

**YAYINCI**  
PUBLISHER



# MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ve TASARIM DERGİSİ

**JOURNAL OF ENGINEERING  
SCIENCES AND DESIGN**

**e-ISSN: 1308-6693**

**Cilt/Volume: 9 Sayı/Issue: 4 Aralık/December 2021**



- 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*  
Barış GUREL, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Tahir Serkan IRMAK, *Kocaeli University, Kocaeli, TR*  
Ayberk KAYA, *Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, 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*  
Olca 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*  
Mehmet Ali YALCINKAYA, *Kırşehir Ahi Evran University, Kırşehir, TR*  
Kerim YAPICI, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*  
Demet YILMAZ, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*

- 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, *Poznan University of Technology, Poznan, PL*

- 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*

**ARAŞTIRMA / RESEARCH**

[1. CLUDS: COMBINING LABELED AND UNLABELED DATA WITH LOGISTIC REGRESSION FOR SOCIAL MEDIA ANALYSIS](#)

Ayşe Berna ALTINEL

1048-1061

[2. OPTIMUM PASSIVE TUNED MASS DAMPER SYSTEMS FOR MAIN STRUCTURES UNDER HARMONIC EXCITATION](#)

Onur ARAZ

1062-1071

[3. GRAVİTE DÜŞEY TÜREV VERİLERİYLE BATI KARADENİZ BÖLGESİNİN YAPI SINIRLARININ ARAŞTIRILMASI](#)

Ali ELMAS Abdurrahman PARLAK

1072-1079

[4. SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIMDA SERA GAZI ETKİSİNİ AZALTMAYA YÖNELİK ÇALIŞMALAR](#)

Duygu DEMİRTÜRK

1080-1092

[5. SHARPENED FORMS FOR DRIVING POINT IMPEDANCE FUNCTIONS AT BOUNDARY OF RIGHT HALF PLANE](#)

Bülent Nafi ÖRNEK Timur DÜZENLİ

1093-1105

[6. AĞIRLIKLI TOPLAM MODEL YÖNTEMİ İLE STRATEJİK ÇEVRESEL DEĞERLENDİRMENİN SEKTÖREL PLANLARA ENTEGRASYONU OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI: TURİZM SEKTÖRÜ](#)

Nermin Merve YALÇINKAYA

1106-1120

[7. NATURAL RESOURCES AND ENERGY CONSUMPTION IN EDUCATION INSTITUTIONS; ARTVIN ÇORUH UNIVERSITY CASE](#)

Kadir DOĞANŞAHİN Kazım Onur DEMİRARSLAN

1121-1129

[8. CLASSIFICATION OF APPLE LEAF DISEASES USING THE PROPOSED CONVOLUTION NEURAL NETWORK APPROACH](#)

Halit ÇETİNER

1130-1140

[9. BEST WORST METODU İLE İNŞAAT SEKTÖRÜNDE RİSK DEĞERLENDİRMESİNE YENİ BİR YAKLAŞIM](#)

Necip Fazıl KARAKURT İhsan HEKİMOĞLU Ali GUNERİ

1141-1154

[10. BULANIK MANTIK MODELLEMESİ İLE TAŞINMAZ DEĞERLEMeye FARKLI BİR BAKIŞ](#)

Yeşim ESEN Hanifi TOKGÖZ

1155-1165

[11. KIRMIZI PANCAR UNUNUN GLUTENSİZ BİSKÜVİ ÜRETİMİNDE KULLANILMASI](#)

[Hülya GÜL](#) [Fatma HAYIT](#) [Bedia ÖZER](#) [Sultan ACUN](#)

1166-1173

[12. ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN DAĞITILMIŞ ÜRETİM TABANLI ŞEBEKELER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ANALİZİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ](#)

[Baran GÜLKAYA](#) [Yavuz ATEŞ](#)

1174-1199

[13. ÇOK AMAÇLI MÜHENDİSLİK TASARIMI VE KISITLI PROBLEMLER İÇİN HİBRİT BİRÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON ALGORİTMASI](#)

[Murat KARAKOYUN](#) [Halife KODAZ](#)

1200-1211

[14. V TİPİ HAVALI BİR GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN ISIL PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ VE YAPAY SINIR AĞLARI İLE MODELLENMESİ](#)

[Doğan Burak SAYDAM](#) [Kamil Neyfel ÇERÇİ](#) [Ertaç HÜRDOĞAN](#)

