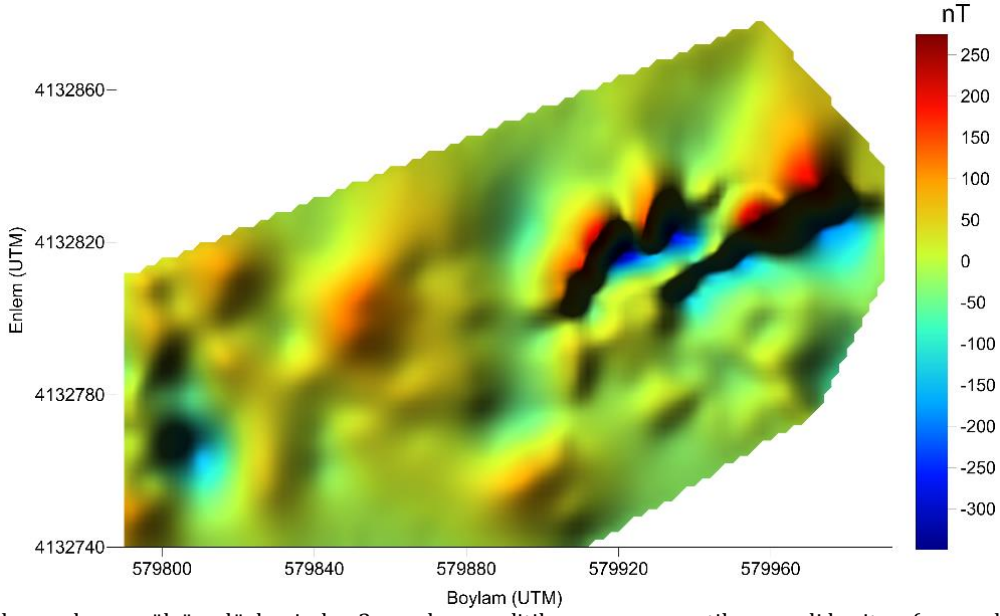
Sonraki aşamada yerel kütlelerin etkisini belirginleştirmek ve bölgesel derin kütlelerin etkisini uzaklaştırmak için rejyonel-rezidüel ayrımı gerçekleştirilmiştir. Buna göre kutba indirgenmiş toplam manyetik alan anomali haritasına birinci dereceden bir polinom yüzeyi geçirilerek rejyonel anomali haritası elde edilmiştir (Şekil 4a). Toplam alan manyetik anomali değerlerinden bu rejyonel anomalilerin uzaklaştırılmasıyla rezidüel anomali haritası elde edilmiştir (Şekil 4b). Rezidüel anomali haritası incelendiğinde, manyetik anomali değerlerinin -1500 nT ile 1500 nT arasında değiştiği, göreceli olarak yüksek anomali değişimlerinin inceleme sahasının D-KD kesimlerinde yer aldığı görülmektedir.



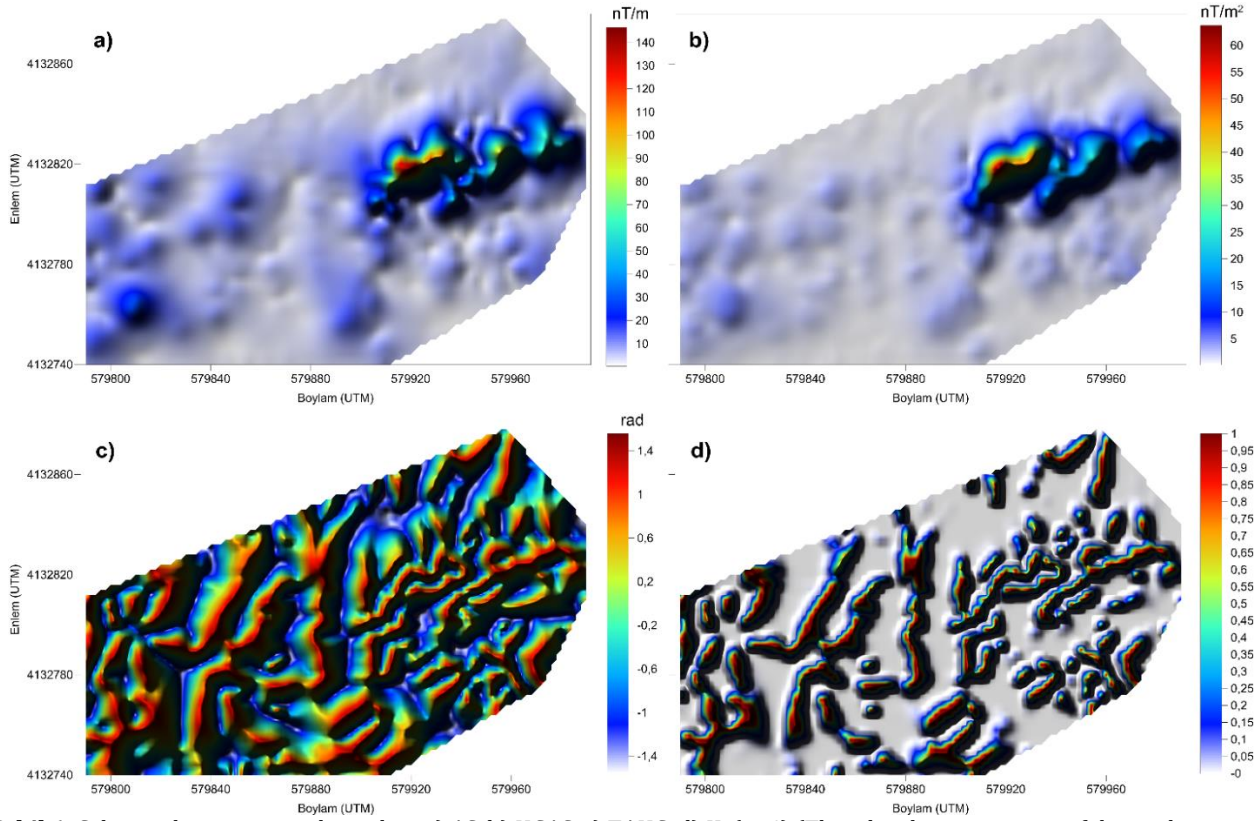
**Şekil 4.** a) Çalışma alanının rejyonal anomali haritası, b) Çalışma alanının rezidüel anomali haritası ((a) Regional anomaly map of the study area, b) residual anomaly map of the study area)

Daha sonra, veri içerisinde yüzeye yakın etkilerden kaynaklı gürültülerin oluşturduğu küçük dalga boylu olayların etkisini bastırmak ve daha derin yapıların etkilerini belirginleştirmek amacıyla rezidüel manyetik verilere  $h=3m$  yukarı analitik uzanım işlemi uygulanmıştır (Şekil 5).

Manyetik anomalilerden sınır analizleri değerlendirmesi kapsamında yukarı analitik uzanım verilerine tanımları yukarıda verilen AS, HGAS, TAHG ve IL yöntemleri uygulanmıştır. Uygulanan yöntemlere ilişkin elde edilen yapı sınır haritaları Şekil 6'da gösterilmiştir. Burada, Şekil 6'da gösterilen IL haritası,  $p=4$  katsayısı kullanılarak elde edilmiştir.



**Şekil 5.** Çalışma alanının ölçüm düzleminde 3 m yukarı analitik uzanım manyetik anomali haritası (upward continued magnetic anomaly map of the study area to an altitude of 3 m from the observation level)



**Şekil 6.** Çalışma alanı yapı sınır haritaları, a) AS, b) HGAS, c) TAHG, d) IL (p=4) (The edge detection maps of the study area, a) AS, b) HGAS, c) TAHG, d) IL (p=4))

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışma, GB Anadolu'da önemli bir tektonik yapı olan Menderes Masifinde yer alan Muğla ili Milas ilçesinin Kayabaşı köyünün güneyinde bulunan bir doğal zımpara taşı cevher alanında yeni zımpara taşı içeren alanların tespiti için yapılan bir jeofizik araştırmayı kapsamaktadır. Zımpara taşları bünyelerinde alüminyum ve demir mineralleri içermesinden dolayı ölçülebilir manyetik anomaliler verebilmektedir. Bu nedenle yapılan jeofizik etüt çalışmasında inceleme alanında potansiyel zımpara taşı içerebilecek alanların belirlenebilmesi için manyetik ölçümler gerçekleştirilerek bunların veri işlem aşamaları sonrasında çalışma sahasının rezidüel manyetik anomali haritası elde edilmiştir. Elden edilen rezidüel manyetik anomali haritasından anomalilere neden olan yapıların sınırlarını belirleyebilmek için AS, HGAS, TAHG ve IL olmak üzere 4 farklı sınır analiz yöntemi uygulanmıştır.

Elde edilen haritalar incelendiğinde, AS (Şekil 6a) ve HGAS (Şekil 6b) haritaları benzer özellikler göstermektedir. Buna göre AS ve HGAS haritalarında çalışma alanının doğu kesiminde KD-GB uzanımlı yüksek genlikli anomaliler gözlenmektedir. Gözlenen bu anomaliler muhtemel zımparataşı içeren alanlara karşılık geldiği düşünülmektedir. Söz konusu haritaların batı kesiminde gözlenen daha düşük genlikli anomaliler belirgin bir yapı sınırı yansıtmamaktadır. Buna karşın TAHG (Şekil 6c) ve IL (Şekil 6d) haritaları incelendiğinde ise, bunların yüksek genlikleri çalışma alanının hem doğu kesiminde hem de batı kesiminde görülmektedir. Dolayısı ile çalışma alanının batısındaki olası yapıların doğu kesimindeki yapılara göre daha derinlerde yer alabileceği düşünülmektedir.

Diğer yandan elde edilen yapı sınırı analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, haritalarda dairesel özellik gösteren sınırların yeraltında demir bakımından zengin irili ufaklı merceksi yapılardaki yüzey plaserleri şeklinde zımpara taşlarını temsil ettiği, buna karşın çizgisel uzanım gösteren sınırların ise yeraltında tabakalar arasına yerleşmiş zımpara kaynaklarına karşılık geldiği tahmin edilmektedir. Bu çalışmadan elde edilen manyetik anomalilere kaynak yapıların sınır analiz sonuçları, söz konusu maden sahasının bu inceleme alanındaki gömülü zımpara taşı araştırılmasına yönelik yapılacak kazı çalışmalarına rehberlik edebileceğini göstermektedir.

Diğer yandan bu çalışma manyetik anomalilerin yapı sınırı analizleri kapsamında değerlendirilirken, avantaj ve dezavantajları gözetilerek birden çok analiz tekniği sonuçlarının birlikte yorumlanmasının çalışma sahası hakkında daha ayrıntılı bilgiler sunabileceğini göstermektedir.

### **Teşekkür (Acknowledgement)**

Yazarlar, makalenin incelenmesi esnasında değerli yorum ve görüşleri ile makalenin geliştirilmesi yönünde gösterdikleri katkıdan dolayı Editör ve hakemlere teşekkür ederler.

### **Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### **Kaynaklar (References)**

- Arısoy, M.Ö., 2007. Düşey Ve Yatay Mağnetik Gradient Verilerin 3-Boyutlu Modellenmesi Ve Ters Çözümü, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129s, Sivas.
- Atchuta, R. D., Ram-Badu, H.V., Sanker-Narayan, P.V. 1981. Interpretation of magnetic anomalies due to dikes: The complex gradient method. *Geophysics*, 46, 1572-1578.
- Aydın I., Uyanık O., Öksüm E., Aydoğan M.S., 2011. Geophysical applications for Fe-rich emery exploration in the Elmacık area on the Menderes Massif (Turkey), *Exploration Geophysics*, 42, 159-166.
- Aydoğan, M.S., 2001. The research of the emery occurrences at the Elmacık, Mt İsmail (Muğla-Yatağan). Sciences Institute Suleyman Demirel University, M.Sc. Thesis, pp. 53 (in Turkish with English abstract).
- Baranov, V., 1957. A new method for interpretation of aeromagnetic maps: Pseudogravimetric anomalies. *Geophysics*, 22, 359-383.
- Barraud, J., 2013. Improving identification of valid depth estimates from gravity gradient data using curvature and geometry analysis. *First Break*, 31, 87-92.
- Bournas, N. and Baker, H.A., 2001. Interpretation of magnetic anomalies using the horizontal gradient analytic signal, *Annali Di Geofisica*, 44, 505-526.
- Brinkmann, R., 1966. Geotektonische Gliederung von West-Anatolien. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*. 1966, 603-618, Stuttgart.
- Chazan, W., 1946. Arsenopyritite deposits in Çine-Madran Babadağ (Aydın). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü report no. 1752, Ankara (unpublished, in Turkish and French).
- Calame, J.J., 1956. Iron mine deposits in the southern part of the Menderes Massif. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Report no 2485, Ankara.
- Cooper G.R.J. and Cowan D.R., 2006. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computers & Geosciences*, 32, 1585-1591.
- Cordell, L. and Grauch, V. J. S., 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico, in *The Utility of Regional Gravity and Magnetic Maps*, 1st edn, pp. 181-197, ed. Hinze, W.J., Society of Exploration Geophysicists.
- Çağlayan, M.A., Öztürk, E.M., Öztürk, Z., Sav, H., Akat, V., 1980. Menderes Masifi güneyine ait bulgular ve yapısal yorumu: *Jeoloji Mühendisleri Odası Dergisi*, 9, 17.
- Dora, O.Ö., Savaşçın, M.Y., Kun, N., Candan, O., 1987. Menderes Masifi'nde Postmetamorfik Plütonlar. *Yerbilimleri Dergisi*, 14, 79-87.
- Dürr, S., 1975. Über alter und geotektonische Stellung des Menderes Kristallin/SW-Anatolien und seine aequivalente in der mittleren Aegaeis. *Marburg/Lahn 198-75*, (Doçentlik Tezi).
- Evjen, H.M., 1936. The place of the vertical gradient in gravitational interpretations. *Geophysics*, 1(1), 127- 136.

- Fedi, M. and Florio, G., 2001. Detection of potential fields source boundaries by enhanced horizontal derivative method. *Geophysical Prospecting*, 49(1), 40–58.
- Feenstra, A., 1996. An EMP and TEM-AEM study of margarite, muscovite and paragonite in polymetamorphic metabauxites of Naxos (Cyclades, Greece) and the implications of fine-scale mica interlayering and multiple mica generations. *Journal of Petrology*, 37, 201–233.
- Feenstra, A., 1997. Zincohogbomite and gahnite in a diaspore-bearing metabauxite from eastern Samos (Greece): mineral chemistry, element partitioning and reaction relations. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 77, 73–93.
- Ferreira, F. J. F., de Souza, J., de Bongioiolo, A. B. e S., de Castro, L. G., 2013. Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle. *Geophysics*, 78(3), J33–J41.
- Graciansky, P.C., 1965. Menderes Masifi güney kıyısı boyunca görülen metamorfizma hakkında açıklamalar. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 64*, 88–121.
- Gümüş, A., Kokturk, U., Dayal, A., Ozer, S., 1999. Formation and economical potential of emery deposits in the south of the Menderes Massif. First Symposium on Raw Material Resources in western Anatolia, 8–14 March 1999, Izmir (in Turkish).
- Hansen, R.O., DeRidder, E., 2006. Linear feature analysis for aeromagnetic data. *Geophysics*, 71(6), L61–L67.
- Hsu, S.K., Coppense D, Shyu, C.T. 1996. High- resolution detection of geologic boundaries from potential field anomalies: An enhanced analytic signal technique. *Geophysics*, 61, 1947–1957.
- Kafadar, O., 2017. CURVGRAV-GUI: a graphical user interface to interpret gravity data using curvature technique. *Earth Science Informatics*, 10, 525–537.
- Kuşçu, M., 1992. Kestanecik ve Kızağaç (Yatağan-Muğla) mermer yatakları: Türkiye Mühendisler ve Mimarlar Odası Birliği Dergisi, 23–36 s.
- Miller, H.G. and Singh V., 1994. Potential field tilt a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32, 213–217.
- Nabighian, M.N., 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation, *Geophysics*, 37, 507–517.
- Nasuti, Y., Nasuti, A., Moghadas, D., 2018. STDR: A novel approach for enhancing and edge detection of potential field data. *Pure and Applied Geophysics*, 176(2), 827–841
- Orhon, Ş., 1985. Milas Boksit Sahalarında M+F firması hesabına yapılan çalışmalar. *Etibank Maden Arama Merkezi Arşiv No: 1076*, s. 10.
- Orhon, Ş. and Yılmaz, A., 1987. Kurukümes (Milas) zımpara yatağı arama raporu: *Etibank Maden Arama Merkezi Arşiv No: 1268*, s. 11.
- Önay, T., 1949. Über die Smirgelgesteine SW-Anatoliens. *Schw. Min. Petr. Mitt.*, Bd. XXIX, Zürich.
- Papazachos, B.C. and Comninakis, P.E., 1977. Modes of Lithospheric interaction in the Aegean area. Biju– Duval, B., Montadert, L. (eds.), *Structural History of the Mediterranean basins de: Editions Technip, Paris*, 319 – 332.
- Pham, L. T., Do, T. D., Oksum, E., 2018a. A new method for edge detection in interpretation of potential field data. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(4), 637–642.
- Pham, L.T., Oksum, E., Do, T.D., Le-Huy, M., 2018b. New method for edges detection of magnetic sources using logistic function. *Geofizichesky Zhurnal*, 40(6), 127–135.
- Pham, L.T., Oksum, E., Do, T.D., 2019. Edge enhancement of potential field data using the logistic function and the total horizontal gradient. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 54, 143–155.
- Pham, L.T., Van Vu, T., Le Thi, S., Trinh P.T., 2020. Enhancement of Potential Field Source Boundaries Using an Improved Logistic Filter. *Pure and Applied Geophysics*, 177(B7), <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02542-9>
- Phillips, J.D., Hansen, R.O., Blakely, R.J., 2007. The use of curvature in potential-field interpretation. *Exploration Geophysics*, 38, 111–119.
- Roest, W.R., Verhoef, J., Pilkington, M., 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57, 116–125.
- Schuling, R. D., 1962. Türkiye' nin Güneybatısındaki Menderes Migmatit Kompleksinin Petrolojisi, Yaşı ve Yapısı Hakkında: *Mineralogical-Geological Institute, Utrecht, Hollanda*.
- Smith, J.L., 1850. Memoir on metabauxite – First part on geology and mineralogy of metabauxites, from observations made in Asia Minor. *American Journal of Science*, 10, 354–369.
- Tuğal, H.T., 1964. Milas civarının diasporit ve zımpara yatakları. *M.T.A. Derleme No: 3446*, s. 55.
- Ünsal, A., Yılmaz, A., Yazgan, S. B., Ertürk, H., 1989. Muğla (Milas-Yatağan) Kızağaç, Kurukümes ve Elmacık Zımpara sahalarında 1988 yılında yapılan çalışmalarına ait rapor. *ETİBANK Maden Arama Dairesi Başkanlığı*, 62 s.
- Verduzco, B., Fairhead, J. D., Green, C. M. and MacKenzie, C., 2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge*, 23(2), 116–119.
- Wippert, J., 1965. Boksit Teşekkülünün başlangıç kayaları. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi*, 64, 37–41.
- Wijns, C., Perez, C., Kowalczyk, P., 2005. Theta map: Edge detection in magnetic data. *Geophysics*, 70, 39–43.
- Yalçın, Ü., Schreyer, W., Medenbach, O., 1993. Zn-rich högbomite formed from gahnite in the metabauxites of the Menderes Massif, SW Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 113, 314–324.



## GREEN SYNTHESIS OF SPHERICAL-SHAPED $Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}CO_3$ PARTICLES

Muslum DEMİR\*

Osmaniye Korkut Atal University, Engineering Faculty, Department of Chemical Engineering, Osmaniye, Turkey

### Keywords

*Nanoparticle,  
Hydrothermal Treatment  
Ni-Co-Mn Carbonate,  
 $Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}CO_3$*

### Abstract

In this study, we reported a simple and green manufacturing of a uniform, sphere-shaped  $[Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}]CO_3$  nanoparticles, which can be considered as a precursor for  $Li[Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}]O_2$ . Ni-Co-Mn carbonate particle was prepared via three steps, (1), the mixing metal sulfate salts with  $Na_2CO_3$  which, formed the primary precipitation, (2) the addition of  $(NH_4)_2CO_3$ , responsible for the increasing conversion rate, (3) the hydrothermal treatment lead to existing of recrystallization and spherical shape of  $[Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}]CO_3$  particles. The morphology and crystalline structure of the present material is characterized by Energy-dispersive X-ray Spectroscopy (EDS), Scanning Electron Microscopic (SEM) and X-ray diffraction (XRD). Analysis outcomes indicated that the particle's growth mechanism of spherical composition is depend on a dissolution-recrystallization process of metal salts and  $(NH_4)_2CO_3$  dissociation process. This study opens a green avenue to prepare cathode materials in the lithium-ion battery application.

## YEŞİL YÖNTEM İLE KÜRESEL $Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}CO_3$ PARÇACIKLARIN SENTEZİ

### Anahtar Kelimeler

*Nanopartikül,  
Hidrotermal,  
Ni-Co-Mn karbonat,  
 $Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}CO_3$*

### Öz

Bu çalışmada, tek tip, küre şeklinde bir  $[Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}]CO_3$  nanopartiküllerinin basit ve çevreye duyarlı sentez yöntemiyle üretilmesini çalışılmıştır. Ni-Co-Mn karbonat partikülü üç aşamada hazırlandı, (1), birincil sülfat oluşturan  $Na_2CO_3$  ile metal sülfat tuzlarının karıştırılması, (2) ekstra  $(NH_4)_2CO_3$  ilave edilmesi reaksiyonun gerçekleşmesine neden olan kimyasal, (3) hidrotermal metodu ile  $[Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}]CO_3$  partiküllerinin kristallenmesi ve küresel şeklinin oluşması. Mevcut malzemenin morfolojisi ve kristalin yapısı, Enerji-dağıtıcı X-ışını Spektroskopisi (EDS), Taramalı Elektron Mikroskopik (SEM) ve X-ışını kırınımı (XRD) ve ile karakterize edildi. Analiz sonuçları, parçacığın küresel yapı mekanizmasının, metal tuzlarının bir çözünme-yeniden kristalizasyon işlemine ve  $(NH_4)_2CO_3$  ayrışma işlemine dayandığını göstermiştir. Bu makelde yapılan araştırmalar ile, lityum iyon pilleri için katot materyalleri hazırlanmasında çevreye duyarlı hidrotermal yönteminin kullanılması bu konuda yeni yaklaşımlar açacaktır.

### Alıntı / Cite

Demir, M., (2021). Green Synthesis of Spherical-Shaped  $Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}CO_3$  Particles, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(1), 330-335.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Demir, 0000-0001-6842-8124

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	04.05.2020
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	25.03.2021
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	25.03.2021
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

## 1. Introduction

In the last decade, there is an increasing request for renewable and sustainable energy due to the the depletion of usage of fossil fuel source and consequent growth of environmental worries. Thus, the energy storage technology especially Li-ion batteries and supercapacitors have drawn a great deal of attention (Altinci and Demir 2020); (Demir, Tessema et al. 2018); (Demir, Ashourirad et al. 2018) (Ashourirad, Demir et al. 2018) (Demir, Farghaly et al. 2018) (Demir, Saraswat et al. 2017).  $LiCoO_2$  is the broadly applied active cathode electrode material for Li-ion

\* İlgili yazar / Corresponding author: muslumdemir@osmaniye.edu.tr, +90-328-8271-0000/3560

batteries (LIBs) thanks to its high capacity, high output voltage, and extraordinary cycling stability. (Kalluri, Yoon et al. 2017), (Kwak, Lim et al. 2020), (Park, Kim et al. 2010); (Li, Zhu et al. 2019) On the other hand, cobalt-oxide based cathode electrodes suffer from environmental issues and the costly market price of cobalt. (Gong and Yang 2011); (Shi, Xiao et al. 2018) These drawbacks have been urged to discover alternative cathode materials in replacement of  $\text{LiCoO}_2$  for Li-ion batteries such as layered rock salt structured  $\text{LiCoO}_2$  (Nayaka, Zhang et al. 2018), spinel structured  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , (Yan, Lin et al. 2020) layered  $\text{Li}[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{O}_2$ , (Jo, Ku et al. 2018) and olivine structured  $\text{LiFePO}_4$ , (Gong, Xue et al. 2016) etc. Among these materials, layered  $\text{Li}[\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_{1-x-y}]\text{O}_2$  is the most fascinating replacements of  $\text{LiCoO}_2$  due to high discharge capacity, operating voltage, high rate capability, proper structural and thermal resistivity, cycle-ability.. The high electrochemical performance of  $\text{Li}[\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_{1-x-y}]\text{O}_2$  is caused by the synergic effect of nickel, cobalt, and manganese elements. (Jo, Ku et al. 2018) Taking account of electrochemical activity, each element plays a crucial role in making important to balance the as-prepared composition. In detail, increasing the amount cobalt atoms suppress the cation mixing and enhances the stability of the structure while excess cobalt atoms result in capacity loss; introducing nickel atoms give an advantage of rising the capacity of the material, on contrary, excess of nickel limits proper cation mixing, cause to decrease the cycling stability; manganese in the composition improve the safety, but an excess of it leads to the structural deterioration. (Kim, Park et al. 2019)

Commonly,  $\text{Li}[\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_{1-x-y}]\text{O}_2$  is prepared from either  $[\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_{1-x-y}](\text{OH})_2$  or  $[\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_{1-x-y}](\text{CO}_3)$  precursors. (Liu, Tan et al. 2019) Not only the electrochemical performance but also phase purity, the crystallinity, particle morphology, textural properties, and cation distribution of  $\text{Li}[\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_{1-x-y}]\text{O}_2$  material extremely depends on the synthesis procedure of precursor. The conventional synthesis methods such as co-precipitation (Hou, Zhang et al. 2017), solid-state (Wang, Yin et al. 2017), sol-gel synthesis, (Zhu, Yang et al. 2019) etc., were usually applied in the synthesis of Ni-Mn-Co based materials. Unfortunately, each method has advantages and disadvantages due to the difficulties of controlling homogeneously and impurity of as-prepared materials through the synthesis pathway. For instance, the sol-gel synthesis method requires a high calcination temperature for a pure phase, which leads to undesirable particle growth. Considering this aspect, the co-precipitation approach has been reported to synthesize metal hydroxide precursor, which is a novel method to manufacture materials under milder conditions. Sol-gel synthesis offers easy controlling and various morphologies processes while the condition of such reaction is hardly controlled and too much reaction time is required. (Nayak, Erickson et al. 2018) Thus, it is urgent to find out a simple and controlled preparation method to obtain the materials with proper electrochemical activity, high crystallinity, and pure phase. Hydrothermal treatment is a promising method to increase material crystallinity and well-distributed cation into a composite (Shi, Zhang et al. 2018). This is because the hydrothermal reaction is performed at relatively a low temperature while maintaining high pressure in a closed container.

In the present paper, we synthesized  $[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{CO}_3$  precursor via hydrothermal treatment assisted co-precipitation process under relatively mild reaction conditions. Hydrothermal treatment was applied by converting primary precipitates into the spherical-like shape  $[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{CO}_3$  along with the presence of ammonium carbonate. Taking into account of exploring the synthesis procedure and mechanism, it was successfully controlled tuning of precursors with different morphological and physical properties.

### 3. Material and Method

#### 3.1. Experimental part

##### Materials and Method

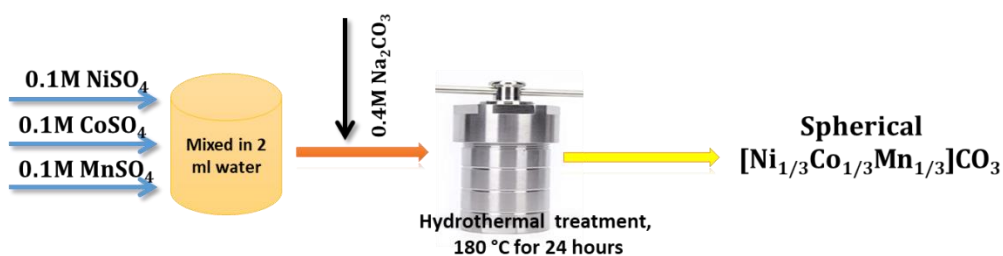
All chemicals including nickel sulfate hexahydrate ( $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 99.1%), cobalt sulfate heptahydrate ( $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 99.4%), manganese sulfate monohydrate ( $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 99%), ethanol, sodium carbonate, ammonium carbonate chemicals were used as an analytic grade. The deionized water (DI) as a solvent was used to prepare solutions throughout the hydrothermal process. In the typical experimental procedures for preparing  $[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{CO}_3$  as followed: first, 0.1M  $\text{NiSO}_4$ , 0.1M  $\text{CoSO}_4$ , and 0.1M  $\text{MnSO}_4$  salt solutions were dissolved separately in 2 ml water with magnetic stirring to keep the molar ratio of Ni:Co:Mn to 1:1:1 and mixed. These ratios are based on the reference Luo et al. (Tang, Lu et al. 2016). Then, as-prepared solutions were well-mixed with the 2 mL of 0.4M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  under 15 minutes magnetic stirring. Afterward, the primary nanoprecipitate  $[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{CO}_3$  in a slurry phase was obtained and quickly transferred into a 20 mL autoclave made of Teflon-lined stainless steel. Then, 4 ml 0.3 M  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  was poured into the same autoclave and sealed to protect oxidation from air. The hydrothermal treatment condition is set to 180 °C for 24 hours in the oven. After the hydrothermal process, materials were allowed spontaneous cooling until reaching room temperature. Finally, the precipitates were extracted from the aqueous dispersed solution via the centrifugation process, subsequently, washed with DI water, acetone and ethanol up to 5 times. The as-obtained solid material was dried in an oven at 90 °C 24 hours.

## Characterization

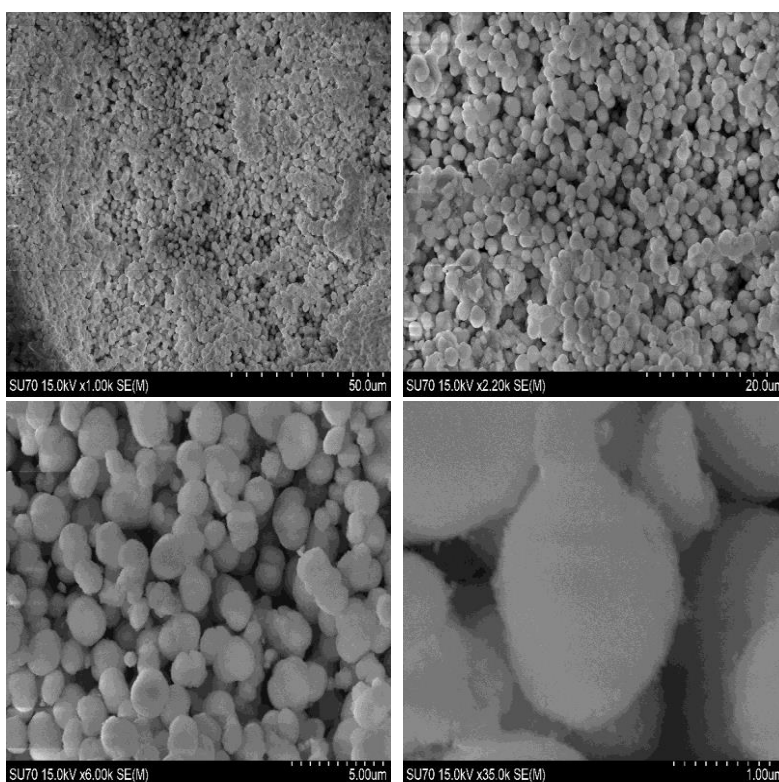
Scanning electron microscopy (SEM) images were analyzed by a Hitachi SU-70 instrumentation. The sample was processed by dispersing each specimen onto a sticky carbon surface, which attached to a flat sample holder. Then the sample was coated with platinum to increase conductivity at a pressure of  $10^{-5}$  mbar in an  $N_2$  atmosphere for 60 s before SEM imaging. Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) elemental mapping of Co, Mn and Ni was performed using the (SEM; EDAX HITACHI) with an acceleration voltage of 200 kV to probe the elemental distribution of the sample. The degree of crystallization was determined by collecting Powder X-ray diffraction patterns Siemens D5000 instrument operating at 40 kV and 40 mA, using Cu  $K\alpha$  radiation ( $k = 0.15406$  nm) by scanning  $2\theta$  ranging  $10\text{--}80^\circ$  in X-ray diffraction spectra.

## 5. Result and Discussion

In this paper, we are predominantly aimed to explore the effectiveness of hydrothermal method for manufacturing spherical Ni-Co-Mn carbonate nanoparticles. Figure 1 shows synthesis pathway of spherical Ni-Co-Mn carbonates nanoparticles. The production yield was found to be 85 % wt. based on the starting materials. To understand the evolution of morphology and degree of crystallization, SEM, X-ray diffraction (XRD), as well as EDS analysis, were conducted. Figure 2 depicts variable SEM images of  $[Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}]CO_3$  subsequently the hydrothermal treatment. It is seen that the hydrothermal treatment results in change surface morphology of present material. As it seen, an average size of 2–3  $\mu m$  uniform spherical particles was existed after hydrothermal treatment. It is important to note that egg-like particles around 600 nm size stick to main spherical particles were found to see the high-resolution SEM image.



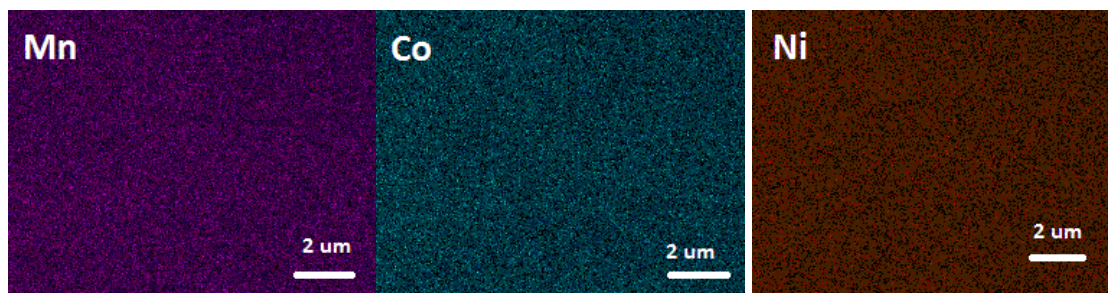
**Figure 1.** Synthesis pathway of spherical Ni-Co-Mn carbonates nanoparticles



**Figure 2.** SEM images of  $[Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}]CO_3$  particles



The elemental distribution profile of Ni, Co, and Mn elements on  $[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{CO}_3$  particles are presented in Figure 3. The blue, brown and purple dots show the elemental mapping of cobalt, nickel and manganese, respectively. The brightness scale of each color implies the intensity of the element signal. Moreover, uniform distribution reveals a successful uniform distribution of composition onto the spherical precipitates. Based on the EDS results, it is possible to manufacture uniform and well-distributed spherical Ni-Mn-Co carbonate particles at a size of micron along with the identical element ratio as the precursors via the hydrothermal treatment.



**Figure 3.** EDS mapping of  $[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{CO}_3$  particles

The energy dispersive spectroscopic EDS analysis reflects the elemental molar ratio of the composite approximately is Ni:Co:Mn = 0.30:0.29:0.27, which is close to the ratio of the starting materials presented in Table 1. The Ni:Co:Mn molar ratio is close to 1:1:1, which is agreed with XRD data.

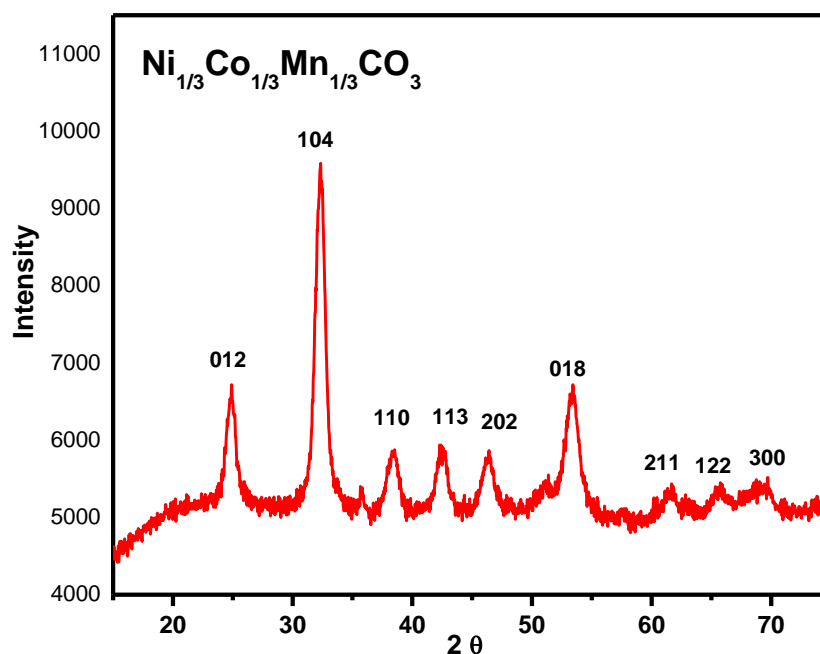
**Table 1.** Elemental composition of  $[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{CO}_3$

The starting ratio of Materials	Expected Formula	Ni	Co	Mn	C	O
Ni:Co:Mn = 1:1:1	$\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{CO}_3$	0.3015	0.2929	0.2680	2.65	11.12

Recently, core-shell structures for cathode materials have been gaining more attention, since the core-shell structure not only limits the existing of solid electrolyte interphase (SEI) but also hinder volume expansion. To explore the phase evolution of Ni-Mn-Co nanoparticles with hydrothermal treatment, the as-prepared sample was collected and subjected to XRD analysis. The crystalline peaks of identified using the  $\text{MnCO}_3$  standard JCPDS file number 83-1763 (Ryu, Lim et al. 2014). Figure 4 displays the XRD plot of  $[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{CO}_3$ . Although the different identified carbonate peaks were exist in the XRD characterization, the atomic distribution of Co, Ni and Mn and in the carbonate composite appears to be uniform in Figure 3 (the EDS mapping). Subsequently hydrothermal treatment, a well-crystalline structure has existed. As seen, variable crystalline phases were detected. Moreover, the XRD plot of  $[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{CO}_3$  is pretty accord with identical  $\text{MnCO}_3$  plot and presents comprehensive integrated lines that assign to the mixing of  $\text{CoCO}_3$ ,  $\text{NiCO}_3$ , and  $\text{MnCO}_3$ . (Tang, Lu et al. 2016).

Based on the experimental results, we proposed a schematic synthesis mechanism of  $[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{CO}_3$  nanoparticle. It was found that three facts govern spherical shape formation. First, the former nano-particles existed when mixing of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  with Ni, Mn and Co sulfate solution, where  $\text{CO}_3$  substituted with  $\text{SO}_4^{2-}$  molecules, it is important to bear in mind that former particles are not formed fully crystalline structure, second, the spherical nano-compostis are consist of nano-crystals as the latter precipitates along with crystalline structure distinguished from the former nano-particles; third,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  is responsible again developing for not only the dissolution and but also recrystallization processes. This mechanism is in accord with the previous proposal. (Tang, Lu et al. 2016) It was previously reported that the thermodynamics stability of the nanocrystals is better than the primary precipitates. (Tang, Lu et al. 2016), (Lee, Kang et al. 2004), Also, the  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  in solution may lead to dissociation for discharging  $\text{NH}_3$  to increase the conversion rate. (Myung, Lee et al. 2005) Moreover, four steps govern the conversion process: (1) metal sulfates dissolve in the solution to grow up to primary nano-precipitates; (2) the nuclei of secondary precipitates form and generate crystals (nano size) in aqueous solution; (3) the nanocrystals gradually aggregate to development of spherical particles in solution; finally (4) (Lee, Kang et al. 2004) while the primary precipitates are consuming, in solution, metal contents will decrease until the recrystallization process terminates because of restriction on thermodynamics equilibrium. It is important to note that, the addition of  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  would raise the relative amount of metals in solution, along with the conversion rate from the latter nano-crystal to crystal nanoparticles. Meanwhile, the  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  inhibits the development and aggregation of nano-size crystals to an extensive increasing of nanocrystal size and the size of their aggregation. It should be kept in mind that the conversion rate is essential for controlling the growth and aggregation of as-prepared nanoparticles to form a fully crystalline structure, and it extends the size distribution of the as-prepared

material. Nonetheless, further investigation is required to control the growth and aggregation of nanocrystals (Tang, Lu et al. 2016).