1212-1223

[15. EĞİRDİR GÖLÜ DİP SEDİMENTİNDE AĞIR METAL FRAKSİYONLARININ İNCELENMESİ](#)

[Bülent KIRKAN](#) [Hakan ŞENÇİMEN](#)

1224-1235

[16. EKSTRÜDER VİDALAR İÇİN AŞINMAYA DİRENÇLİ KROM OKSİT ESASLI KAPLAMALARIN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU](#)

[Ali İlkay SEMERCİ](#) [Ekrem ALTUNCU](#)

1236-1245

[17. YENİ NESİL E-DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ İÇİN ÖLÇEKLENEBİLİR UYGULAMA MİMARİSİ](#)

[Halil ARSLAN](#) [Şeyma AKAR](#) [Özgür ŞAHİN](#)

1246-1252

[18. GAZİANTEP İLİ YERALTISULARININ HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE SU KALİTESİ](#)

[Şehnaz ŞENER](#) [Erhan ŞENER](#) [Arzu ER](#)

1253-1266

[19. EMİRDAĞ-KARAAĞAÇ YERALTI SUYU POTANSİYELİNİN ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMLER İLE ARAŞTIRILMASI](#)

[Sedat YILMAZ](#) [Emine YILDIRIM](#)

1267-1275

[20. GRAVİTE BELİRTİSİ AYRIMI TEKNİKLERİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR ÇALIŞMA](#)

[Yunus Levent EKİNCİ](#)

1276-1283

[21. MAJOR AIR POLLUTANTS, LEVELS, TEMPORAL CHANGES AND INTERACTIONS WITH METEOROLOGICAL VARIABLES IN ANKARA](#)

[Kadir ULUTAŞ](#) [Sohaib K M ABUJAYYAB](#) [Salem ABU AMR](#)

1284-1295

[22. DESIGN OF CIRCULAR SLOTTED RECTANGULAR MICROSTRIP PATCH ANTENNA WITH DUAL-RESONANCE FOR WLAN/WIMAX APPLICATIONS](#)

[Sena Esen BAYER KESKİN](#) [Cem GÜLER](#)

1296-1301

[23. SolarPILOT UYGULAMASIYLA ISPARTA İLİNDE GÜNEŞ KULESİ MODELLEMESİ](#)

[Serhat ŞEN](#) [İbrahim ÜÇGÜL](#)

1302-1325

[24. INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURAL AND HARDNESS CHANGES OF AA7075 ALLOY PROCESSED BY ECAP](#)

[Güzide Meltem LÜLE ŞENÖZ](#) [Doğacan ÖZTÜRK](#)

1326-1338

[25. SICAKLIK VERİLERİNİN TREND ANALİZİ: ÇANKIRI VE KASTAMONU ÖRNEĞİ](#)

[Ahmet İLKER](#) [Özlem TERZİ](#)

1339-1347

[26. AÇIK BİR KAVİTE İÇİNDE DÖNEN SİLİNDİRLE AKTİF AKIŞ KONTROLÜ: ISI TRANSFERİ VE AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN SAYISAL İNCELENMESİ](#)

[İrem DALGIÇ](#) [Nehir TOKGÖZ](#) [Coskun ÖZALP](#)

1348-1371

[27. VEKTÖR KONTROLLÜ SÜRÜCÜLER İÇİN ASENKRON MOTOR EŞDEĞER DEVRE PARAMETRELERİNİN ÜRETİCİ VERİ FÖYLERİNDEN KESTİRİLMESİ](#)

[Mehmet Onur GÜLBAHÇE](#) [Muhammed Emin KARAASLAN](#)

1372-1385

[28. TBDY-2018 VE DBYBHY-2007 DEPREM YÖNETMELİKLERİ PERFORMANS SEVİYELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI](#)

[Bayram Tanık ÇAYCI](#) [Osman ELDEMİR](#)

1386-1397

[29. CLASSIFICATION OF USER COMMENTS IN A MOBILE APPLICATION USING DATA AUGMENTATION WITH MACHINE LEARNING TECHNIQUES](#)

[Özer ÇELİK](#) [Gürkan KAPLAN](#)

1398-1407

**DERLEME / REVIEW**

[30. BİR DEMİRYOLU HATTININ BİRİM ESNEME DİRENCİ ÜZERİNDE ETKİSİ OLAN MEKANİK VE GEOMETRİK NİTELİKLERİN İNCELENMESİ](#)