**Figure 4.** XRD patterns of  $[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{CO}_3$  powders.

## Conclusions

In this paper, we reported a simple and green approach to synthesize well-distributed and spherical-like particles of  $[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{CO}_3$ , which is an essential precursor for preparing  $\text{Li}[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{O}_2$ . The controllable hydrothermal treatment method was applied to convert Ni-Co-Mn sulfate salt to Ni-Co-Mn carbonate nanoparticles. Notably, the simple hydrothermal treatment along with the co-precipitated process led to the existence of spherical nano crystal  $[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{CO}_3$  powder. Upon the characterization techniques, it was suggested that the mechanism of crystal particle formation is based on a dissolution-recrystallization process. As a result, a present study can enlighten away for the preparation of cathode electrode materials by engaging this strategy and it would be applied in next-generation Li-ion battery technology.

## Acknowledgment

This work was supported by Virginia Commonwealth University, Department of Chemical and Life Science Engineering. Thanks to Prof. Dr. Ram B. Gupta for his endless support.

## Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

## References

- Altinci, O. C. and M. Demir (2020). "Beyond Conventional Activating Methods, a Green Approach for the Synthesis of Biocarbon and Its Supercapacitor Electrode Performance." *Energy & Fuels* **34**(6): 7658-7665.
- Ashourirad, B., M. Demir, R. A. Smith, R. B. Gupta and H. M. El-Kaderi (2018). "Rapid transformation of heterocyclic building blocks into nanoporous carbons for high-performance supercapacitors." *Rsc Advances* **8**(22): 12300-12309.
- Demir, M., B. Ashourirad, J. H. Mugumya, S. K. Saraswat, H. M. El-Kaderi and R. B. Gupta (2018). "Nitrogen and oxygen dual-doped porous carbons prepared from pea protein as electrode materials for high performance supercapacitors." *International Journal of Hydrogen Energy* **43**(40): 18549-18558.
- Demir, M., A. A. Farghaly, M. J. Decuir, M. M. Collinson and R. B. Gupta (2018). "Supercapacitance and oxygen reduction characteristics of sulfur self-doped micro/mesoporous bio-carbon derived from lignin." *Materials Chemistry and Physics* **216**: 508-516.
- Demir, M., S. K. Saraswat and R. B. Gupta (2017). "Hierarchical nitrogen-doped porous carbon derived from lecithin for high-performance supercapacitors." *Rsc Advances* **7**(67): 42430-42442.

- Demir, M., T. D. Tessema, A. A. Farghaly, E. Nyankson, S. K. Saraswat, B. Aksoy, T. Islamoglu, M. M. Collinson, H. M. El-Kaderi and R. B. Gupta (2018). "Lignin-derived heteroatom-doped porous carbons for supercapacitor and CO<sub>2</sub> capture applications." *International Journal of Energy Research* **42**(8): 2686-2700.
- Gong, C., Z. Xue, S. Wen, Y. Ye and X. Xie (2016). "Advanced carbon materials/olivine LiFePO<sub>4</sub> composites cathode for lithium ion batteries." *Journal of Power Sources* **318**: 93-112.
- Gong, Z. and Y. Yang (2011). "Recent advances in the research of polyanion-type cathode materials for Li-ion batteries." *Energy & Environmental Science* **4**(9): 3223-3242.
- Hou, P., H. Zhang, Z. Zi, L. Zhang and X. Xu (2017). "Core-shell and concentration-gradient cathodes prepared via co-precipitation reaction for advanced lithium-ion batteries." *Journal of Materials Chemistry A* **5**(9): 4254-4279.
- Jo, M., H. Ku, S. Park, J. Song and K. Kwon (2018). "Effects of Residual Lithium in the precursors of Li [Ni<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>] O<sub>2</sub> on their lithium-ion battery performance." *Journal of Physics and Chemistry of Solids* **118**: 47-52.
- Kalluri, S., M. Yoon, M. Jo, S. Park, S. Myeong, J. Kim, S. X. Dou, Z. Guo and J. Cho (2017). "Surface Engineering Strategies of Layered LiCoO<sub>2</sub> Cathode Material to Realize High-Energy and High-Voltage Li-Ion Cells." *Advanced Energy Materials* **7**(1): 1601507.
- Kim, J.-H., K.-J. Park, S. J. Kim, C. S. Yoon and Y.-K. Sun (2019). "A method of increasing the energy density of layered Ni-rich Li [Ni<sub>1-2x</sub>Co<sub>x</sub>Mn<sub>x</sub>] O<sub>2</sub> cathodes (x= 0.05, 0.1, 0.2)." *Journal of materials chemistry A* **7**(6): 2694-2701.
- Kwak, D., W.-G. Lim, K. Shin, I. W. Cheong, J. Lee and J. Joo (2020). "Solid-state conversion of metal oleate precursors for the preparation of LiNi<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>O<sub>2</sub> as cathode material for lithium-ion batteries." *Korean J. Chem. Eng* **37**(2): 1-9.
- Lee, M.-H., Y.-J. Kang, S.-T. Myung and Y.-K. Sun (2004). "Synthetic optimization of Li [Ni<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>] O<sub>2</sub> via co-precipitation." *Electrochimica Acta* **50**(4): 939-948.
- Li, S., K. Zhu, J. Liu, D. Zhao and X. Cui (2019). "Porous LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> microspheres with different pore size: preparation and application as cathode materials for lithium ion batteries." *Journal of Electrochemical Energy Conversion and Storage* **16**(1).
- Liu, M.-Y., J. Tan, W.-S. Deng, Y.-F. Su, L. Chen and L. Liu (2019). Synthesis of spherical Ni<sub>0.8</sub>Co<sub>0.1</sub>Mn<sub>0.1</sub>(OH)<sub>2</sub> precursor via hydrothermal method assisted by microfluidics. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing.
- Myung, S.-T., M.-H. Lee, S. Komaba, N. Kumagai and Y.-K. Sun (2005). "Hydrothermal synthesis of layered Li [Ni<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>] O<sub>2</sub> as positive electrode material for lithium secondary battery." *Electrochimica acta* **50**(24): 4800-4806.
- Nayak, P. K., E. M. Erickson, F. Schipper, T. R. Penki, N. Munichandraiah, P. Adelhelm, H. Sclar, F. Amalraj, B. Markovsky and D. Aurbach (2018). "Review on challenges and recent advances in the electrochemical performance of high capacity Li-and Mn-rich cathode materials for Li-ion batteries." *Advanced Energy Materials* **8**(8): 1702397.
- Nayaka, G., Y. Zhang, P. Dong, D. Wang, K. Pai, J. Manjanna, G. Santhosh, J. Duan, Z. Zhou and J. Xiao (2018). "Effective and environmentally friendly recycling process designed for LiCoO<sub>2</sub> cathode powders of spent Li-ion batteries using mixture of mild organic acids." *Waste Management* **78**: 51-57.
- Park, J.-H., J.-S. Kim, E.-G. Shim, K.-W. Park, Y. T. Hong, Y.-S. Lee and S.-Y. Lee (2010). "Polyimide gel polymer electrolyte-nanoencapsulated LiCoO<sub>2</sub> cathode materials for high-voltage Li-ion batteries." *Electrochemistry Communications* **12**(8): 1099-1102.
- Ryu, W.-H., S.-J. Lim, W.-K. Kim and H. Kwon (2014). "3-D dumbbell-like LiNi<sub>1/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>O<sub>2</sub> cathode materials assembled with nano-building blocks for lithium-ion batteries." *Journal of Power Sources* **257**: 186-191.
- Shi, J. L., D. D. Xiao, M. Ge, X. Yu, Y. Chu, X. Huang, X. D. Zhang, Y. X. Yin, X. Q. Yang and Y. G. Guo (2018). "High-Capacity Cathode Material with High Voltage for Li-Ion Batteries." *Advanced Materials* **30**(9): 1705575.
- Shi, Y., M. Zhang, C. Fang and Y. S. Meng (2018). "Urea-based hydrothermal synthesis of LiNi<sub>0.5</sub>Co<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.3</sub>O<sub>2</sub> cathode material for Li-ion battery." *Journal of Power Sources* **394**: 114-121.
- Tang, Y., Y. Lu and G. Luo (2016). "Controllable Hydrothermal Conversion from Ni-Co-Mn Carbonate Nanoparticles to Microspheres." *Crystals* **6**(11): 156.
- Wang, Z., Y. Yin, Y. Ren, Z. Wang, M. Gao, T. Ma, W. Zhuang, S. Lu, A. Fan and K. Amine (2017). "High performance lithium-manganese-rich cathode material with reduced impurities." *Nano Energy* **31**: 247-257.
- Yan, B., S. Lin, L. Kang, X. Song, Z. Tian and K. Jiang (2020). "Spinel structured LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> prepared by laser annealing." *Materials Technology*: 1-6.
- Zhu, L., G. Yang, J. Liu, C. Bao, L. Xie and X. Cao (2019). "Ethylene Glycol-Assisted Sol-Gel Method for Preparing LiNi<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>O<sub>2</sub> as Cathode Material for Lithium-Ion Batteries with Excellent Electrochemical Performance." *ChemistrySelect* **4**(39): 11475-11482.



## BİR MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİNİN FARKLI İÇ ORTAMLARINDAN TOPLANAN TOZ ÖRNEKLERİNDEKİ PAH VE PCB'LERİN SEVİYELERİNİN VE KAYNAKLARININ İNCELENMESİ

Sema YURDAKUL<sup>1\*</sup>, Işıl ÇELİK<sup>2</sup>, Banu ÇETİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup> Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAHlar), Poliklorlu Bifeniller (PCBler), Faktör analizi (FA), İç Ortam Tozu, İç Ortam Kirliliği.*

### Öz

Süleyman Demirel Üniversitesi (SDÜ) Mühendislik Fakültesinde, önceden belirlenen 23 noktada toz örnekleri 2017 yazı boyunca toplanmış ve örneklerdeki PAH ve PCB'ler solvent ekstraksiyon yöntemi ile ayrılarak, deriştirilmiş, temizleme/ayırma kolonu metoduyla girişim yapan bileşiklerden temizlenerek hazırlanan örnekler Gaz Kromatografisi/ Kütle Spektrometresi (GC/MS) cihazı ile analiz edilmişlerdir. Çalışmada elde edilen PAH ve PCB konsantrasyonları oldukça değişkenlik göstermişlerdir. Toplam PAH konsantrasyonu ( $\Sigma 16\text{PAH}$ ) 247,14 ile 14162,65 ng g<sup>-1</sup> aralığında (kuru ağırlıkta) değişmektedir (ORT $\pm$ SS; 2161,27  $\pm$  3118 ng g<sup>-1</sup>). Toplam PCB konsantrasyonu ( $\Sigma 41\text{PCB}$ ) ise 2,06 ile 495 ng g<sup>-1</sup> aralığında (kuru ağırlık) değişmektedir (ORT $\pm$ SS; 74,72 $\pm$ 107,67 ng g<sup>-1</sup>). Çalışmada ayrıca hedef organik kirleticilerin kaynaklarını belirlemek amacıyla Faktör Analizi (FA) gerçekleştirilmiş ve PAH'lar için iki PCB'ler içinse üç kaynak elde edilmiştir. Faktör Analizi sonuçlarına göre SDÜ Mühendislik Fakültesi iç ortam tozundaki PAHların ana kaynağının trafik ve fakülte içerisindeki aktiviteler olduğu, PCB'lerin ise yine fakülte içerisinde gerçekleştirilen aktiviteler, boyalar ve kullanılan teknik solventler olduğu görülmüştür. Ayrıca ofislerinde sigara kullanan akademik/idari personelin PCB maruziyeti açısından içmeyenlere kıyasla daha fazla potansiyel bir risk taşıdıkları görülmüştür.

## INVESTIGATION OF THE LEVELS AND SOURCES OF PAH AND PCBs IN DUST SAMPLES COLLECTED FROM DIFFERENT MICROENVIRONMENTS OF A FACULTY OF ENGINEERING

### Keywords

*Polycyclic Aromatic hydrocarbons (PAHs), Polychlorinated Biphenyls (PCBs), Factor Analysis (FA), Indoor Dust, Indoor Pollution.*

### Abstract

Indoor dust samples were collected from previously identified 23 points in Suleyman Demirel University (SDU) Engineering Faculty Building in 2017 summer and organic compounds were extracted from collected dust samples by solvent extraction method, then extracts were concentrated and they were cleaned-up by column chromatography method and finally prepared samples were analyzed by Gas Chromatography/Mass Spectroscopy instrument. In the study, the obtained both PAH and PCB concentrations displayed great variability. Total PAH concentration were between ( $\Sigma 16\text{PAH}$ ) 247.14 and 14162.65 ng g<sup>-1</sup> (in dry weight) (avg  $\pm$  sd; 2161.27  $\pm$  3118 ng g<sup>-1</sup>), total PCB concentrations were between ( $\Sigma 41\text{PCB}$ ) 2.06 and 495 ng g<sup>-1</sup> (in dry weight) (avg $\pm$ sd; 74.72 $\pm$ 107.67 ng g<sup>-1</sup>). In the study, to determine the sources of target pollutants, Factor Analysis (FA) was also performed. Factor Analysis revealed two sources for PAHs and three sources for PCBs. According to the results of the Factor Analysis, it was observed that the traffic and activities performed in the faculty building were the sources of the measured PAHs, activities in the building, paints and technical solvents were the sources of the PCBs in the indoor dust of building. Furthermore, it was seen that academic/administrative personnel who smoke in their offices had a potential risk in terms of PCB exposure as compared to non-smokings.

\* İlgili yazar / Corresponding author: semayurdakul@sdu.edu.tr, +90-246-211-1282

**Alıntı / Cite**

Yurdakul, S., Çelik, I., Çetin, B., (2021). Bir Mühendislik Fakültesinin Farklı İç Ortamlarından Toplanan Toz Örneklerindeki PAH ve PCBlerin Seviyelerinin ve Kaynaklarının İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 336-347.

**Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)**

S. Yurdakul, 0000-0002-1728-1588  
I. Çelik, 0000-0001-9651-3393  
B. Çetin, 0000-0002-4641-1652

**Makale Süreci / Article Process**

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	06.10.2020
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	19.01.2021
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	27.01.2021
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.03.2021

**1. Giriş (Introduction)**

İnsanlar dış ortamda; sanayi tesislerinden, trafik ve evsel kaynaklardan atmosfere yayılan birçok kirleticiye maruz kalmaktadırlar. Bu kirleticilerin taşınimleri, konsantrasyonları, kaynak katkıları ve sağlık riskleri ile ilgili çeşitli araştırmalar gerçekleştirilmekte ve çıkarılan yönetmeliklerle kirleticilerin çevreye salınması engellenmektedir. Ancak modern toplumlarda insanlar zamanlarının %90'a yakın kısmını (% 87,2 iç ortamlarda, % 7,2 araçlarda ve % 5,6 dış ortamlarda) ev, ofis, üniversite, okul, kreş, alış-veriş merkezi, kafeler, spor salonları ve internet kafe gibi iç ortamlarda geçirdiklerinden dolayı iç ortamda bulunan kirleticilere daha çok maruz kalmaktadırlar (Wallace, 1996; DellaValle vd., 2013).

İç ortam havasındaki kirleticiler; insanların günlük aktiviteleri, iç ortamda bulunan malzemelerin salınımları ve dışarıdan iç ortama sızan dış ortam havası gibi çeşitli etkenlerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Günümüzde iç mekanlarda yer alan tüketim malzemelerinin, kişisel bakım ürünlerinin, mobilyaların, duvar boyalarının, bina ve bina yalıtım malzemelerinin üretimi sırasında bir çok kimyasal kullanılmaktadır. Dolayısıyla; gelişen teknolojiye paralel olarak günlük hayatımıza giren kimyasalların hem sayısı hem de miktarı her geçen gün artış göstermektedir. Bunun sonucunda da insanların maruz kaldığı kirletici miktarı da her geçen gün artmaktadır. Günlük hayatta kullanılan kimyasalların sayısının ve miktarının artması, iç ortamlarda geçirilen sürelerin uzaması ve enerji verimliliğini arttırmak adına daha yalıtımlı binaların yapılması sonucu bu maruziyet son yıllarda daha da artış göstermiştir (Yurdakul vd., 2018).

Üniversite yerleşkeleri çok sayıda öğrenci ve personel barındırmaları, bu kişilerin uzun süre iç ortamda bulunmaları ve ofislerde bulunan çeşitli donanıma ilaveten laboratuvarlarda kullanılan malzemeler ve kimyasallar iç ortam kirlilik seviyelerini daha da arttırmaktadır. Bu durumda iç ortamda geçirilen süreler de göz önüne alındığında iç ortam havasının dış ortama kıyasla insan maruziyeti açısından daha çok etkili olduğu anlaşılmaktadır (Payne-Sturges vd., 2004; Mitchell vd., 2007; Jia vd., 2008).

Atmosferde yaygın olarak gözlenen birçok Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH) bileşiğinin mutajenik ve/veya kanserojenik etkilerinin bulunduğu bilinmektedir (Vu vd., 2011). Poliklorlu Bifenillerin (PCB'lerin) toksik ve insan sağlığı üzerinde kronik etkileri olduğu, potansiyel kanserojen oldukları ve bağlı bulunan klor sayısının artması ile toksik etkilerinin arttığı bilinmektedir. Atmosferde gaz ve parçacık fazlarında bulunabilen bu kirleticiler gerek deri yolu ile gerekse solunum sistemi ile canlı bünyesine girebilmektedir. Diğer yandan çökelmiş PAH bileşikleri ve PCB'ler ise yüzeysel ve yeraltı suları ile besin zincirine geçebilmekte ve bu şekilde canlı yaşamını olumsuz etkileyebilmektedir. Çeşitli eksik yanmadan kaynaklanan PAH'ların potansiyel mutajen ve/veya kanserojen oldukları literatürde çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur (Chen vd., 2012). PCB'lerin 1970'lerde tüm dünyada kullanılması yasaklanmasına veya üretimi sınırlandırılmasına rağmen, günümüzde çevremizde varlıklarını sürdürmekte ve PCB ile kirlenmiş bölgelerde ve/veya binalarda yaşayan, PCB ile kirlenmiş besinleri, suyu tüketen ve/veya havayı soluyan insanlar/canlılar için tehlike oluşturmaya devam etmektedir (Marabini vd., 2011; Robertson vd., 2011).

Literatürdeki çalışmaların daha ziyade okullar ve konutlar üzerinde yoğunlaştığı (Wilson vd., 2004; Kang vd., 2010; Ali vd., 2014; Whitehead vd., 2014a; Whitehead vd., 2014b; Yang vd., 2015; Civan ve Kara, 2016) görülmele birlikte literatürde üniversitelerde gerçekleştirilmiş az sayıda yayına da rastlanmaktadır. Şangay'da bir üniversitede gerçekleştirilen çalışmada dersliklerden ve kantinlerden toplanan iç ortam örneklerinde 18 PAH'ın seviyeleri araştırılmış ve toplam PAH seviyesi 9,84 ile 21,44 µg g<sup>-1</sup> arasında bulunmuştur. Çalışmada ayrıca PAH'lar için bir sindirim yolu sağlık riski çalışması gerçekleştirilmiş ve bunun sonucunda üniversitede toplanan tozlardaki PAH seviyelerinin sindirim yoluyla insan sağlığını riske atacak seviyede olduğunu belirtmişlerdir (Peng vd., 2012). Bu çalışmanın amaçları; SDÜ Mühendislik fakültesinde toplanan toz örneklerindeki EPA'nın öncelikli kirleticiler listesinde yer alan 16 adet Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH'lar) ile Stockholm Sözleşmesi "kirli düzine" kirleticilerinden olan Poliklorlu Bifenillerin (PCB'ler) kantatif olarak ortaya çıkarılması ve bu kirleticilerin kaynaklarının belirlenmesidir.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

#### 3.1. Örnekleme (Sampling)

Bu çalışma kapsamında Süleyman Demirel Üniversitesi Kampüsünde yer alan Mühendislik Fakültesi binasında seçilen 23 noktadan alınan toz örneklerindeki PAH ve PCB'lerin (Tablo 1) seviyeleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında hedef olarak belirlenen kirleticiler Tablo 1'de verilmiştir. Çalışmada, 2017 yılı yazında farklı mikro çevrelerden; 4 ofis, 5 derslik, 4 laboratuvar, 4 öğrenci ortak çalışma alanı, 1 teknik resim salonu, 1 bilgisayar laboratuvarı ve 4 tane de dış ortamdan; binanın dört bir çevresinde bulunan beton tretuvarların üzerinden olmak üzere toplamda 23 adet örnekleme noktasından iç ortam ve dış ortam toz örneği toplanmıştır. Örnekler iç mekânlarda yer döşemeleri üzerinde biriken tozlar toplanarak oluşturulmuştur. Mekânların her bir köşesinden farklı farklı toplanarak homojen hale gelecek şekilde karıştırılmıştır. Örnekleme yapılan derslik, ofis, laboratuvar ve çalışma alanlarının boyutları birbirinden farklıdır. Fakat örnek alınırken her bir mekândan aynı miktarda örnek alınmaya çalışılmıştır.

Örnekler önceden aseton ile temizlenmiş metal fırça ve faraş ile toplanıp işlem göreceği zamana kadar buzdolabında -4 °C'de kavanozda saklanmıştır.

**Tablo 1.** Bu çalışmada ölçülen organik kirleticiler (The target organic compounds)

Ölçülecek Organik Parametreler	
PAH'lar	PCB'ler
Naphthalene	PCB-18,17
Acenaphthylene	PCB-31,28
Acenaphthene	PCB-33,52
Fluorene	PCB-49,44
Phenanthrene	PCB-74,70
Anthracene	PCB-95,101
Fluoranthene	PCB-99,87
Pyrene	PCB-110,82
Benz(a)anthracene	PCB-151,149
Chrysene	PCB-118,153
benzo(b)fluoranthene	PCB-132,105
benzo(k)fluoranthene	PCB-138,158
Benzo(a)pyrene	PCB-187,183
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	PCB-128,177
Dibenz(a,h)anthracene	PCB-171,156
Benzo(g,h,i)perylene	PCB-180,181
	PCB-169,170
	PCB-199,208
	PCB-195,194
	PCB-205,206
	PCB-209

#### 3.2. Örneklerin Analize Hazırlanması (Preparation of Samples)

Örnekler ekstraksiyondan önce kırıntılardan arındırmak için 0,5 mm gözenek çaplı bir elekten geçirilmiş ve 5 g tartılarak 30 mL aseton:hegzan (1:1) karışımı ile bir gece bekletilerek 60 dakika süre ile ultrasonik banyoda tek aşamalı olarak ekstrakte edilmişlerdir. Tüm örnekler ekstraksiyon işleminden önce geri dönüşüm verimini bulmak için Surrogate Standard eklenmiştir. Bu amaçla PAH'lar için naftalen D-18, asenaften D-10, fenantren D10, krisen D-12 ve perilen D-12; PCBler içinse PCB-14, -65 ve -166 kullanılmıştır. Kalite kontrol/Kalite güvence (KK/KG) açısından örneklerle aynı işlemlere tabi tutulan şahit (blank)de örnekleme noktasından laboratuvara götürülerek örnekler ile aynı işleme tabi tutulmuştur. Bu çalışmada solvent şahit numuneleri de organik kirleticileri izlemesi bakımından şahit numuneler olarak kullanılmışlardır.

Ekstrakte edilen örnekler döner buharlaştırıcı kullanılarak hacmi 5 ml'ye azaltılmış ve hegzan ilave edilerek solvent değişimi yapılmıştır. Daha sonra hacim yüksek saflıkta azot gazı kullanılarak 2 ml'ye düşürülmüştür. Alümina- silisik asit kolonundan geçirilen örnekler burada temizlenip fraksiyonlara ayrılmıştır. Bunun için % 4,5 deiyonize su ile deaktive olmuş 3 gr silisik asit, %6 deiyonize su ile deaktive olmuş 2 gr alümina kullanılmıştır. Sırasıyla temizleme kolonuna cam yünü, silisik asit, alümina ve mevcut nemi tutması için sodyum sülfat konulmuştur. Kolon önce 20 mL diklorometan ile sonra 20 mL petrolüym eteri ile yıkanmış, sonrasında 2 mL örnek

ilave edilmiştir. Bu aşamadan sonra 40 mL'lik amber renkli teflon kapaklı vialler kolonun altına konularak temizlenmiş örnekler toplanmıştır. 35mL petrolüym eteri ile PCB'ler bir vialde, 20 mL diklorometan ile PAH'lar da ayrı bir vialde toplanarak işlem tamamlanmıştır. Nihai örnekler hegzan içerisine toplanmıştır. Bunun için azotla uçurma sırasında solvent değişimi işlemi yapılmıştır. Örnek hacmi 5 ml'ye düştüğünde 10 ml hegzan ilave edilerek ve bu işlem 2 defa tekrar edilmiştir. Son hacim 1 ml'ye düşürülen örnekler ekstraksiyondan sonra 2000 rpm'de 10 dakika boyunca santrifüjlenmiş ve analize hazır hale getirilmiştir. KK/KG açısından örnekleme dönemine ait 3 adet solvent şahit (blank) ve 3 adet field blank örnek de aynı işleme tabi tutulmuştur.

### 3.3. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

PAH ve PCB analizleri Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde mevcut olan Agilent (6890N) marka gaz kromatografisi/kütle spektrometrisi (5973 inert MSD) (GC/MS) cihazı kullanılarak yapılmıştır. HP5-ms (30 m, 0.25 mm, 0.25 µm) kolon kullanılmıştır. Cihaz Elektron Etki (EI) İyonizasyon modunda çalıştırılmış ve taşıyıcı gaz olarak da helyum kullanılmıştır. Analiz sırasında kalibrasyonun bozulup bozulmadığı her 12 saate bir analizlenen orta değerdeki standartla (mid-point) teyit edilmiştir. Yüzde 10'dan daha fazla olan sapmalarda ise cihaz tekrar kalibre edilmiştir. Analiz sırasında enjektör, iyon kaynağı ve kuadropol sıcaklıkları PAH'lar için sırasıyla 295, 300 ve 180 °C olarak, PCB'ler içinse 250, 230 ve 150 °C olarak ayarlanmıştır. PAH'lar için başlangıçta fırın 50 °C'de bir dakika bekletilmiş, daha sonra fırın sıcaklığı 25 °C/dak ramp ile 200 °C'ye, sonra 8 °C/dak ramp ile 300°C'ye çıkarılmış ve 5,5 dakika bu sıcaklıkta bekletilmiştir. PCB'ler içinse fırın sıcaklığı 70 °C'de 2 dakika bekletilmiş, daha sonra fırın sıcaklığı 25 °C/dak ramp ile 150 °C'ye, sonra 3 °C/dak ramp ile 200°C'ye ve 8 °C/dak ramp ile 280°C'ye çıkarılmış ve 10 dakika bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Tüm örnekler splitless modda 1 µl olarak GC/MS'e enjekte edilmişlerdir.

Surrogatelerin analitik geri dönüşüm verimleri % 40 (naftalin D-8), % 45 (asenaften D-10), % 53 (fenantren D-10), % 58 (krise D-12) ve % 58 (perilen D-12) olarak bulunmuştur. Literatürde PAH'ların toprak/sediman örneklerindeki geri dönüşüm oranları % 50 ile %130 arasında değiştiği görülmektedir (Song vd., 2002; Martinez vd., 2004; Barco-Bonilla vd., 2009; Yamada vd., 2009; Tuncel ve Topal, 2011; Delgado-Marín vd., 2013; Wei et al., 2014; Frantz vd., 2015; Zhang vd., 2015; Markowicz vd., 2016). Çalışmada elde edilen geri dönüşüm oranları literatürle karşılaştırılabilir bulunmakla birlikte deuterated PAH'ların geri dönüşüm oranlarının düşük bulunmasının sebebinin literatürde de belirtildiği üzere (Song vd., 2002; Martinez vd., 2004; Cavalcante vd., 2008), ekstraksiyon sırasında ultrasonik banyonun kullanılması, polaritesi aynı olan hegzanın fraksiyona ayırma işleminden veyahut örneklerin toprakta değil de ev tozunda toplanmış (ekstraksiyon sırasındaki buharlaşmalar/kayıplar) olduğu düşünülmektedir. PCB'ler içinse geri dönüşüm verimleri % 92 (PCB-14), % 100 (PCB-65) ve % 82 (PCB-166) olarak bulunmuştur.

KK/KG açısından her örnekleme kampanyasında 5 adet şahit numune toz numuneleri ile aynı işlemlere tabi tutmuşlardır. Örneklerdeki PAH değerleri şahitlerdeki PAH değerlerinden 5 kat (asenaftalin) - 37 kat (benzo(b)florantin) daha fazla bulunmuştur. Örneklerdeki PCB değerleri ise blanklerdeki PCB değerlerinden 5 kat (PCB-18) - 329 kat (PCB-156) daha fazla bulunmuştur.

Enstrümental tayin sınırları PAH'lar için 0,03 µg/kg, PCB'ler içinse 0,02 µg/kg olarak bulunmuştur. Tayin sınırının belirlenmesinde ise blanklerdeki değerlerin standart sapmasının 3 katı alınıp ortalama değerle toplanmıştır. Buna göre tayin sınırları PAH'lar için 0,44 µg/kg (benzo[a]antrasen) ile 26 µg/kg (fenantren) arasında, PCB'ler için 0,04 µg/kg (PCB-31) ile 0,06 µg/kg (PCB-18) arasında bulunmuştur.

### 4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Bu çalışmada hedef PAH'lara ait istatistiksel değerler Tablo 2'de verilmiştir. Çalışmada 16 PAH ölçülmüştür. Örneklerde fenantren en fazla elde edilen PAH türü olurken, bunu naftalen, floranten, piren, floren, ve asenaftalin izlemektedir. Bu kirleticilerin toplam PAH konsantrasyonlarına katkıları sırasıyla % 34,0±12,5 (fenantren), % 20,1±21,3 (naftalen), %13,5±5,0 (floranten), % 8,8± 2,3 (piren), 4,0±1,6 (floren) ve 3,4±3,1 (asenaftalin) olarak bulunmuştur. Toplam PAH konsantrasyonu (Σ16PAH) 247,1 ile 14162,6 ng g-1 aralığında (kuru ağırlıkta) değişmektedir (ORT±SS; 2161,3±3118 ng g-1). Elde edilen PAH konsantrasyonları oldukça değişkenlik göstermektedirler (Tablo 2). En düşük ve en yüksek elde edilen konsantrasyonlar arasında yaklaşık 57 kat fark vardır. Tüm örnekleme boyunca, elde edilen PCB toz konsantrasyonları Tablo 3'te sunulmuştur. Elde edilen PCB konsantrasyonları oldukça değişkenlik göstermektedir. Toplam PCB konsantrasyonu (Σ 41PCB) 2,1 ile 495 ng g-1 aralığında (kuru ağırlık) değişmektedir (ORT±SS; 74,7 ± 107,6 ng g-1). PCB-169 (% 29,6±20,82) en fazla elde edilen PCB olurken, bunu PCB-156 (%8,1±13,61), PCB-128 (% 7,4±6,48) ve PCB-195 (% 6,6±13,8) izlemektedir.

**Tablo 2.** Hedef PAHlara ait istatistiksel değerler ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (BDL: Tayin sınırının altı) (Statistical values for target PAHs)

Bileşik	Ortalama	Medyan	Min	Max
Naphthalene	0,292	0,182	0,089	1,629
Acenaphthylene	0,055	0,033	BDL	0,346
Acenaphthene	0,026	0,015	BDL	0,136
Fluorene	0,120	0,055	0,031	0,793
Phenanthrene	1,025	0,481	0,276	6,742
Anthracene	0,070	0,028	BDL	0,414
Fluoranthene	0,377	0,189	0,113	2,073
Pyrene	0,240	0,119	0,073	1,248
Benz(a)anthracen	0,054	0,025	BDL	0,220
Chrysene	0,092	0,049	0,022	0,317
Benzo(b)fluorantane	0,048	0,031	BDL	0,176
Benzo(k)fluorantane	0,035	0,024	BDL	0,090
Benzo(a)pyrene	0,027	0,014	BDL	0,141
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0,024	0,013	BDL	0,072
Dibenz(a,h)anthracene	0,009	0,006	BDL	0,030
Benzo(g,h,i)perylene	0,031	0,020	BDL	0,077

**Tablo 3.** Seçili hedef PCBlere ait istatistiksel değerler ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (BDL: Tayin sınırının altı) (Statistical values for target PCBs)

Bileşik	Ortalama	Medyan	Min	Max
PCB-18	0,214	0,439	0,075	2,161
PCB-17	0,081	0,137	0,020	0,710
PCB-31	0,300	0,678	0,047	3,935
PCB-28	0,394	0,879	0,115	2,960
PCB-33	0,713	1,086	0,065	3,710
PCB-52	1,098	1,542	0,093	7,677
PCB-49	1,884	1,699	0,119	4,575
PCB-44	1,547	2,551	0,079	9,036
PCB-74	1,174	2,675	0,057	17,308
PCB-70	1,115	1,566	0,063	8,688
PCB-95	0,251	1,500	0,053	15,344
PCB-101	0,283	1,952	0,030	22,850
PCB-99	0,150	0,811	0,038	6,677
PCB-87	0,223	0,941	0,032	6,146
PCB-110	0,388	3,765	0,021	39,479
PCB-82	0,439	1,325	0,026	10,316
PCB-151	0,160	1,517	BDL	15,377
PCB-149	0,312	5,183	0,022	49,073
PCB-118	0,657	2,476	0,020	12,043
PCB-153	0,265	6,510	0,020	60,727
PCB-132	0,955	2,570	BDL	19,492
PCB-105	0,275	1,338	0,024	14,299
PCB-138	0,356	7,187	BDL	73,830
PCB-158	0,542	1,789	BDL	7,472
PCB-187	0,083	1,185	BDL	18,429
PCB-183	0,122	0,902	BDL	11,623
PCB-128	3,611	5,237	BDL	28,231



**Tablo 3.** (Devamı) (Continued)

PCB-177	0,146	1,038	BDL	12,433
PCB-171	0,160	0,582	BDL	6,895
PCB-156	1,700	5,210	BDL	27,897
PCB-180	0,198	3,952	BDL	52,504
PCB-191	0,161	0,341	BDL	1,625
PCB-169	11,686	12,265	BDL	34,866
PCB-170	0,492	3,830	BDL	39,304
PCB-199	0,751	0,861	0,326	1,798
PCB-208	0,062	0,114	BDL	0,718
PCB-195	0,731	1,074	BDL	1,194
PCB-194	1,074	2,284	0,073	9,565
PCB-205	0,520	0,927	0,053	3,774
PCB-206	0,159	0,258	BDL	1,935
PCB-209	0,103	0,204	BDL	0,903

### 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışma kapsamında ayrıca iç ortamda örnekleme yapılan yerlerdeki toplam PAH konsantrasyonunun dış ortamda tespit edilen toplam PAH konsantrasyonuna olan oranları da (I/O) incelenmiştir. Tablo 4'ten görüldüğü üzere derslik 1 ve 3 hariç nerdeyse tüm örnekleme noktalarındaki I/O oranları birden büyük bulunmuştur. Bu durum SDÜ Mühendislik Fakültesi binasında iç ortam kaynaklı bir PAH kirliliğini işaret etmektedir. Değerler incelendiğinde değerlerin ofis 4>ofis 2> inşaat mühendisliği öğrenci çalışma alanı>teknik resim salonu olmak üzere sıralandığı ve dört kapalı mekânda tespit edilen toplam PAH konsantrasyonlarının diğer mekânlara kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Kapalı mekânlarda sigara içilmesi yasak olmasına rağmen ofis 4 ve ofis 2'de sigara içildiğinden dolayı en yüksek toplam PAH konsantrasyonunun bu iki ofiste tespit edilmesi şaşırtıcı değildir. Asfalt karışımlarının ısıtılarak hazırlandığı laboratuvar inşaat mühendisliğine ait öğrenci çalışma alanına açıldığı için muhtemelen bu alanda diğer çalışma alanlarına kıyasla daha yüksek değerler tespit edilmiştir. Teknik resim salonu ise kantinin direkt karşısında olduğu için bu dersliğin kantinde gerçekleşen yemek pişirme, kızartma ve ısıtma faaliyetlerinden etkilendiği görülmektedir.

Toplam PCB konsantrasyonu incelendiğinde en yüksek değerlerin makina mühendisliği bölümüne ait talaşlı imalat laboratuvarlarında olduğu görülmektedir. Laboratuvarda kullanılan cihazlarda muhtemelen PCB içeren yağlar veya akışkanlar kullanıldığı için bu laboratuvarda diğer iç mekânlara kıyasla daha yüksek PCB değerlerinin elde edildiği düşünülmektedir. Diğer yüksek değerler ise teknik resim salonu>derslik 5>ofis 4 olarak elde edilmiştir. Daha önce de belirtildiği üzere teknik resim salonu kantine çok yakın bir konumda yer almaktadır ve ofis 4'te sigara içilmektedir. Bu aktivitelerin muhtemelen ölçülen PCB değerlerini de etkilemiş olduğu ön görülmektedir. Derslik 5 ise normal bir derslik değildir; aynı zamanda inşaat mühendisliği hidrolik laboratuvarı olarak da kullanılmaktadır. Bu sınıfta laboratuvar kapsamında yerleştirilmiş büyük cihazlar yer almaktadır, yine bu makinaların içerisinde bulunan yağların veya akışkanların yüksek PCB değerlerinin elde edilmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

Tablo 5'den görüldüğü üzere çalışma sırasında ölçülen tüm I/O değerleri birden büyük bulunmuştur. Bu durum; örnekleme noktalarının muhtemelen dış ortama kıyasla bina içerisindeki mevcut PCB kaynaklarından etkilendiğini göstermektedir.