[Erdem BALCI](#) [Ertan YALÇIN](#) [Tunay Uzbay YELCE](#) [Niyazi BEZGİN](#)

1408-1423



## CLUDS: COMBINING LABELED AND UNLABELED DATA WITH LOGISTIC REGRESSION FOR SOCIAL MEDIA ANALYSIS

Berna ALTINEL GIRGIN \*

Marmara University, Faculty of Technology, Dept. of Computer Engineering, Istanbul, Turkey

### Keywords

*Tweet Classification,  
Latent Dirichlet Allocation,  
Logistic Regression,  
Social Media Analysis,  
Sentiment Polarity  
Detection.*

### Abstract

Automatic text classification and sentiment polarity detection are two important research problems of social media analysis. The meanings of the words are so important that they need to be captured by a document classification algorithm to reach an accurate classification performance. Another important issue with the text classification is the scarcity of labeled data. In this study, Combining Labeled and Unlabeled Data with Semantic Values of Terms (CLUDS) is presented. CLUDS has the following steps: preprocessing, instance labeling, combining labeled and unlabeled data, and prediction. In preprocessing step Latent Dirichlet Allocation (LDA) algorithm is used. In instance labeling step Logistic Regression is applied. In CLUDS, relevance values computation has been applied as a supervised term weighting methodology in the text classification field. Still, according to the literature, CLUDS is the first attempt that uses both relevance and weighting calculation in a semi-supervised semantic kernel for Support Vector Machines (SVM). In this study, Sprinkled-CLUDS and Adaptive-Sprinkled-CLUDS have also been implemented. Evaluated experimental results show that CLUDS, Sprinkled-CLUDS and Adaptive-Sprinkled-CLUDS generate a valuable performance gain over the baseline algorithms on test sets.

## CLUDS: SOSYAL MEDYA ANALİZİ İÇİN ETİKETLİ VE ETİKETSİZ VERİLERİ LOJİSTİK REGRESYON İLE BİRLEŞTİRME

### Anahtar Kelimeler

*Tweet Sınıflandırması,  
Gizli Dirichlet Analizi,  
Lojistik Regresyon,  
Sosyal Medya Analizi,  
Duygu Polarite Tespiti.*

### Öz

Otomatik metin sınıflandırması ve duygu polarite tespiti, sosyal medya analizinin iki önemli araştırma problemidir. Kelimelerin anlamları o kadar önemlidir ki, doğru bir sınıflandırma performansına ulaşmak için bir belge sınıflandırma algoritması tarafından yakalanmaları gerekir. Metin sınıflandırmasıyla ilgili bir diğer önemli konu, etiketlenmiş verilerin azlığıdır. Bu çalışmada, yeni bir yarı denetimli metodoloji sunulmuştur. Etiketli ve Etiketlenmemiş Verilerin Anlamsal Terim Değerleri (CLUDS) ile Birleştirilmesi olarak adlandırılır. CLUDS şu adımlara sahiptir: ön işleme, örnek etiketleme, etiketli ve etiketlenmemiş verileri birleştirme ve tahmin. Ön işleme adımında Latent Dirichlet Allocation (LDA) algoritması kullanılmaktadır. Örnek etiketleme adımında Lojistik Regresyon uygulanır. CLUDS'ta, alaka değerleri hesaplaması, metin sınıflandırma alanında denetimli bir terim ağırlıklandırma yöntemi olarak uygulanmıştır. Literatüre göre, CLUDS, Destek Vektör Makineleri (SVM) için yarı denetimli bir semantik çekirdekte hem alaka düzeyi hem de ağırlık hesaplamasını kullanan ilk girişimdir. Bu çalışmada, Sprinkled-CLUDS ve Adaptive-Sprinkled-CLUDS da uygulanmıştır. Değerlendirilen deney sonuçları CLUDS, Sprinkled-CLUDS ve Adaptive-Sprinkled-CLUDS'ın test setlerinde temel algoritmalara göre değerli bir performans kazancı sağladığını göstermektedir.

### Alıntı / Cite

Altinel Girgin, B., (2021). CLUDS: Combining Labeled and Unlabeled Data With Logistic Regression For Social Media Analysis, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(4), 1048-1061.