**Tablo 4.** Örnekleme noktalarında tespit edilen toplam PAH konsantrasyonları (Total PAH concentrations detected at sampling points)

Örnekleme noktası	Toplam PAH (ng g <sup>-1</sup> )	I/O
Çevre müh. öğrenci çalışma alanı	1346,63	2,48
Tekstil müh. öğrenci çalışma alanı	1348,51	2,48
Makina müh. öğrenci çalışma alanı	825,20	1,52
İnşaat müh. öğrenci çalışma alanı	4586,93	8,45
Derslik 1	247,14	0,46
Derslik 2	1000,15	1,84
Derslik 3	243,58	0,45
Derslik 4	1291,04	2,38
Derslik 5	974,34	1,79
Teknik resim salonu	4046,57	7,45
Bilgisayar laboratuvarı	1415,48	2,61
Çevre müh. proses laboratuvarı	1134,95	2,09
Makina müh. hidrolik-enerji laboratuvarı	920,65	1,70
Çevre müh. mikrobiyoloji laboratuvarı	776,39	1,43
Makina müh. talaşlı imalat laboratuvarları	1192,31	2,20
Ofis 1	1429,34	2,63
Ofis 2	4765,57	8,78
Ofis 3	974,88	1,80
Ofis 4	14162,65	26,08
Dış ortam ortalama	543,08	1,00

**Tablo 5.** Örnekleme noktalarında tespit edilen toplam PCB konsantrasyonları (Total PCB concentrations detected at sampling points)

Örnekleme noktası	Toplam PCB (ng g <sup>-1</sup> )	I/O
Çevre müh. öğrenci çalışma alanı	23,65	11,46
Tekstil müh. öğrenci çalışma alanı	30,25	14,66
Makina müh. öğrenci çalışma alanı	79,63	38,58
İnşaat müh. öğrenci çalışma alanı	76,83	37,22
Derslik 1	47,94	23,23
Derslik 2	36,50	17,68
Derslik 3	47,69	23,10
Derslik 4	24,79	12,01
Derslik 5	115,30	55,86
Teknik resim salonu	175,62	85,09
Bilgisayar laboratuvarı	10,55	5,11
Çevre müh. proses laboratuvarı	26,96	13,06
Makina müh. hidrolik-enerji laboratuvarı	84,10	40,75
Çevre müh. mikrobiyoloji laboratuvarı	25,23	12,23
Makina müh. talaşlı imalat laboratuvarları	494,35	239,51
Ofis 1	24,84	12,03
Ofis 2	57,75	27,98
Ofis 3	7,28	3,53
Ofis 4	103,03	49,92
Dış ortam ortalama	2,06	1,00

Bu çalışmada ayrıca toplanan toz örneklerindeki PAH ve PCB'lerin muhtemel kaynaklarını belirlemek amacıyla SPSS 20,0 istatistiksel programı kullanılarak PAH ve PCB veri setlerine ayrı ayrı Faktör Analizi uygulanmıştır. Bu uygulamada Varimax rotasyon seçilmiş ve Eigen value değeri 1'den büyük olan PAH'lar için iki, PCB'ler içinse üç faktör elde edilmiştir. Çalışmada eksik veriler tayin sınırının yarısıyla değiştirilmiş ve communaliteleri 0,5'den daha büyük olan kirleticiler analizde kullanılmıştır. Sigaranın iç ortam tozunda tespit edilen PAH ve PCB seviyeleri üzerindeki etkisini belirleyebilmek için, bu çalışmada sigara içilen ofislerde ölçülen değerler veri setinden çıkarılmamıştır.

PAH'lar için kümülatif varyansı % 91,34 olan 2 bileşen bulunmuştur (Tablo 6). İlk faktör toplam varyansın % 52,63'ünü açıklamaktadır ve genellikle düşük molekül ağırlıklı PAHları içermektedir. İlk faktör ağırlıkça fluoren, fenantren, florantin, asenaftin, piren, asenaftin ve antrasen tarafından yüklenmiştir. Antrasen, fenantren, piren ve krisen odun ve kömür yanması belirleyicisi olarak tanımlanmışlardır (Khalili vd., 1995). Bunun yanı sıra fluoren yağ yanmasının göstergesi (petrol kökenli) olduğu kabul edilmektedir (Saraga vd., 2010). Dolayısıyla bu faktörün bina içerisinde gerçekleştirilen aktivitelerden (asfalt pişirme ve kantinde gerçekleştirilen aktiviteler) kaynaklandığı düşünülmektedir.

**Tablo 6.** Hedef PAH'ların faktör analizi sonuçları (Factor analysis results of the target PAHs)

Bileşikler	Faktörler	
	1	2
Naphthalene	,897	
Acenaphthylene	,948	
Acenaphthene	,951	
Fluorene	,980	
Phenanthrene	,975	
Anthracene	,944	
Fluoranthene	,966	
Pyrene	,951	
Benz(a)anthracene	,719	,645
Chrysene		,799
Benzo(b)fluorantane		,936
Benzo(k)fluorantane		,906
Benzo(a)pyrene		,912
Indeno(1,2,3-cd)pyrene		,896
Dibenz(a,h)anthracene		,965
Benzo(g,h,i)perylene		,844

İkinci faktör yüksek molekül ağırlığına sahip PAH'lar açısından yüklü bulunmuştur. Özellikle indeno[1,2,3-cd]piren, benzo[g,h,i]perilen ve dibenz[a,h]antrazen, araç egzoz emisyonlarıyla ilişkilendirilmişlerdir (Motelay-Massei vd., 2005). Ayrıca indeno[1,2,3-cd]piren, benzo[g,h,i]perilen ve benzo[a]piren petrol yanması kaynağı için belirteç olarak kullanılmaktadır (Sadiktsis vd., 2012). Ayrıca sigara içilen ortamlarda benzo(a)piren, benzo(b)floranten, benzo(a)antrasen ve krisen daha yüksek konsantrasyonlardan tespit edilmektedir (Saraga vd., 2010). Dolayısıyla toplam PAH konsantrasyonunun % 38,72'sini açıklayan bu faktör, araç egzoz emisyonları ile sigara dumanının birlikte olan katkısını göstermektedir.

PCB'ler içinse kümülatif varyansı % 87,55 olan 3 farklı bileşen (Tablo 7) bulunmuştur. Bunlardan ilki toplam varyansın % 52,26'sını açıklamaktadır ve PCB-151, -149, -153,-132,-138,-187,-183, -177,-171, -180, -191 ve -170 ağırlıkça bu faktörün üzerine toplanmıştır. Bu PCB'lerin çoğu Aroklor 1254, Aroklor 1260 ve Aroklor 1242 gibi teknik PCB karışımlarının temel bileşenleridir (Takasuga vd., 2006; Jin vd., 2012). Aroklor 1242, PCB-28'in katkısıyla açıklanmaktadır. Dolayısıyla bu faktör, teknik PCB karışımlarına bağlanmıştır.

İkinci faktör ise toplam PCB konsantrasyonunun % 22,28'ni açıklamıştır. PCB-87, -110, -105 ve -156 büyük oranda bu faktör üzerinde açıklanmaktadır. Literatürde; PCB-156, elektrik malzemelerinin yanma veya pirolizi sırasında ortaya çıkarken, PCB-105'in ise plastik malzemelerin yanması sırasında oluştuğu verilmektedir (Paromita vd., 2018). Sonuç olarak bu faktör bina içerisinde gerçekleştirilen deneyler veyahut diğer aktivitelerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Üçüncü faktör ise toplam varyansın az bir bölümünü açıklamaktadır (yaklaşık % 13) ve PCB-208, -206 ve -209 gibi ağır molekül ağırlıklı PCB'leri ve de -18, -17 ve -31 gibi düşük molekül ağırlıklı PCB'leri içermektedir. Yüksek klorlu PCB'ler -208, 206 ve -209 aynı zamanda çeşitli pigmentlerde (azo and phthalocyanine pigments) (Davies ve

Delistraty, 2016) ve bazı boya pigmentlerinin üretimi sırasında oluşabilmektedir (Hu ve Hornbuckle, 2010). Ayrıca literatürde yüksek klorlu PCB'lerin (PCB-206, PCB-208, PCB-209) titanyum diokside üretiminde de ortaya çıktığı belirtilmektedir (Davies ve Delistraty, 2016). Sonuç olarak bu faktör bina içinde boyadan buharlaşmaya bağlanmıştır.

**Tablo 7.** Hedef PCB'lerin faktör analizi sonuçları (Factor analysis results of the target PCBs)

Bileşikler	Faktörler		
	1	2	3
PCB-18		,503	,831
PCB-17			,912
PCB-31			,833
PCB-28	,612		
PCB-33			,761
PCB-52	,983		
PCB-95	,998		
PCB-101		,650	,672
PCB-99	,895		
PCB-87		,971	
PCB-110		,977	
PCB-151	,990		
PCB-149	,995		
PCB-118	,652		
PCB-153	,969		
PCB-132	,988		
PCB-105		,972	
PCB-138	,997		
PCB-158	,646		
PCB-187	,995		
PCB-183	,989		
PCB-128	,841		
PCB-177	,994		
PCB-171	,990		
PCB-156		,932	
PCB-180	,996		
PCB-191	,900		
PCB-169			
PCB-170	,994		
PCB-208			,824
PCB-206			,902
PCB-209		,525	,813

Sonuç olarak SDÜ Mühendislik Fakültesinin farklı iç mekanlardan toplanan tozlardaki PAH'ların ana kaynağının trafik ve fakülte içerisindeki aktiviteler olduğu görülmüştür. Literatürde üniversitelerden toplanan iç mekan tozlarındaki KOK'ların seviyelerinin ve kaynaklarının belirlendiği çalışmaların bilginiz dahilinde oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. Şangay, Çin'de gerçekleştirilen bir çalışmada şehirde yer alan farklı üniversite kampüslerinden toplanan iç ortam tozlarında PAH'ların seviyeleri ve kaynakları incelenmiş ve çalışmada amfilerden toplanan toz numunelerindeki PAH'ların kaynakları; trafik emisyonu, kömür ve dizel yanması olarak belirlenirken, kafeteryalardan alınan toz örneklerindeki PAH'ların kaynakları ise kömür yanması ve petrol içeren ürünler olarak belirlenmiştir (Peng vd., 2012). Sao Paulo, Brezilya'da bir üniversite kampüsünde gerçekleştirilen ve yüzey toprak örneklerinin toplandığı çalışmada da PAH'ların ana kaynağı benzer şekilde trafik (trafik emisyonu,

dizel emisyonu ve trafik kökenli partiküllerin geri havalanması) olarak bulunmuştur (Bourotte vd., 2019). Dolayısıyla bu çalışmada hedef PAH'ların kaynakları Çin'de ve Brezilya'da gerçekleştirilen çalışmalarla benzerlik göstermiştir. Kocaeli'de bir üniversitenin kampüsünde farklı mikroçevrelerde toplanan iç ortam tozlarının seviyelerinin incelendiği çalışmada ise sigara dumanının iç ortam PAH seviyeleri üzerinde etkili olduğu belirtilmektedir (Civan, 2017). Bu çalışmada da sigara içilen ofislerde kaydedilen yüksek PAH ve PCB değerleri, PAH ve PCB maruziyeti açısından sigaranın iç mekanlar için önemli bir kaynak olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Güney Afrika, Durban'da bir üniversitenin elektronik ekipman onarım atölyesi dahil olmak üzere farklı e-atık geri dönüşüm tesislerinde gerçekleştirilen çalışmada, üniversite atölyesinden toplanan tozlardaki toplam PCB seviyesi atölyede yer alan bilgisayar ve elektronik malzemeden dolayı yaklaşık 200 ng/g olarak bulunmuştur (Abafe ve Martincigh, 2015). Bu çalışmada ölçülen PCB'lerin kaynakları incelendiğinde ise; yine fakülte içerisinde gerçekleştirilen aktivitelerin, kullanılan boya ve teknik solventlerin incelenen PCB'ler için birer kaynak oluşturduğu görülmüştür.

### Teşekkür (Acknowledgement)

Projemizi destekleyen ve bilgi birikimimize katkı sunan Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü Birimi'ne (4889-YL1-17) teşekkür ederiz.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar (References)

- Abafe, O.A. and Martincigh, B.S., 2015. An assessment of polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated biphenyls in the indoor dust of e-waste recycling facilities in South Africa: implications for occupational exposure. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(18), s.14078-14086. DOI: 10.1007/s11356-015-4627-z.
- Ali, N., Ali, L., Mehdi, T., Dirtu, A.C., Al-Shammari, Neels, H., Covaci, A., 2014. Levels and profiles of organochlorines and flame retardants in car and house dust from Kuwait and Pakistan: Implication for human exposure via dust ingestion, *Environment International*, Cilt. 55, s. 62-70. DOI:10.1016/j.envint.2013.02.001.
- Barco-Bonilla, N., Vidal, J.L.M., Frenich, A.G., Romero-González, R. 2009. Comparison of ultrasonic and pressurized liquid extraction for the analysis of polycyclic aromatic compounds in soil samples by gas chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Talanta*, Cilt. 78, s. 156-164. DOI: 10.1016/j.talanta.2008.10.048.
- Bourotte, C.L., Sugauara, L.E., Marchi, M.R.D. and Souto-Oliveira, C.E., 2019. Trace metals and PAHs in topsoils of the University campus in the megacity of São Paulo, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(3). DOI: 10.1590/0001-3765201920180334.
- Cavalcante, R.M., Lima, D.M., Correia, L.M., Nascimento, R.F., Silveira, E.R., Freire, G.S.S., Viana. R.B. 2008. Técnicas de extrações e procedimentos de clean-up para determinação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) em sedimentos da Costa do Ceará, *Quim. Nova*, Cilt. 31(6), s. 1371-1377. DOI:10.1590/S0100-40422008000600019.
- Chen, Y., Guo, H., Xu, D., Xu, X., Wang, H., Hu, X., Lu, Z., Kwak, D., Xu, Y., Gunther, R., Huo, Y., Weir, E.K. 2012. Left ventricular failure produces profound lung remodeling and pulmonary hypertension in mice: heart failure causes severe lung disease. *Hypertension*, Cilt. 59(6), s. 1170-1178. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.111.18607.
- Civan, M.Y., 2017. Üniversite Kampüsünde Farklı Mikroçevre lerde Toz Kaynaklı PAH Seviyeleri ve Maruziyet Tahmini. *Firat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(1), pp.1-10.
- Civan, M.Y., Kara, U.M. 2016. Risk assessment of PBDEs and PAHs in house dust in Kocaeli, Turkey: levels and sources. *Environ Sci Pollut Res* 23, 23369-23384. DOI: 10.1007/s11356-016-7512-5.
- Davies, H., Delistraty, D. 2016. Evaluation of PCB sources and releases for identifying priorities to reduce PCBs in Washington State (USA), *Environmental Science and Pollution Research*, Cilt.23 (3), s. 2033-2041. DOI: 10.1007/s11356-015-4828-5.
- DellaValle C.T., Wheeler D.C., Deziel N.C., De Roos A.J., Cerhan J.R., Cozen W., Severson R.K., vd., 2013. Environmental Determinants of Polychlorinated Biphenyl Concentrations in Residential Carpet Dust, *Environmental Science and Technology*, Cilt. 47, s. 10405-10414. DOI: 10.1021/es401447w.
- Delgado-Marín, D.A., Peña-Álvarez, A., Villalobos, M. 2013. Application of Programmed Temperature Vaporization Large Volume Injection Gas Chromatography (PTV-LVI-GC) to the Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Soils, *Journal of Mexican Chemical Society*, Cilt. 57(2), s. 85-91.
- Frantz, J.J., Alkhateeb, F.L., Thurbide, K.B., 2015. "A Novel Micro Pressurized Liquid Extraction Method for Rapid Sample Preparation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Various Solids, *Chromatography*, Cilt. 2, s. 488-501, DOI:10.3390/chromatography2030488.
- Hu, D., & Hornbuckle, K.C. 2010. Inadvertent Polychlorinated Biphenyls in Commercial Paint Pigments, *Environmental science & technology*. DOI: 10.1021/es902413kAlba, E., Dorransoro, B., 2005. The Exploration/Exploitation Tradeoff in Dynamic Cellular Genetic Algorithms. *IEEE, Transactions on Evolutionary Computation*, 9, 26-142.
- Jia, C., Batterman, S., Godwin, C., 2008. VOCs in industrial, urban and suburban neighborhoods, Part 1: Indoor and outdoor concentrations, variation, and risk drivers, *Atmospheric Environment*, Cilt. 42, s. 2083-2100. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2007.11.055.

- Jin, R.H., Park, S.U., Park, J.E., Kim, J.G. 2012. Polychlorinated Biphenyl Congeners in River Sediments: Distribution and Source Identification Using Multivariate Factor Analysis. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 62, 411-423. DOI: 10.1007/s00244-011-9722-7.
- Khalili, N.R., Scheff, P.A., Holsen, T.M. 1995. PAH Source Fingerprints for Coke Ovens, Diesel and Gasoline-Engines, Highway Tunnels, and Wood Combustion Emissions. *Atmospheric Environment*, Cilt. 29, s. 533-542. DOI: 10.1016/1352-2310(94)00275-P.
- Kang, Y., Cheung, K.C., Wong, M.H., 2010. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in different indoor dusts and their potential cytotoxicity based on two human cell lines, *Environment International*, Cilt. 36, s. 542-547. DOI: 10.1016/j.envint.2010.04.006.
- Markowicz, A., Płaza, G., Piotrowska-Seget, Z. 2016. Activity and functional diversity of microbial communities in long-term hydrocarbon and heavy metal contaminated soils, *Archives of Environmental Protection*, Cilt. 42 (4), s. 3-11. DOI: 10.1515/aep-2016-0041.
- Martinez, E., Gros, M., Lacorte, S., Barceló, A. 2004. Simplified procedures for analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in water, sediments and mussels. *Journal of Chromatography A*, Cilt. 1047, s. 181-188. DOI: 10.1016/j.chroma.2004.07.003.
- Mitchell, C.S., Zhang, J.J., Sigsgaard, T., Jantunen, M., Lioy, P.J., Samson, R., Karol, M.H., 2007. Current State of the Science: Health Effects and Indoor Environmental Quality, *Environmental Health and Perspective*, Cilt. 115(6), s. 958-964. DOI: 10.1289/ehp.8987.
- Marabini, L., Calò, R., Fucile, S., 2011. Genotoxic effects of polychlorinated biphenyls (PCB 153, 138, 101, 118) in a fish cell line (RTG-2), *Toxicol In Vitro*, Cilt. 25(5), s. 1045-1052. DOI: 10.1016/j.tiv.2011.04.004.
- Motelay-Massei, A., Harner, T., Shoeib, M., Diamond, M., Stern, G., Rosenberg, B. 2005. Using passive air samplers to assess urban-rural trends for persistent organic pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons. 2. Seasonal trends for PAHs, PCBs, and organochlorine pesticides, *Environmental Science and Technology*, Cilt. 39, s. DOI: 5763-5773. 10.1021/es0504183.
- Paromita Chakraborty, Sakthivel Selvaraj, Masafumi Nakamura, Balasubramanian Prithiviraj, Alessandra Cincinelli, John J. Bang. 2018. PCBs and PCDD/Fs in soil from informal e-waste recycling sites and open dumpsites in India: Levels, congener profiles and health risk assessment, *Science of The Total Environment*, Cilt. 621, s. 930-938, DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.11.083.
- Payne-Sturges, D. C., T. A. Burke vd. 2004. Personal exposure meets risk assessment: a comparison of measured and modeled exposures and risks in an urban community, *Environ Health Perspective*, Cilt. 112(5), s. 589-598. DOI: 10.1289/ehp.6496.
- Peng, H., Yang, Y., Liu, M., Yhou, J.L., 2012. PAHs in indoor dust samples in Shanghai's universities: levels, sources and human exposure. *Environ Geochem Health*, Cilt. 34, s. 587-596. DOI: 10.1007/s10653-012-9456-0.
- Robertson, L.W., Ludewig, G., 2011. Polychlorinated Biphenyl (PCB) carcinogenicity with special emphasis on airborne PCBs, *Gefahrst Reinhalt Luft*, Cilt. 71(1-2), s. 25-32.
- Sadiktsis, I., Bergvall, C., Johansson, C., Westerholm, R. 2012. Automobile tires-a potential source of highly carcinogenic dibenzopyrenes to the environment. *Environmental Science and Technology*, Cilt. 46, s. 3326-3334. DOI: 10.1021/es204257d.
- Saraga, D.E., Maggos, T.E., Sfetsos, A., Tolis, E.I., Andronopoulos, S., Bartzis, J.G., Vasilakos, C. 2010. PAHs sources contribution to the air quality of an office environment: experimental results and receptor model (PMF) application, *Air Qual Atmos Health*, Cilt. 3, s. 225-234. DOI:10.1007/s11869-010-0074-7.
- Song, Y.F., Jing, X., Fleischmann, S., Wilke, B.M., 2002, Comparative study of extraction methods for the determination of PAHs from contaminated soils and sediments, *Chemosphere*, Cilt. 48, s. 993-1001. DOI: /10.1016/S0045-6535(02)00180-7.
- Takasuga, T., Senthikumar, K., Matsumura, T., Shiozaki, K., Sakai, S.I. 2006. Isotope dilution analysis of polychlorinated biphenyls (PCBs) in transformer oil and global commercial PCB formulations by high resolution gas chromatography-high resolution mass spectrometry, *Chemosphere*, Cilt. 62, s.469-484. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.04.034.
- Tuncel, S.G., Topal, T. 2011. Multifactorial Optimization Approach for Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sea Sediments of Turkish Mediterranean Coast, *American Journal of Analytical Chemistry*, Cilt. 2, s. 783-794. DOI: 10.4236/ajac.2011.27090.
- Vu, V.T., Lee, B.K., Kim, J.T., Lee, C.H., Kim, I.H., 2011. Assessment of carcinogenic risk due to inhalation of polycyclic aromatic hydrocarbons in PM 10 from an industrial city: a Korean case-study, *Journal of Hazardous Material*, Cilt. 189, s. 349-356. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2011.02.043.
- Wallace, L. 1996. Indoor particles: a review. *Journal of the Air and Waste Management Association*, Cilt. 46(2), s. 98-126. DOI: 10.1080/10473289.1996.10467451.
- Wei, Y.L., Bao, L.J., Wu, C.C., He, Z.C., Zeng, E.Y. 2014. Association of soil polycyclic aromatic hydrocarbon levels and anthropogenic impacts in a rapidly urbanizing region: Spatial distribution, soil-air exchange and ecological risk, *Science of The Total Environment*, Cilt. 473-474, s. 676-684. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.12.106.
- Wilson, N.K., J.C. Chuang, R. Iachan, C. Lyu, S.M. Gordon, M.K. Morgan, H. Ozkaynak, and L.S. Sheldon., 2004. Design and sampling methodology for a large study of preschool children's aggregate exposures to persistent organic pollutants in their everyday environments. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, Cilt. 14 (3), s. 260-274.
- Whitehead, T.P., Brown, F.R., Metayer, C., Park, J.S., Does, M., Dhaliwal, J., Petreas, M.X., Buffler, P.A., Rappaport, S.M. 2014a. Polychlorinated Biphenyls in Residential Dust: Sources of Variability, *Environmental Science and Technology*, Cilt. 7, 48(1), s. 157-164. DOI: 10.1021/es403863m.
- Whitehead, T.P., Brown, F.R., Metayer, C., Ward, M.H., Colt, J.S., Gunier, R.B., Deziel, N.C., Rapaport, S.M., Buffler, P.A., 2014a. Persistent Organic Pollutants in Dust from Older Homes: Learning from Lead. *American Journal of Public Health*, Cilt. 104 (7), s. 1320-1326. DOI: 10.2105/AJPH.2013.301835.
- Yang, Q., Chan, H., Li, B., 2015. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Indoor Dusts of Guizhou, Southwest of China: Status, Sources and Potential Human Health Risk. *PLoS ONE* 10(2), e0118141. DOI:10.1371/journal.pone.0118141.
- Yamada, T.M., Souza, D.A., Morais, C.R., Mozeto, A.A. 2009. Validation of a Method for the Analysis of PAHs in Bulk Lake Sediments Using GC-MS, *Journal of Chromatographic Science*, Cilt. 47, s. 795-799. DOI: 10.1093/chromsci/47.9.794.

Yurdakul, S., Doğan, C., Çetin, B. 2018. Bir Üniversite Kampüsündeki Uçucu Organik Bileşiklerin Seviyeleri, International Science and Technology Conference, July 18-20, 2018 Paris, France.

Zhang, J., Fan, S., Du, X., Yang, J., Wang, W., Hou, H. 2015. Accumulation, Allocation, and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Soil-Brassica chinensis System, Accumulation, Allocation, and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Soil-Brassica chinensis System. PloS ONE, Cilt. 10(2): e0115863. DOI:10.1371/journal.pone.0115863.



## ALTYAPI YATIRIM KARARLARINDA MALİYET HESABI VE ETKİSİNE DAİR BİR İNCELEME

Selim PAZARÇEVİREN<sup>1\*</sup>, Mehmet Çağrı KIZILTAŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Ticaret Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Muhasebe ve Denetim Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Altyapı,  
Maliyet,  
Proje,  
İnşaat,  
Verimlilik.

### Öz

İnşaat sektörü hem ulusal hem küresel düzeyde temel sektörlerden bir tanesini teşkil etmektedir. Ülkeler gelişmişlik seviyelerine göre, gelişmiş, gelişmekte olan ve gelişmemiş ülkeler olarak tasnif edilmektedirler. Gelişmişlik seviye ve sınıf tespiti ise altyapı kurulumunun ne aşamada olduğu ile ilgilidir. Dolayısı ile altyapı yatırımlarının durumu yol göstermektedir. Altyapı yatırımlarında birincil unsur ise inşaat sektörü ve inşaat mühendisliği olmaktadır. Altyapı; ulaşım, telefon, internet, su, atık su, doğalgaz ve elektrik altyapısı gibi temel bileşenlerden meydana gelmektedir. Yine altyapı eğitim, sağlık, güvenlik gibi temel unsurlarla ilintilidir. Altyapı yatırımlarında ulaştırma yatırımları önemli bir paya sahiptir. Bu durum özellikle de Türkiye’de daha da belirginleşmektedir. Bu çalışmada ulaştırma başta olmak üzere büyük altyapı yatırımlarının ülke gelişmişlik düzeylerine göre etkisi ele alınmıştır. Bu çerçevede maliyet hesap esasları incelenmiştir. İlk olarak altyapı yatırımının gelişmişliğe etkisi irdelenmiş olup ardından altyapı maliyet hesaplamaları paylaşılmıştır. Sonrasında ise proje yönetimi ve planlaması ortaya konulmuş olup maliyet çeşitleri derinlemesine değerlendirilmiştir. Bu kapsamda da sonuç ve öneriler paylaşılmıştır.

## A REVIEW OF COST EFFECT AND CALCULATIONS ON INFRASTRUCTURAL INVESTMENT DECISIONS

### Keywords

Infrastructure,  
Cost,  
Project,  
Construction,  
Efficiency.

### Abstract

Civil engineering sector is one of the main sectors both on national and global scale. Countries are classified in terms of their development levels as developed, developing and undeveloped countries. Specifying of developing level and class is correlated with infrastructural establishing period. Thus infrastructural investment case is enlightening at this point. First parameter in infrastructure investment is civil engineering sector. Infrastructure constitutes of main elements as transport, phone, internet, water, waste water, naturel gas and electrical infrastructure. Also infrastructure is related with education, health security main parameters. Transportation investments have an important share on infrastructural investments. This case is especially more clear in Turkey. In this paper effects of huge infrastructural investments especially transportation in terms of development levels of countries are revealed. In this framework cost calculation essentials are reviewed. Firstly, effect to developing of infrastructure investment is expressed that infrastructural cost analysis are shared. After these project management and planning are executed and cost sorts are evaluated in deeply. On this context conclusions and recommendations are shared.

### Alıntı / Cite

Pazarceviren, S., Kızıldaş, M.Ç., (2021). Altyapı Yatırım Kararlarında Maliyet Hesabı ve Etkisine Dair Bir İnceleme, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 348-358.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Pazarçeviren, 0000-0001-8198-4424  
M. Ç. Kızıldaş, 0000-0001-9852-9428

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	22.10.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	19.02.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	19.02.2021
Yayın Tarihi / Published Date	30.03.2021

\* İlgili yazar / Corresponding author: spazarceviren@ticaret.edu.tr

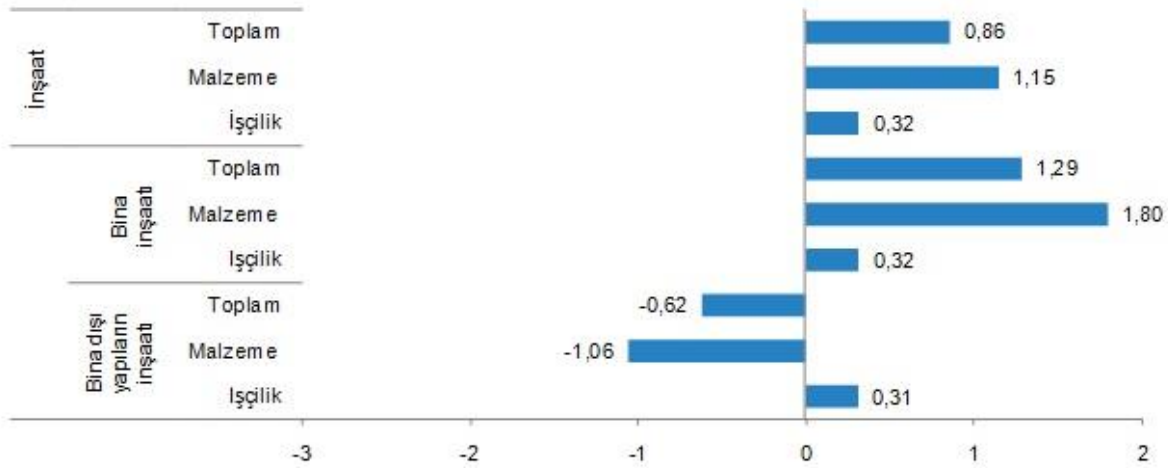


## 1. Giriş (Introduction)

Ülkeler gelişmişlik düzeylerine göre; gelişmiş ülkeler, gelişmekte olan ülkeler, gelişmemiş ülkeler olarak tasnif edilmektedir. Altyapı yatırımları gelişmişlik düzeyinde önemli bir etken ve gösterge niteliğinde olmaktadır. Gelişmemiş olan ülkelerde altyapı yatırımlarının yıllık bütçeden aldığı pay azdır. Gelişmiş ülkelerde de altyapı yatırımlarının payı indirgenmiş bir düzeydedir. Ancak gelişmekte olan ülkelerde altyapı yatırımlarının yıllık bütçeden aldığı pay oldukça yüksektir. Zira bu ülkelerde ekonomik büyüme ve nüfusu hareketliliği had safhadadır, bu da altyapı talebini ve kurulum sürecini tetiklemektedir. Türkiye de gelişmekte olan bir ülkedir, hummalı bir altyapı teşekkülü devam etmekte olup öte yandan ulaştırma yatırımlarının altyapı yatırımları içerisinde aldığı paylar her yıl oldukça yüksek seviyelerde seyretmektedir.

Ulaştırma, inşaat mühendisliğinin bir alt unsurudur. İnşaat mühendisliği kamuda sanılandan çok daha geniş bir içeriği ihtiva etmektedir. Kamudaki algı esasen sadece konutlar ve yüksek katlı-uzun açıklıklı yapıları içermektedir. Bununla birlikte inşaat mühendisliği esasen su yapılarını, zemin disiplini, üstyapıları, altyapıları, ulaştırmayı ve bunların işletimini içermektedir. Bu da kentteki hemen her şeyin doğrudan ya doğrudan olmayan bir şekilde inşaat mühendisliğinin konusu olduğu anlamına gelmektedir. Ulaştırma yatırımları aynı zamanda inşaat yatırımlarıdır. Türkiye'deki konut, gökdelen ve alışveriş merkezi gibi yapıların ivmeli yapılandırılma süreci de dikkate alındığında toplamda ne kadar devasa büyüklükte bir ana sektörle karşı karşıya olunduğu daha iyi anlaşılacaktır. Dolayısı ile söz konusu devasa sektördeki bütün proje, projeksiyon, planlama, programlama, inşa, işletim ve sonlandırma süreçlerinin fayda maliyet analizlerinin son derece dikkatli, elverişli ve gelişmiş bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekliliği açıktır.

İnşaat sektörü, Türkiye'deki en belirleyici sektörlerden birisini teşkil etmektedir. Türkiye inşaat müteahhitliğinde dünya genelinde Çin ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ile birlikte en büyükler arasında yer almaktadır. Yine İspanya da bu konuda etkindir. Türkiye; Libya, Suudi Arabistan, Katar, Birleşik Arap Emirlikleri (BAE), Irak, Rusya, Orta Asya, Balkanlar başta olmak üzere inşaat sektöründe pek çok ülkede yatırımları ile birlikte etkin konumdadır. Yine Türkiye'nin Pakistan, Meksika, Ukrayna, Cezayir, Tunus, Sudan, Somali gibi ülkelerde etkin olması da beklenebilecek bir durumdur. Türkiye'de hâlihazırda büyük yerli inşaat şirketleri ya milli devasa altyapı projelerinin konsorsiyumlarında yer almakta ya da büyük yatırımlarını yurtdışında yapmaktadır. İnşaat maliyetleri inşaat şirketlerinin performansı ve yol haritaları konusunda ana belirleyicilerden birisi olup Şelik 1'de güncel birim inşaat değerleri verilmektedir.



Şekil 1. İnşaat Maliyet Endeksi Aylık Değişim Oranları (%), (Construction Cost Index Monthly Change Rates) Nisan 2020, (TÜİK 2020)



Şekil 2. Bina İnşaatı Maliyet Endeksi Yıllık Değişim Oranı (%) (Building Construct Cost Index Yearly Change Rates), Nisan 2020 (TÜİK 2020)

Şekil 2’de ise bu söz konusu değerlerin binalara münhasır değerleri gösterilmektedir. Ulaştırma inşaat mühendisliğinin önemli bir kısmını teşkil etmektedir. Altyapı içinde de ulaştırma yatırımlarının payı büyüktür. Altyapı da kent de doğrudan ya da dolaylı olarak bütünü ile inşaat sektörünün konusudur. Kamuda bilinen inşaat mühendisliği ve müteahhithliği esasen sadece gerçekte olanın bir bölümü olup yapı ana bilim dalı dâhilinde telakki edilmektedir. Yapı ana bilim dalında konut, yüksek katlı binalar ve uzun açıklıklı binaları ihtiva etmektedir. Altyapı fayda maliyet analizleri; açık bir fiyatlandırma hesabını gerektirmektedir. Genelleştirilmiş seyahat maliyetinin önemli bir unsuru ise ödenecek olan ortalama ücrettir. Üretici maliyetleri (altyapı ve işletim) temelde karayolu ve havayolunda üretilen seyahat maliyetlerini içermektedir (10.Kalkınma Planı, 2012). Altyapının inşası, 3 ana maliyet tipini içermekte olup bunlar planlama ve arazi maliyetleri, altyapı yapım maliyetleri ve üstyapı maliyetleridir. Fizibilite çalışmaları, teknik tasarım, arazi alımı, yasal ve idari ödemeler, lisanslar ve izinler vs. planlama ve arazi maliyetlerine dâhil olmakta olup maliyetli arazi kamulaştırmaları gerektiren yeni demiryolu hatlarındaki toplam altyapı maliyetlerinin %10’una ulaşabilmektedir. Altyapı yapım maliyetleri; arazi tesviyesi ve platform yapılmasını içermektedir. Arazi özelliklerine bağlı olarak toplam yatırım maliyetinin %15’i ile %50’sini teşkil eden maliyetler dahilinde viyadük, köprü ve tünel inşası gereksinimi ortaya çıkabilir. Nihai olarak da üstyapı maliyetleri olarak adlandırılan raylar, hat boyu kaplama, sinyal sistemleri, katener dizisi, elektrifikasyon, iletişim ve güvenlik ekipmanları gibi demiryollarının belirli unsurlarına da gereksinim olabilir (İlcalı vd., 2014).

## 2. Fayda Maliyet Değerlendirmeleri (Benefit Cost Evaluations)

Altyapı yatırımlarında, gelişmekte olan ülkelerde, özellikle de Türkiye’de hummalı bir yatırım süreci olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda oldukça kapsayıcı ve muhtevalı olan altyapıda maliyetin hesabına dair kesin ve güvenilir bilgiler olduğu takdirde kayda değer bir öngörü geliştirilebilecektir. Bu açıdan başlangıç maliyeti yaklaşımı ile işlem yürütülmekte olup aktarmalar ihmal edilmekte sureti ile net fayda ve net maliyet değişimleri ele alınmaktadır. Yüksek hızlı demiryolu (YHD) yatırımının sosyal karlılığı aşağıdaki koşulların yerine getirilmesini gerektirmektedir:

$$\int_0^T B(Q)e^{-(r-g)t} dt > I + \int_0^T C_f e^{-rt} dt + \int_0^T C_q(Q) e^{-(r-g)t} dt \quad (1)$$

Burada;

$B(Q)$  = Projenin yıllık sosyal faydası

$C_f$  = Yıllık sabit bakım ve işletim maliyeti

$C_q(Q)$  =  $Q$ ’ya bağlı yıllık bakım ve işletim maliyeti

$Q$  = Yolculuk sayısı

$I$  = Yatırım maliyetleri

$T$  = Proje ömrü

$t$  = Yıl

$r$  = İskonto oranı

$g$  = Fayda ve maliyetlerin yıllık büyümesi

B(Q) konvansiyonel bir ulaştırma türünün işletildiği bir yerdeki değerlendirmeye konu bir koridorda yüksek hızlı demiryolu (YHD) işletiminin başlamasının yıllık kişi başı sosyal faydasıdır. B(Q)'nun ana unsurları ise; saptırılan trafik kaynaklı zaman ve maliyet tasarrufları, kalitedeki artış, üretilen seyahat, dışsallıklardaki düşüş ve genelde özellikle de diğer ulaştırma türleri (konvansiyonel ulaştırma türü) üzerindeki etkiler dâhil olmak üzere ikincil pazarlardaki ilgili dolaylı etkilerdir. Bölgesel dengesizliklerin ve ekonomik etkinliklerin yeniden dağılımı ile ilgili diğer faydalar B(Q)'da yer almamaktadır. Denklem (1)'de yer alan faydaların net şimdiki değeri aşağıdaki gibi çözümlenebilir:

$$\int_0^T B(Q)e^{-(r-g)t}dt = \int_0^T [V(T_0-T_1)Q_0 + C_c](1+\alpha) e^{-(r-g)t}dt + \sum_{i=1}^N \int_0^T \delta_i(q_i^1-q_i^0)e^{-(r-g)t}dt \quad (2)$$

Burada;

V = Zamanın ortalama değeri (hizmet kalitesindeki farkları içermektedir)

T<sub>0</sub> = Proje olmadığı durumda yolculuk başına ortalama kullanıcı süresi

T<sub>1</sub> = Proje olan durumda yolculuk başına ortalama kullanıcı süresi

Q<sub>0</sub> = Yüksek hızlı demiryollarına ilk yılda saptırılan trafik

C<sub>c</sub> = Konvansiyonel türün yıllık değişim maliyeti

α = Q<sub>0</sub>'a nazaran proje dâhilinde üretilen yolculuk oranı

δ<sub>i</sub> = i pazarındaki bozulma

q<sub>i</sub><sup>0</sup> = Proje olmadığı durumda i pazarındaki denge talebi

q<sub>i</sub><sup>1</sup> = Proje olduğu durumda i pazarındaki denge talebi

Denklem (2) alternatif ulaştırma işletimcilerinin başa baş pozisyonda olduğu ve üretilen yolculukların ortalama kişi başı faydasının saptırılan yolculuk değerlerine eşit olduğu kabul edilmektedir. Denklem (2)'nin Denklem (1)'de yerini koyulması yolu ile (2) nolu denklemin çözümündeki son terim olan dolaylı etkilerin sıfıra eşit olduğu kabulü ile pozitif bir net şimdiki değer için gerekinim duyulan talebin başlangıç hacminin hesaplanabilmesi adına bu durum olası hale gelmektedir.