\* İlgili yazar / Corresponding author: berna.altinel@marmara.edu.tr, +90-216-348-0292

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process  |            |
|--|----------------------------------|------------|
| B. Altinel Girgin, 0000-0001-5544-0925   | Başvuru Tarihi / Submission Date | 13.08.2020 |
|  | Revizyon Tarihi / Revision Date  | 18.08.2021 |
|  | Kabul Tarihi / Accepted Date     | 06.09.2021 |
|  | Yayın Tarihi / Published Date    | 20.12.2021 |

## 1. Introduction

### 1.1 Conventional Text Classification

Conventional text classification approach and semantic text classification approach can be compared along many criteria. These criteria are data representation, features, ontology, background source, functional focus, synonymy, polysemy, ambiguity, analysis, applicability in social networks and classification accuracy. The semantic text classification approach has many benefits over the traditional approach. In semantic text classification, both the semantic connections between the words and the documents are considered. In the semantic approach, a background source can be used to get extra information about the terms such as polysemy, synonymy, ambiguity etc. Moreover, statistical computations from the corpus in the corpus-based systems mine the hidden connections between the terms and the documents, which advance the classification accuracy. There is an extensive literature survey about the comparison of the traditional text classification approach and semantic text classification approach in (Altinel & Ganiz, 2018).

Semantic methods can be classified into five groups (Altinel & Ganiz, 2018). domain knowledge-based (ontology-based) approaches (Bloehdorn & Moschitti, 2007; Fung, 2003; Moore, 2003; Muslea et al., 2002; Nigam et al., 2000; Papka & Allan, 1998; Reborto, 2012), corpus-based approaches (Altinel et al., 2015; Bai et al., 2004; Liu et al., 2004; Uysal & Gunal, 2014; Zhou et al., 2008), word sequence enhanced approaches (Fung, 2003; Peng et al., 2003; Razon & Barnden, 2015), linguistic enriched approaches (Nigam et al., 2000) and deep learning based approaches (Bengio et al., 2008; Bordes et al., 2012; Dahl et al., 2010; Dahl et al., 2012; Hinton et al., 2012; Hinton et al., 2006; Krizhevsky et al., 2012; Mikolov et al., 2011; Seide et al., 2011).

There are three traditional approaches in machine learning applications supervised learning, unsupervised learning and semi supervised learning (SSL). Conventional supervised learning approaches require a number of training documents with their class labels to generate the classifier that will then be used to predict the class labels of the test instances. Conversely, unsupervised learning merely depends on unlabeled examples. Thus, unsupervised learning tries to find out the latent patterns of unlabeled data to train a classifier (Zhu, 2005). Inopportunately most of the data on the web do not have class labels, which restrict their use in numerous application fields like sentiment recognition, text classification and speech recognition. In addition, assigning labels to unlabeled documents manually can be tedious and expensive. Most prominently, building a classifier model by using only a small number of labeled data may not create satisfactory classification accuracy. In circumstances where labeled data are insufficient, several methodologies have been proposed which use the unlabeled instances. Different from these two approaches, the SSL approach utilize both labeled data and unlabeled samples to increase the classification performance. There are different kinds of SSL algorithms that have been proposed in the literature in previous years: transductive SVM (Chapelle et al., 2005), Estimation-Maximization (EM) with generative mixture models (Nigam et al., 2000a; Nigam et al., 2000b), graph-based algorithms (Zhu, 2005), self-training (Rosenberg et al., 2005; Yarowsky, 1995) and co-training (Blum & Mitchell, 1998). Self-training and co-training are two widely used algorithms among them.

### 1.2 Social Media Analysis

Social Media is actually like a revolution in human's life since it completely changed people's communication, shopping, working...etc. styles. After the spread of the Internet, many things in people's daily life have started to able to be done just with a computer or a cellular phone without not going to anywhere. This, of course, contributed to the human's life very much simplicity. On the other hand, these new trends result very huge amounts of accumulated data on the communication channels, microblogging sites, review forms...etc. This actually increases the importance of automatically categorization of textual materials on WWW.

There are very important research problems related to Social Media like: 1.) Spam filtering (Ferrara et al., 2014; Hu et al., 2014a, 2014b; Yardi et al., 2009), 2.) Opinion Leader Detection (Amor et al., 2016; Luo et al., 2018; Zhao et al., 2015), 3.) Information Diffusion (Cho et al., 2012; Kempe et al., 2003; Van et al., 2011; Zhao et al., 2016a), 4.) Short Text Classification (Wang et al., 2017; Zeng et al., 2018), 5.) Sentiment Analysis (Denecke, 2008; Khan et al., 2016; Pang et al., 2002)...etc. Several types of Un/Semi/Supervised algorithms from both Machine Learning and Deep Learning are used on those studies (Injadat et al., 2016).