Kabuller şu şekildedir: doğrudan olmayan etkiler (pozitif ve negatif) kümeli modelde iptal edilmiştir, hariciliklerdeki net düşüşler ihmal edilebilir, ilk yıl net faydaları proje ömrü boyunca sabit bir yıllık oranla artmaktadır, üretici fazlalıkları alternatif türlerde değişmemektedir, pazar fiyatları fırsat maliyetlerine eşittir ve zaman tasarrufları, kalite gelişimi ve üretilen yolculuklar için gözden çıkarılan ödeme haricinde kullanıcılar için başka herhangi bir fayda bulunmamaktadır. Ardından ise pozitif bir net şimdiki değer için gerekli koşul aşağıdaki gibi açıklanabilir:

$$\int_0^T [B(Q)-C_q(Q)]e^{-(r-g)t}dt - \int_0^T C_f e^{-rt}dt > I \quad (3)$$

Burada;

B(Q) = Projenin yıllık sosyal faydası

C<sub>q</sub>(Q) = Projenin Q'ya göre değişen yıllık bakım ve işletim maliyeti

C<sub>f</sub> = Yıllık sabit bakım ve işletim maliyeti

I = Yatırım maliyetleri

T = Proje ömrü

r = Sosyal iskonto oranı

g = Fayda ve maliyetlerdeki yıllık artış

r > g kabulü ve projenin sosyal cazibesi için Denklem (3)'ün çözülmesi dahilinde aşağıdaki denklem elde edilmektedir:

$$[(B(Q)-C_q(Q))/r-g] * [1-e^{-(r-g)T}] - [(C_f/r) * (1-e^{-rT})] > I \quad (4)$$

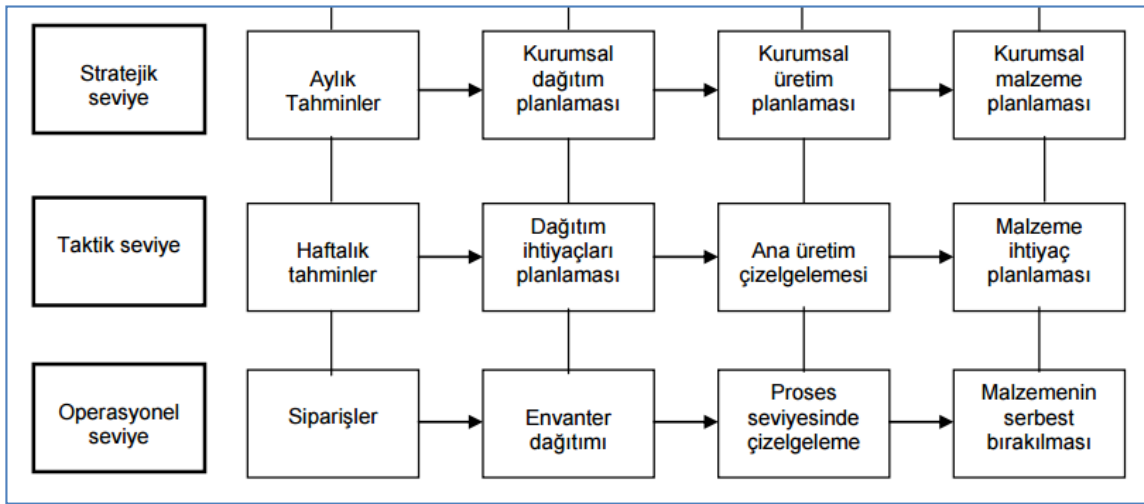
Bütün denklem taraflarının I ile bölünmesi ile terimler yeniden düzenlenerek aşağıdaki Denklem (5) elde edilmektedir:

$$[(B(Q)-C_q(Q))/I] > [(r-g/1-e^{-(r-g)T})] + [(C_f/I) * (r-g)/(r) * (1-e^{-rT}) / (1-e^{-(r-g)T})] \quad (5)$$

Denklem (5)'in ekonomik yorumu oldukça sezgisel olup projenin hizmet ömrü oldukça uzundur (T sonsuza doğru uzamaktadır). Bu durumda ilk yılın net faydaları (yıllık faydalardan Q'ya bağlı değişken maliyetlerin çıkarılması) yatırım maliyetlerinin bir oranı olarak açıklanmakta olup, yıllık sabit bakım maliyetlerinin oranı (r-g/r) ile net faydaların büyüme oranının toplamının sosyal iskonto oranından düşülmesinde daha büyük bir değer olmalıdır. Bir sonlu proje ömrü durumunda ise tek değişim, karlılık için daha yüksek talep kıstası olmaktadır (Liu vd., 2007). Dışsallıklar ve doğrudan olmayan etkiler önemli olmadığında ilk yıl ki yıllık faydalar (B(Q)-C<sub>q</sub>(Q)) genel olarak; zaman tasarrufları, artan trafik ile net değişken maliyetler ve üretilen trafikten kaynaklı maliyetlerden ortaya çıkmaktadır.

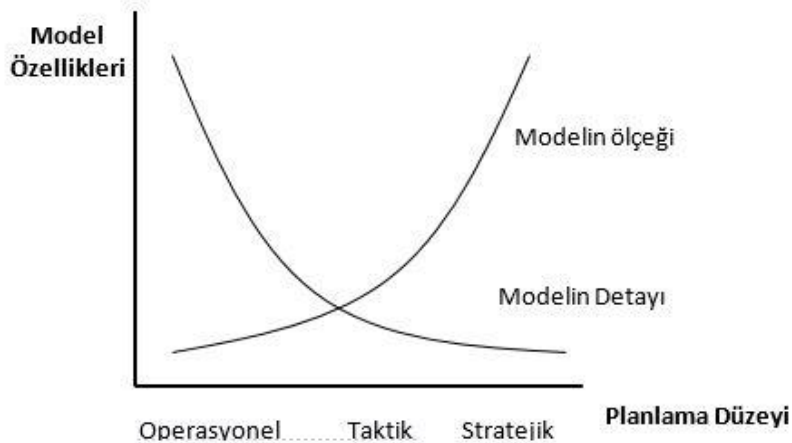
### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Söz konusu net faydalar; hizmetlendirilen talebin hacmine, hâlihazırdaki ulaştırma türlerine nispetle hattaki zaman tasarrufları ve kullanıcının ortalama zaman değerine bağlı olmaktadır (Rawat vd., 2015). Tipik inşa ve işletim maliyetleri, zaman tasarrufu, zamanın değeri, faydaların yıllık artışı ve sosyal iskonto oranı dâhilindeki sonuçlar göstermektedir ki sosyal fayda terimlerine göre uyarlanması gereken yeni bir yatırım için kritik eşik söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla bu anlamda ulaştırma yatırımlarını operasyonel seviyedeki ulaştırma yatırımları, taktik seviyedeki ulaştırma yatırımları ve stratejik seviyedeki ulaştırma yatırımları olarak değerlendirmek mümkündür. Bu, lojistikteki tedarik zincirindeki mantığa paralel olarak Şekil 3'de gösterildiği gibi açıklanabilir. Şekil 3'de görüldüğü üzere Operasyonel Seviye, kısa vadeli ve sonuç odaklı olup en net verinin teminine dayalı olarak diğerlerine nazaran en kısa proses süreci ile sonlandırılır. Taktik Seviye; daha genel ve daha geniş çaptaki verilerin daha uzun erimli bir süreçte toplanarak işlenmesine dayalıdır ve orta vadeli bir planlamayı gerektirir. Stratejik Seviye ise en uzun erimli çalışmayı gerektirir, en geniş aralıkta ve en yorumlanmayı gerektiren verilerin toplanması içermektedir.



Şekil 3. Proje Yönetim Fonksiyonları (Project Management Functions) (İlcalı 2014)

Bu bir proje yönetim modeli olarak değerlendirilecek olursa Şekil 4 üzerinden açıklanabilir.



Şekil 4. Proje Yönetim Modelinde Planlama Düzeyleri (Project Management Model Planning Levels) (İlcalı 2014)

Bu anlamda ulaştırma yatırımları da sahip oldukları özellikler itibarıyla operasyonel, taktik ve stratejik düzeyleriyle ele alınabilmektedir. Söz gelimi; yeni bir yüksek katlı (gökdelene) ya da büyük açıklıklı (alışveriş merkezi: AVM) yapının inşa edildiği bölgede trafik tıkanıklığının artması durumunda kısa vadeli ve çözüm odaklı bir proje geliştirilmesi gerekmektedir. Böyle bir durumda yapılan müdahale ele mevcut karayolu şerit eklenmesi, ilave sinyalizasyon tedbirleri ya da bir kavşak inşası operasyonel ulaştırma yatırımlarına girmektedir. Veya; yaya güvenliği ve erişilebilirliğine paralel olarak bir metro istasyonu ile bir devlet binası, etkinlik merkezi, alışveriş yeri, okul vs. arasına yapılacak olan bir yaya üstgeçidi yada yaya altgeçidi de operasyonel bir ulaştırma yatırımıdır. Sosyal İskonto Oranları (SDR) ve Ferdi Bazlı Sosyal Fırsat Maliyetleri (SCOC), zamanı bağlı olarak mal varlığı ve değerlendirme etkilerindeki değişimi göstermektedir. Örneğin birçok ulaştırma yatırımı gelecek on yıllara yayılı fayda

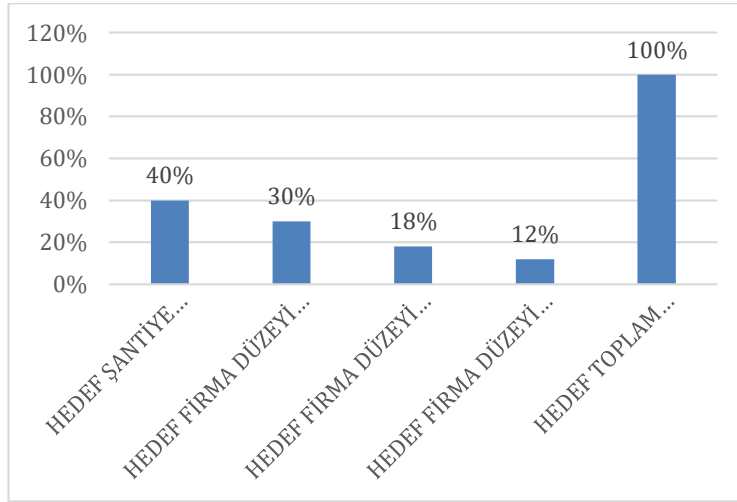
ve maliyetlere haiz birer miras projeleridir. İskonto oranları belirli bir proje ya da belirli bir tür etkilere bağlı riskleri yansıtmak üzere uyarlanabilmektedir. Söz konusu analizlere bağlı olarak bu iskonto oranları düşük riskli projeler için %6,0 ve büyük riskli projeler için ise de %8,6 olarak kabul edilebilir. İklim değişimi ve yaşam alanı kaybı gibi etkilerse yüz yıllara yayılı mali etkiler oluşturabilecektir. Şehirleşmede, en önemli olgulardan bir tanesi yerleşim alanları, iş alanları, sanayi alanları ve diğer etkinlik alanlarının sınırlarının planlı bir şekilde belirlenmesi ve bütün planlamalarda bu sınırlara azami ölçüde riayet edilmesidir. Bu; planlamanın sürdürülebilirliği açısından büyük öneme sahiptir. Ancak bu çerçevede, ulaşım planları ve imar planlarının eşgüdümü ve birbirini olumlu yönde besleyen şekilde geliştirilmesi sağlanabilmektedir. İstanbul başta olmak üzere Türkiye'deki şehirlerin ana problemi de bu konulardaki eşgüdüm ve entegrasyon eksikliğidir. Yerleşim yeri ve iş yeri seçimlerinin ulaştırma sistemine, bileşenlerine, kullanıcılara ve şehirleşmeye önemli etkileri söz konusudur. Bu etkiler, kullanıcıya ve genel olarak halka doğrudan ya da dolaylı maliyetler olarak yansımaktadır. Esasen üretkenliğin yerleşmesi ve yenilikçi etkinlikler yolu ile kentler, kendilerini çevreleyen coğrafi alanı da şekillendirmektedir. İstihdam fırsatlarının uygunluğu ve hem tamamlayıcılık ve hem de rekabetçilik anlamındaki ortak girişimlerin mevcudiyeti, ev-iş yolculuk akımlarının doğrultusunu ve boyutunu belirleyecektir. Bilgi ve bilim insanlar içerisinde şekillendiği ölçüde, bu durum bilimin akışına yakın bir hizmet verecektir. 2006 yılında Karlsson ve arkadaşlarının çalışmasını takiben, bu tarz çalışmalar kapsamında işletimsel erişilebilirlik ölçütlerinin kullanımının incelenmesi yolu ile yersel yakınlığın kullanımının ötesine geçilmesi hedeflenmektedir. Bu durum; kentlerin içerisindeki ve dışarısındaki farklı varış noktalarına verili seyahat süreleri dâhilinde seyahat etmek için çalışan isteklerindeki (oldukça farklı meskûn mahallerden) anlayışı sağlayabilmektedir. Seyahat süresi verilerinin, ağ bağlantısallık yapısını yansıttığı da not edilmelidir. Bu bağlamda; iş fırsatlarına ağ erişilebilirliklerini şekillendirdikleri gibi kişilerin kararlarının çıktıkları olan kümeli emek pazarlarına odaklanılacaktır.

#### 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

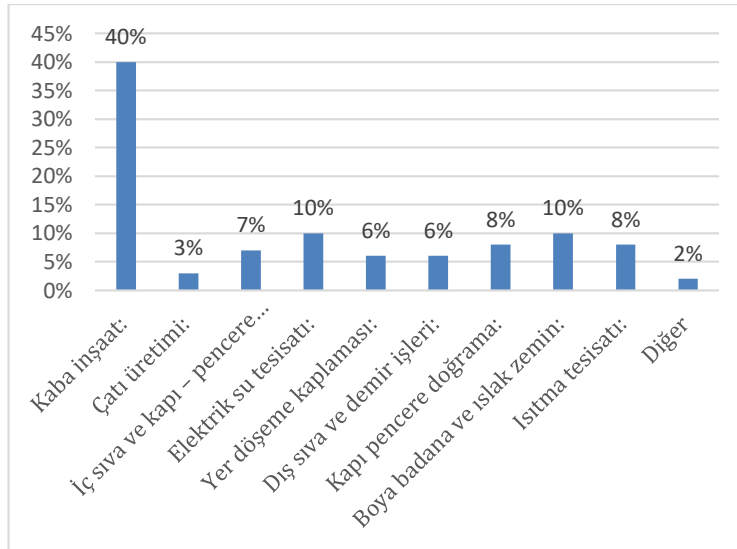
Geçmişte kentlerin tek merkezi bulunmakta olup kentin önemli etkinlik kollarının çoğu bu merkezde az bir kısmı ise alanlarına göre münhasıran seçilen çeşitli noktalarda toplanırdı. Söz gelimi İstanbul'da dahi Eminönü alışveriş merkezi, Şişli ve çevresi ana kentsel iş merkezi, Kadıköy Anadolu yakasının merkezi, Bakırköy ve ötesi sayfiyelik, kentin kuzey bölümleri (Şile, Beykoz, Eyüp) orman alanları olarak teşekkül etmişti. Günümüzde ise büyük kentler çok merkezli yapılara dönüşebilmektedir, alışveriş, eğitim, sağlık, gıda gibi birçok ana ihtiyaç ise kentin her merkezinde ve hatta hemen her noktasında bulunabilmektedir. İstanbul günümüzde tam birçok merkezli yapıya örnektir, öte yandan onlar AVM, onlarca üniversite, onlarca hastane vb. yapıya ev sahipliği yapmaktadır (Kızıltaş 2018). Genelde bilinmektedir ki çalışan insanların yaşayacağı yer seçimi işyerlerine yakında olma isteğinden çok daha ziyadesi ile hayat kalitesi ve yaşam çevresi gibi unsurlardan etkilenmektedir. Bu da nispeten yüksek düzeyde ön plana çıkan ev iş yolculukları tarafından desteklenmektedir. Almanya'da işçilerin yaklaşık %60'lık bir kısmı ki 17 milyon kişiye tekabül etmektedir sosyal sigorta dâhilinde iken bunlar yaşadıkları kentte çalışmamaktadırlar. İşe ulaşmak için çalışan insanlar her gün ortalama yarım saat zaman harcamaktadırlar. Araç kullanımı burayı domine etmekte olup %66'lardadır, Amerika Birleşik Devletleri'nde bu oran en yüksek %86'dır. İstihdam ve işgali kapsayan veri dizilerine dayalı olarak bölgesel sınırlar boyunca Guth ve arkadaşları son on yıllarda Almanya'daki kümeli alanlarda gelişen mesafe kapsamı ve evin bulunduğu kentin ötesinde ev iş yolculuğu oranlarını tayin etmiştir. Günden güne teknolojik olarak ilerleyen toplum tecrübesi göstermektedir ki risk ve riskli davranışlar hayatın önlenemez birer parçasıdır. Belirsizlik ve ölçülemezlik artık daha uzun süre görülmeyecektir zira az ya da çok hesaplanabilir belirsizlikler vahim olaylara neden olabilir. Bunun bir sonucu ise yeni teknoloji üreticileri için risk yönetimini ifade eden daha yüksek taleplerdir. Bütün muhtemel kısıtlar dikkate alınmak sureti ile tehlikenin yapısal bir analizi potansiyel bir tehlikenin bir başlangıç incelemesinin gerçekleştirilmesine yardımcı olabilir. Dolayısı ile erken gelişim aşamalarında mantıki tehlike analizi ve bilahare risk tasnifinin temini için otomat araçların sınıflandırılmasının tamamlanmasını sağlama adına bir hassasiyet geliştirmektedir.

Bu esasa temellendirmek sureti ile bir disiplinler arası uzman ekibi için bir projenin en gelişmiş hali üzerindeki potansiyel tehlike durumlarının liste haline getirilebilir olması bir kapasiteye işaret etmektedir. Bu da genellikle bir dizi bağlantılı hususa neden olmaktadır. Pratik değerlendirmelere dayalı olarak uzman görüşü ve çeşitli testler dâhilindeki senaryolar bilahare en bağlantılı olanlarla sınırlandırılmalıdır (Altan ve Kızıltaş 2018). Bunun dâhilinde güvenlik gereksinimlerinin 'ne kadar güvenlik yeterli güvenliktir' anlayışı dâhilinde cevaplanması gerekmektedir. Uzman deneyimi aynı zamanda kabul edilebilir riskler için güvenlik artışı ve tüketici beklentilerini karşılamak adına kati surette destek sağlamaktadır. Artan tüketici taleplerinin ışığı altında, özellikle de önceki ürün sorumluluk etkinlikleri dâhilinde bu gibi bir deneyim, gelişim ve onay aşamaları boyunca ürün güvenliğinin arttırılmasına değerli bir katkıda bulunmaktadır (Rawat, 2016). Bu bağlamda muhtelif projeler için genel inşaat, planlama ve işletim maliyetleri çıkartılmış ve karşılaştırılmıştır. Şekil 5'te örnek bir proje 1 için şantiye, üretim, satış, yönetim vb. hususların maliyetten aldıkları paylar bağlamındaki bir karşılaştırması verilmektedir. Bu bağlamda Şekil 6'da ise söz konusu inşaat maliyetlerinin kalem bazında ağırlıkları ortaya konulmuştur. İnşaat faaliyeti esnasında hesaba katılan dolaylı sabit maliyetler söz konusudur. Bunların da hesaba katılması ile birlikte ancak tam ve doğru bir fayda maliyet analizi çıkarılmış ve doğru karara zemin hazırlanabilmiş olacaktır.

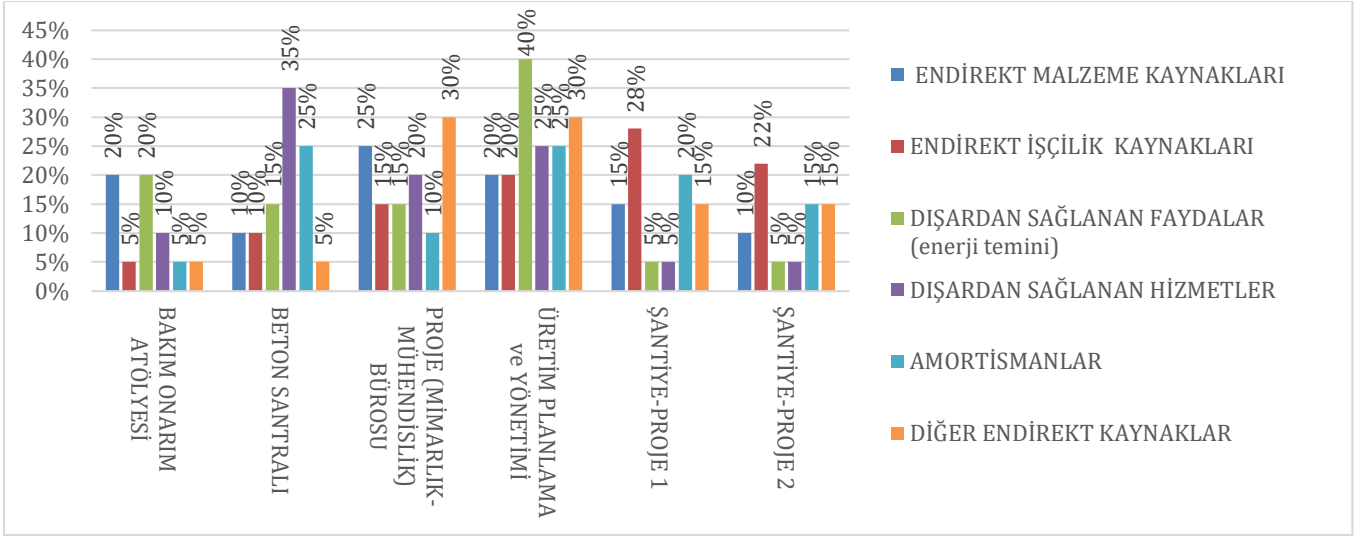
Bunlar; bakım onarım, betonun temin edildiği santral, mühendislik şirketinden alınan proje hesap ve çizim desteği, harici faydalar (enerji sağlanması vs.), amortisman değerleri gibi başlıklar altında derlenebilecek oldukça önemli hususlar ve hesap kalemlerine işaret etmektedir. Kapsamlı bir değerlendirme ve çok yönlü bir şekilde bütün girdi çıktıların analize dâhil edilmesi marifeti ile ancak doğru ve net bir sonuca ve karar yeterliliğine ulaşılabilecektir. Şekil 7’de ilgili detaylar ortaya konulmuştur.