### 1.3 Short Text Classification

Since commonly, used web sites are like microblogging sites, question-answering channels, news headlines, forum messages, and status updates; so the accumulated data on the web are generally in the form of short text. This results very large volume of short texts available on the Internet. In order to classify short textual materials several methodologies have been presented such as, naive Bayes (Wang & Manning, 2012), using SVMs with rule-based features (Silva et al., 2011) and constructing dependency trees with Conditional Random Fields (Nakagawa et al., 2010), convolutional neural networks (CNNs) (Kalchbrenner et al., 2014) and recursive neural networks (Kalchbrenner et al., 2014).

### 1.4 Sentiment Polarity Detection

In addition to topic classification, sentiment polarity detection is also another important task. People have many opportunities to write their comments, feelings, and reviews on social media. Sentiment polarity detection is the task of classifying reviews/comment/short texts into positive and negative category based on the total semantic polarity they carry on. Especially, on microblogs, review-pages, sentiment classification would also be helpful for recommender systems (Salah et al., 2019; Mishne & Glance, 2006), spam filtering (Hu et al., 2014; Peng & Zhong, 2014) and decision making (Chalothom & Ellman, 2015; Koehler et al., 2015).

In a study (Asiaee et al., 2012) authors collect tweets under some predefined categories and then classify them according to their sentiment polarity. They present a cascaded classifier model with three sequential 2-class classification steps. In their cascaded model, there are two main steps: 1.) isolating tweets that are about the topic of interest, 2.) removing tweets that do not contain any emotion. In order to compare the classification performance of their algorithm they used several baseline algorithms such as NB, SVM, and KNN. They conduct three datasets including 4490, 8850, and 12770 tweets in their experiment environment. According to their experimental results, they achieve better classification accuracy in compare to the baseline algorithms. Combining Labeled and Unlabeled Data with Semantic Values of Terms (CLUDS):

Recently, an original supervised semantic kernel for SVM (Altinel et al., 2015) is presented: Class Weighting Kernel (CWK). CWK takes advantages of weighting calculation, which is based on (Biricik et al., 2009, 2012). This weighting calculation is used to generate a semantic matrix, which indicates the semantic closeness between words. The experimental results show that CWK has an important gain in classification accuracy over linear kernel (Altinel et al., 2015).

In this study, a new semi-supervised methodology is presented, which is named Combining Labeled and Unlabeled Data with Semantic Values of Terms (CLUDS). This is a hybrid algorithm, which has two different semantic kernels with different aims. CLUDS utilizes both labeled and unlabeled data for building a classification model. Firstly, it generates a proximity matrix, which includes the relevance values (Lan et al., 2009) of words in the training corpus and directly indicates the semantic relationships between words. Then, it tries to classify unlabeled samples with a new classification algorithm, namely, Relevance Values Kernel (RVK) and moves them into the originally labeled set. In the second part of the algorithm, another semantic kernel, CWK (Altinel et al., 2015) is applied. The main novelty of CLUDS is the application of class-based relevance and weighting calculations in classification step. It is observed that CLUDS generates noticeable classification gains over the baseline algorithms in the experiments.

One of the most important advantages of CLUDS is its classification gain over the baseline algorithms in the experiments. There are four different baseline algorithms in the experiments. CLUDS is superior to all of them in most of the labeled set percentages. Moreover, the superiority of CLUDS is mostly visible at low-labeled set levels, which are very important since it is very hard to find labeled instances in real life scenarios.

Another central benefit of CLUDS is that it does not require heavy use of the lexical databases and grammatical tags in order to extract semantic features and calculate the similarity between documents like knowledge-based systems. Additionally, an important restriction of using knowledge bases is that their scope and coverage can restrict the ability of methods (Yarowsky, 1995). Moreover, these kinds of resources are usually expensive to maintain and often not available for particular fields.

Sprinkled-CLUDS and Adaptive-Sprinkled-CLUDS have also been implemented. Sprinkled-CLUDS has the same architecture with CLUDS with the only difference that Sprinkled-CLUDS uses additional terms, which represent the class relationships between documents. In other words, class labels are added into standard term-document matrix in order to enrich the class knowledge in training corpus and add this information into classification model.

This paper is organized as following: Section 2 presents short text classification, weighting and relevance



calculations, sprinkling, Latent Dirichlet Allocation and Logistic Regression. Details of the suggested methodology, CLUDS, are given in Section 3. Experiment setup is given in Section 4. Experimental results are reported in Section 5. Finally, the conclusion is given in Section 6.

## 2. Literature Survey

### 2.1 Short Text Classification

Recently, in (Ahmed et al., 2015), the authors presented a frequent item set and ensemble learning based semi-supervised methodology to classify SMS with small amount of labeled SMS and huge number of SMS. According to their experimental results, their proposed method generates good results. Nevertheless, as they mention in (Ahmed et al., 2015), the success of their methodology closely depends on the dataset volume.

In (Shinnou et al., 2015), a novel algorithm is presented for the domain adaption problems of document classification. In their approach, Self-Training Feature Weight (Chen et al., 2009) is used to reconstruct training data, and then the final classification model is learned by using the reconstructed training instances and Naive Bayes. According to their experiments on 20 Newsgroups, the influence of their method is shown. In (Song et al., 2014), recent semi-supervised learning methodologies are mentioned and analyzed in detail.

In a recent work (Asiaee et al., 2012); a very simple and novel supervised term weighting approach is presented. In order to show the superiority of their proposed algorithm they conduct two datasets from Twitter and apply some machine learning algorithms. According to the experimental results, they report, their proposed term weighting approach, SW, result higher classification performance in compare to SVM, Decision Tree, k-nearest neighbor, and logistic regression algorithms. For instance, in (Alsmadi & Hoon, 2019) SW is reported to improve tweet classification accuracy to 80.83 and 90.64 (F-measure) on their self-collected Twitter dataset.

In another recent and interesting study (Hu et al., 2018); a new algorithm is proposed namely SVMCNN. SVMCNN combines Convolutional Neural Networks and Support Vector Machine. They conduct their own collected Twitter data for dataset. In SVMCNN model, CNN is used to extract features of short texts. After that, these features are used in SVM classifier for classification. According to the experimental results, reported in (Hu et al., 2018) SVMCNN model can achieve has good performance in short text classification.

### 2.2 Relevance Values of Terms

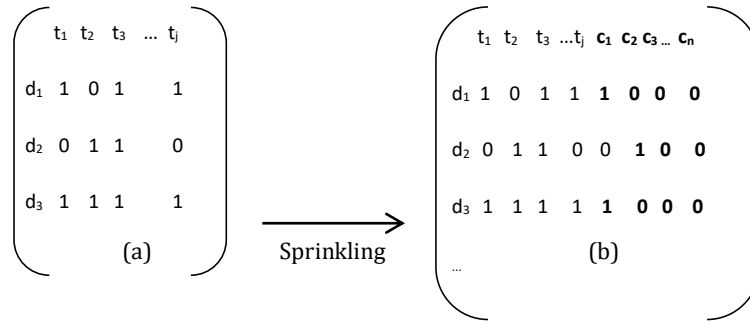
Term Frequency-Relative Frequency (TF-RF) is a term-weighting technique (Lan et al., 2009). The formula of TF-RF is:

$$TF - RF = tf_w \times \log \left( 2 + \frac{a}{\max(1, c)} \right), \quad (1)$$

where  $tf_w$  presents the term frequency of word  $w$ ,  $a$  shows the number of documents in the positive category, which include word,  $w$  and  $c$  denotes the number of documents in the negative category, which include word  $w$ . According to experimental results, RF methodology seems to give weights that are more appropriate in compare to traditional Inverse Document Frequency (IDF) technique (Lan et al., 2009). Table 1 reports the IDF and RF scores of four terms based on 00\_acq and 03\_earn categories. The scores listed in Table 1 (Lan et al., 2009) show that RF technique gives values that are more appropriate in compare to traditional IDF technique since RF uses class information, which improves the values.

### 2.3 Sprinkling

Sprinkling is a recent technique, which just adds additional terms corresponding to class labels of documents to the corpus that consists of training documents (Chakraborti et al., 2006). This process strengthens class-based relationships in the training phase. The sprinkling process is shown in Figure 1. There is an original term-document matrix with  $r$  documents and  $j$  terms in Figure 1(a). Sprinkled term-document matrix after sprinkling process with  $n$  terms is represented in Figure 1(b).