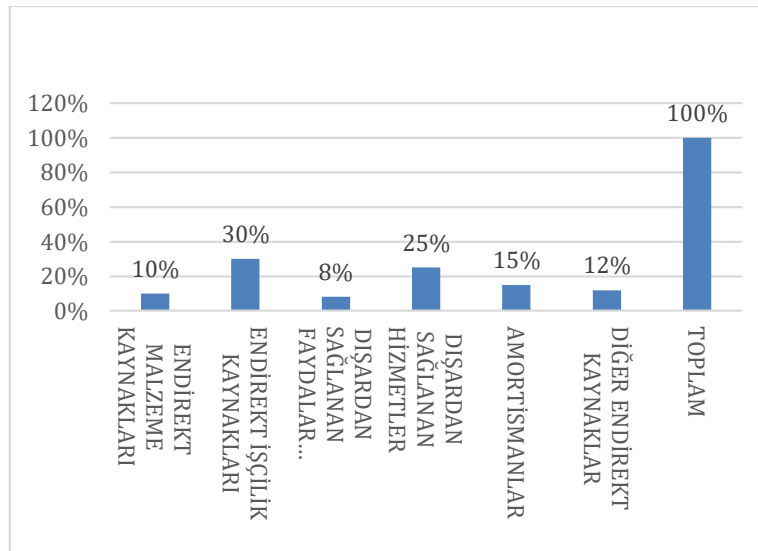
Şekil 5. Örnek Bir Yapı İçin İlgili Maliyetlerin Oranlı Bir Dağılımı (Related Costs' Proportional Distribution For A Sample Building) (Kuruoğlu 2006)



Şekil 6. Detaylı İnşaat Maliyet Kalemleri (Detailed Construct Cost Items) (Pazarçeviren 2020)

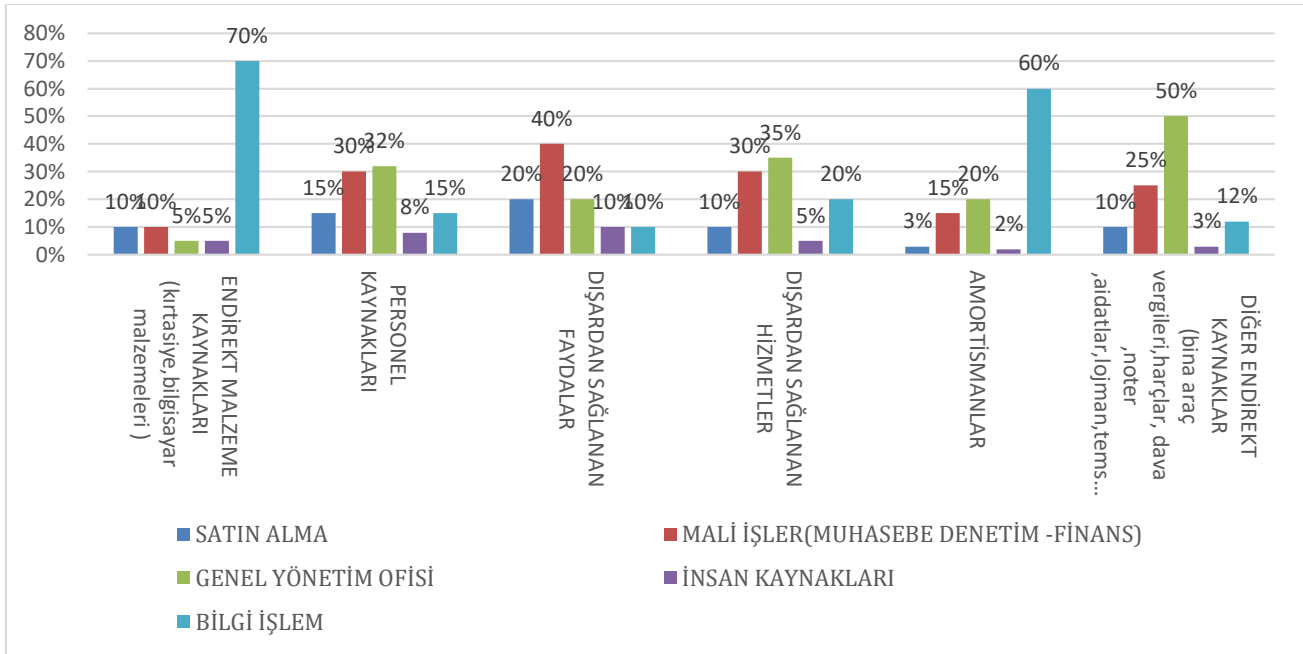


Şekil 7. İnşa Faaliyetlerinde Dolaylı Sabit Maliyetler (Indirect Cosntant Costs On Construction Activities) (Pazarçeviren 2020)



Şekil 8. Süreçteki Fayda ve Maliyetler (Costs and Benefits on Process) (Pazarçeviren 2020)

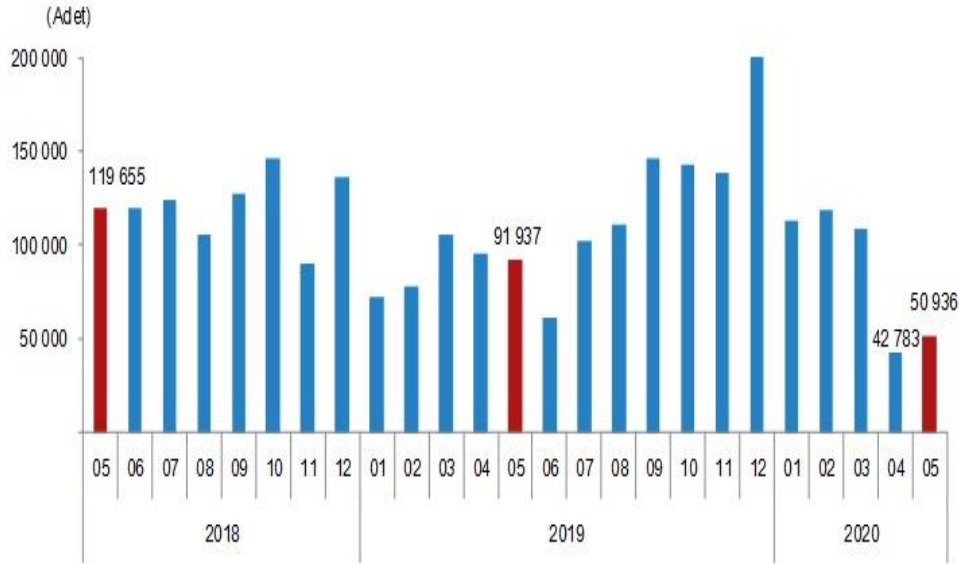
Süreçte daha önce belirtildiği üzere hem faydalar hem maliyetler ve hem de her iki ana tasnifin hesaba katılması sureti ile elde edilen ve neticesinde yatırım yapmak ya da yapmamak yönündeki karara yönlendiren bir fayda maliyet analizi söz konusu olmaktadır. Şekil 8'de buna ilişkin detaylara yer verilmektedir. Şekil 9'da ise bu durum daha detaylı alt kalemler dâhilinde ortaya konulmuştur. Kentsel arazi kullanımının gelişimi bu senaryoda farklı bir şekilde tanımlanmaktadır. Bir tarafta yüksek oranda yoğunlaşmış kentler olacak olup diğer taraftan ise indirgenmiş yoğunluklu alt kentler ise büyüyecektir. Özellikle de genç insanlar kent merkezlerinde yaşamayı tercih edecek iken bir diğer taraftan ise artan sayıdaki yüksek gelir gurubu ise kırsal alana ya da kent mücavir alanına doğru hareket edecek gibi görünmektedir. Kent merkezindeki işlerine artan mesafelerine karşın uygun otomat aracın kullanımı ve gerekse de daha güçlü iletişim araçlarını kullanan tele bulunma (sanal gerçeklik) desteği ile yoğun iş hayatlarına devam edebileceklerdir.



Şekil 9. Endirekt Sabit Maliyet Detayları (Costs and Benefits On Process) (Pegkökgöz vd., 2007)

Aynı zamanda alt kent alanlarında (banliyö, kenar mahalle) yaşayan söz konusu bu nüfus grubu ise hiper hareketli dünyada artan bir şekilde eziyetli ve çetin bir iş hayatını karşılayabilme imkânına sahip olabileceklerini düşünmeye başlayacaklardır (Kanit ve Baykan, 2004). Yenileyici ve hiper hareketli kentler, kentsel hayatı hareketlilik ve kent yapısındaki değişimler için bir motor olaraktan teknolojik gelişimleri aydınlatır iken bir diğer taraftan ise söz konusu bu senaryo biraz daha farklı bir tablo çizecektir (Spaven, 2006). Burada teknolojik yenilik ile ilgili olarak altı çizilen kabuller, özellikle de gerek duyulan altyapının yüksek maliyetlerine bağlı olarak büyük bir gelişim göstermemişlerdir. Teknolojik gelişme söz konusudur ancak bu temelde belirli alanların verimlilik kazanımları ile sınırlandırılmış vaziyetteki bir hususu teşkil etmektedir. Kalkınma çarkını döndürmek adına söz konusu bu durumun gücü ise sınırlı görünmektedir. Hatta davranıştaki bir dönüşüm yukarıdaki gelişimde de tasarlandığı üzere, görülmeyecektir. Emek pazarlarının sadece yerel etkinliklere bağlanan izole (ayrık) pazarlar olmadığı da vurgulanmalıdır. Bunlar; her birisi birbirini etkileyen (örneğin ev iş yolculuk akımları vasıtası ile) bağlantılı pazarların bir ağı olarak şekillenmekte ve yerel ekonomideki gelişmeler ile sosyo ekonomik kuvvetlerin rekabetinin ortaya çıkması yolu ile yüksek dereceli dalgalanmalar sergileyebilir (Takatsu, 2007). İş fırsatlarının (ya da iş erişilebilirliği) yakınlığı, elbette ki bir emek pazarları ağının gelişiminde önemli bir faktördür. Ve dahası, birbirine bağlanan emek pazarlarının (rekabetçi ve tamamlayıcı) daha kapsamlı bir ağ kümelenmesinde yerel/bölgesel emek pazarlarının konumunun daha etraflıca incelenmesi de kritik bir önemde olmaktadır (Ptušina vd., 2015). Esasen son birkaç on yılda, bölgesel bilim ve coğrafi literatürde ağ muhtevaları ile ilgili artan bir ilgiye şahit olunmuştur (Román vd., 2010). Ağlar; dâhil olan aktörlerce kabul edilen (doğrusal olmayan ve dinamik etkinlik kümelenmelerini içeren) çeşitli merkezci ve merkezkaç roller dâhilindeki organize etkinliklerin karmaşık bir etkileşim sistemi şeklinde tasarlanmıştır. Bu perspektiften, yakın dönem bölgesel ekonomik araştırmalarındaki karmaşık yersel ağların gelişimi ve yapının planlanmasında analitik bir bağıntı elde edilebilmektedir. Konutların yer seçimi, konut satışları, arazi fiyatı ve değerlenmeleri, yerleşim yerinin oluşumu gibi hususlarda yukarıda belirtilen noktaların önemli bir payı bulunmaktadır. Aşağıda şekilde Türkiye için güncel konut satış sayıları Mayıs 2020 tarihi itibarı ile verilmiş olup önceki iki yıla nazaran deprem, ekonomik veriler, salgın ve benzeri çok önemli hususlara bağlı olarak düşük seyretmektedir. Ancak esasen 2020 yılının ilk 3 ayının her şeye rağmen önceki 2 sene ile benzer seviyelerde seyrettiği ancak Nisan 2020 ve Mayıs 2020 dönemlerinde konut satışlarında ciddi azalmalar gerçekleştiği görülmektedir. Bu da özellikle COVID 19 salgını ile ilintili bir konunun öne çıktığı tezini güçlendirmektedir.





Şekil 10. Konut Satış Sayıları, (Housing Sales), Mayıs 2020 (TÜİK 2020)

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Ekonomik etkinliklerin yersel kümelenmesi, yoğunluk ve ağ kümelenme avantajları ekonomisinin bir sonucu olarak sıklıkla bilimsel literatürde gözlemlenmektedir (Ureña, vd., 2009). Bu bağlamda 2007 yılında Russo ve arkadaşlarının ifadesi şu şekildedir 'kentler girişimci etkinliklerin katalizörleridir (hızlandırıcı) çünkü girişimci etkinlikler bir vakumla (basınç) ortaya çıkmazlar (Duvanova ve Simankina, 2016). Esasen diğer benzeri girişimcilere yakınlığın yanı sıra bilgi ekonomisindeki girişimciler; finansal hizmetler, yüksek eğitilmiş iş gücü, bilgi kaynakları (üniversiteler ve araştırma merkezleri), lojistik hizmetler vs. gibi bir dizi tamamlayıcı hizmeti gerektirmektedir. Bir dizi yakın dönem çalışması, mücavir alan etkisini tasdiklemektedir' (Combes vd., 2008). Kümelenme ve ekonomik büyüme kapsamında kentlerin merkezi rolü aynı zamanda diğer çalışmalarca da teşvik edilmektedir (Department for Transport, 2011) 2000 yılında Duranton ve arkadaşları şunları ifade etmiştir 'Kent sadece büyümenin ortaya çıktığı yer değil ve fakat aynı zamanda da bizatihi büyümenin itici gücüdür'. 2008 yılında ise Nijkamp 'İş hayatı ve kent arasındaki ilişki çoğu zaman, kentsel ekonomi altında temsil edilmektedir fakat tam ölçekli bir dikkat gerektirmektedir' ve 1998 yılında ise Quigley 'Büyük kentler önemli bir ekonomik büyüme kaynağı olagelmıştır ve olmaya da devam edecektir' demiştir (Wong vd., 2002). Bunun hemen hemen tersine 2005 yılında Polèse ekonomik büyümeyi açıklayan sosyo ekonomik süreçlerin birincil olarak kentsel düzeyde değil ulusal ve toplumsal düzeyde işletildiğini değerlendirmektedir. Bu araştırmacı, kümelenme ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin titizlikle sınanmasının zorluğuna işaret etmektedir (Bureau of TSRI Administration, 2011).

İnşaat maliyetleri son yıllarda Türkiye'de dövizle bağlı artışlar göstermesine karşın halen oldukça karşı bir sektördür. Türkiye'deki ekonominin ana dişlilerinden bir tanesini teşkil etmektedir. Ülkede konut ihtiyacı sürekli devam eden kentleşme ve de ilaveten kentsel dönüşüm bağlamında artarak devam etmektedir. Kentleşme temelli sorunlar, depreme karşı yapılan hazırlıklar ve halkın ihtiyaçları iyi analiz edildiği takdirde yeni sektörel atılımlar beklenen bir durumu teşkil edecektir. Ancak bu kez aynı zamanda daha derinlikli çözümleri de beraberinde getirecektir.

## Teşekkür (Acknowledgement)

Bütün değerli hocalarımıza teşekkür ederiz.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

## Kaynaklar (References)

- Altan, M.F., Kızıltaş, M.Ç., 2018, Toplu Taşımada Çok Amaçlı Karar Verme ve Metropolitan Bir Alanda Ev-İş Ulaşım Hizmeti Modellemesi, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, ULAKBİM
- Bureau of Transportation Statistics, Research and Innovative Technology Administration, 2011. Key Transport Indicators

- Combes, P. P., Mayer, T., & Thisse, J. F. (2008). *Economic geography: The integration of regions and nations*. Princeton University Press.
- Rawat, D. B., Rodrigues, J. J., and Stojmenovic, I., *Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice*. CRC Press, 2015.
- D. B. Rawat, *Adaptive Connectivity, Security and Privacy in Transportation Cyber Physical Systems*. Springer, 2016.
- Department for Transport, 2011. High Speed Rail: Investing in Britain's Future. <http://www.dft.gov.uk/pgr/rail/pi/highspeedrail/> (viewed 20.04.11).
- I.A. Duvanova, T.L. Simankina, Optimization of the conditions of parking space residential buildings. *Construction of unique buildings and structures*. 2016. 2 (41). pp 108-117.
- İlçalı, M., 2014, 'Şehirçi Ulaşımında Yenilikçi Uygulamalar, AUS ve Parklanma Uygulamaları - 2' <http://www.tasimadunyasi.com/sehirici-ulasimda-yenilikci-uygulamalar-aus-ve-parklanma-uygulamaları-2-makale,317.html> (01.11.2014)
- İlçalı, M., Camkesen, N., Kızıldaş, M.Ç., Ekinci, B., 2014, 'İstanbul' da Ulaştırma Sisteminde Türlerarası Entegrasyon ve Boğaz Geçişleri', 5.Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi, Ankara
- Kanıt R., Baykan U.N. Bina Yaklaşık Maliyetinin Çoklu Doğrusal Regresyon ile Belirlenmesi, 2004.
- Kızıldaş, M, Ç, 8-10 Kasım 2018, Küresel Örnekleri ile Toplu Ulaştırma, Transist 2018, İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, İstanbul
- Kuruoğlu, M. (2006). *Konut Amaçlı Arazi Yatırımlarında Fizibilite ve Pratik Bir Metot Önerisi*, İTO yayınları
- Liu, Y., Zhang, X., Zeng, J., Zhang, X., Zhang, P., & Zhong, Z. 2007. Technology of Sound Intensity Theory in High Speed Railway Car Noise Controlling. In *International Conference on Transportation Engineering*. pp. 1243-1248.
- Pekgökgöz, K., Gürel, M., Kömür M , Çılı F. (2007). Cost Analysis of A Building With Seismic Base Isolation System, *Sigma Dergisi* Ptušina I., Spiridonova T., Musorina T. Performance evaluation of high-rise complex construction depending on building site placement. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 725-726. Pp. 153-159.
- Román, C., Espino, R., & Martín, J. C. (2010). Analyzing competition between the high speed train and alternative modes: The case of the Madrid-Zaragoza-Barcelona Corridor. *Journal of Choice Modelling*, 3(1), 84–108.
- Spaven, D. 2006. Are High-speed railways good for the environment. *Transform Scotland*, Edinburgh, 3.
- Takatsu, T. 2007. The history and future of high-speed railways in Japan. *Japan Railway & Transport Review*, 48, 6-21.
- T.C. 10.Kalkınma Planı Ulaştırma ve Trafik Güvenliği Ö.L.K. Raporu, 2012, Ankara
- Ureña, J. M., Menerault, P., & Garmendia, M. (2009). The high-speed rail challenge for big intermediate cities: A national, regional and local perspective. *Cities*, 26(5), 266–279.
- Wong, W. G., Han, B. M., Ferreira, L., Zhu, X. N., & Sun, Q. X. (2002). Evaluation of management strategies for the operation of high-speed railways in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(3), 277-289.