**Figure 1.** Sprinkling Process

The sprinkled term-document matrix includes additional terms show the class labels of the corresponding documents. For instance,  $d_1$  belongs to class  $c_1$ ,  $d_2$  belongs to class  $c_2$ ,  $d_3$  belongs to class  $c_1$ ,  $d_i$  belongs to class  $c_2, \dots$ , etc. These further features in training set directly contribute class information into the classifier.

## 2.4 Latent Dirichlet Allocation (LDA)

In CLUDS, for topic modeling, Latent Dirichlet Allocation (LDA) was used by applying the pooling method, in which the tweets they sent each day for each user were combined. LDA is a probabilistic topic modeling method, which generates a set of words and their corresponding weights for a predefined number of topic-labels of the corpus. In LDA method, topics have a probability distribution on words, and text documents have a probability distribution on topics. Each topic has a distribution on a fixed word sequence (Blei et al., 2003). The model aims to determine the main topic structure with the words and weight values formed with the observed data set.

## 2.5 Logistic Regression

Logistic regression is a supervised classification algorithm (Liu et al., 2011). Instances in each category of the corpus are classified based on logistic function. Logistic regression is the appropriate regression analysis to be carried out when the dependent variable is binary. Logistic regression is an estimated analysis like it is in all regression analysis cases. Logistic regression is used to define the data and explain the relationship between a dependent binary variable and independent variables in a corpus.

## 3. Combining Labeled and Unlabeled Data with Semantic Values of Terms (CLUDS)

In this article, an original semi-supervised algorithm is presented, which uses two semantic smoothing kernels that both take advantages of semantic values of terms. CLUDS includes four sub-modules: preprocessing, instance labeling, combining labeled and unlabeled data, and prediction. These sub-modules are detailed in the following sub-sections.

Prior to using documents in both training and classification, some preprocessing and filtering are required to increase their suitability for computation and to remove content that is not useful for the computation. This preprocessing step is applied for all the data used in all test cases in this article.

### **Preprocessing for Long Textual Materials:**

Firstly, stemming and stopword filtering are performed on the textual materials. Stemming is performed using Snowball(<https://snowballstem.org/>) stemmer, which is a small string-processing tool, designed for creating stems of the words. Snowball has implementations for both English and Turkish. Secondly, rare words, which are seen fewer than 3 times in documents, are filtered. Moreover, stopword filtering is also applied. Then, the most informative 2,000 words are selected using Information Gain (IG).

### **Preprocessing for Short Textual Materials:**

For lemmatization, Zemberek-NLP (Akin & Akin, 2007) is used on Twitter dataset. Mentions, stickers, emoji, unnecessary words, numbers, and punctuation marks are removed from tweets. In order to create topical clusters on the data set, Mallet's (Graham et al., 2012) Latent Dirichlet Allocation (LDA) implementation is used.

All words in each Tweet in our Twitter corpus are randomly assigned topic labels by LDA algorithm. After topic assignment to tweets is completed, several statistics are extracted with this information. Local statistics show how many words are assigned to the topics in each tweet; while global statistics show how many times each word is

assigned to each topic for the entire tweet. After obtaining statistical information, each word is reassigned to each word for each tweet. The clustering analysis in topic-labels in Twitter dataset is shown in Figure 2.

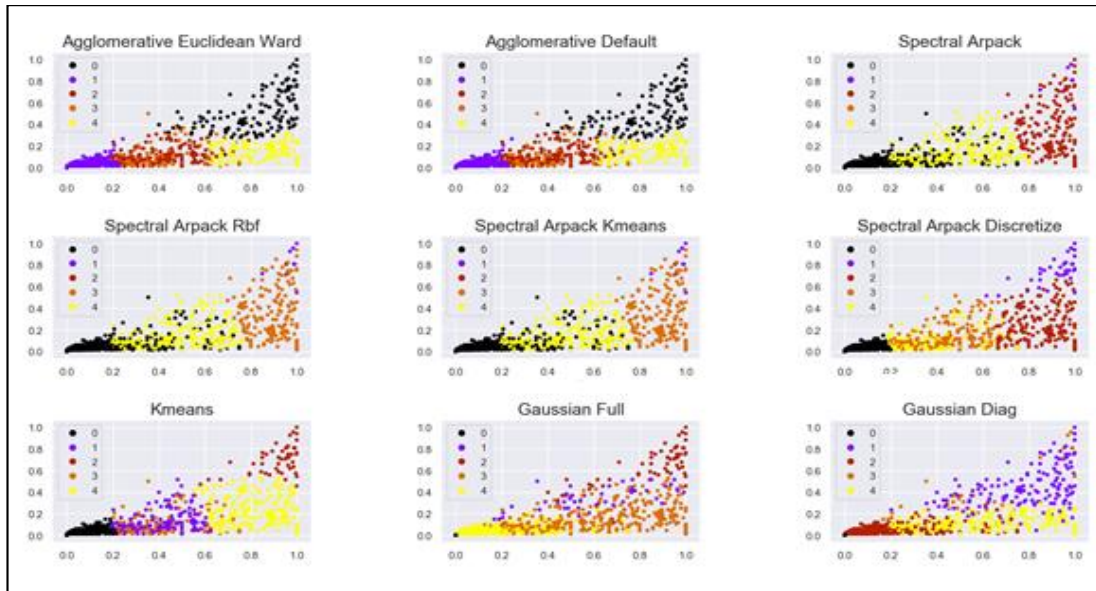


Figure 2. The clustering analysis in topic-labels in Twitter dataset

**Instance Labeling:**

In order to assign labels to unlabeled data in semi-supervised corpus CLUDS uses two methods: 1.) *Relevance Values Kernel (RVK)* and 2.) *Logistic Regression*.

Relevance Values Kernel (RVK): Relevance Values Kernel (RVK) is used to label unlabeled documents and use them in the training phase of SVM. The aim of RVK is to benefit from the class-based term relevance weights in the semantic smoothing kernel building process by forming the semantic associations among words. RVK mainly depends on TF-RF, which is a supervised term weighting method as mentioned in Section 2.3. Inspired by TF-RF, it was decided to benefit from the class-based term relevance weights in the semantic smoothing kernel.

This relevance calculation contributes to the classifier since this type of weighting matrix has extra information related to the terms compared to BOW representation; these results expose semantic similarities among terms and instances by smoothing the demonstration of the textual materials.

To enrich the standard linear kernel function by semantic proximity between terms, the semantic proximity matrix  $S$  was generated using class-based term relevance weights as mentioned in (Lan et al., 2009). The class-based term relevance weighting calculations have been applied as in described in Section 2.3. Calculated weighting values of words were utilized in the kernel function as

$$S = RR^T, \tag{2}$$

where  $R$  is a class-based term relevance weights matrix, which is computed with Equation (1).

According to Equation (1) when a term is not seen in a class its weighting value for that class will be zero. After making all the computations,  $R$  is generated as a term-by-class matrix.  $R$  includes the relevance weights of terms for all classes.

In CLUDS,  $S$  is a semantic proximity matrix to convert documents from the input space to feature space. Mathematically, the semantically enhanced BOW demonstration of a document  $d$  is given as

$$\bar{\phi}(d) = \phi(d) S, \tag{3}$$

where  $S$  is the class-based semantic matrix, which represents the relevance values of words based on Equation (1) for each class by using the documents in the training set. The similarity value between two documents is calculated as:

$$k_{RVK}(d_1, d_2) = d_1 S S^T d_2^T \tag{4}$$

Logistic regression is the appropriate regression analysis to be carried out when the dependent variable is binary. In our Tweet corpus, we have 5 classes. In order to make binary classification we conduct the experiments as one-to-many problem like taking one specific class and then treat the remaining classes as one big class.

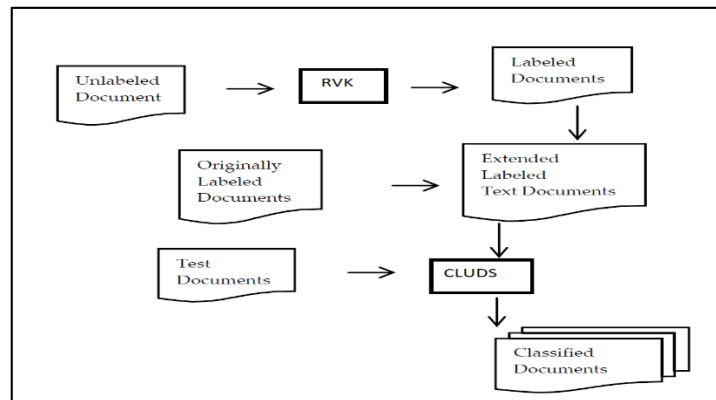
#### **Combining Labeled and Unlabeled Data:**

In this step, the originally labeled documents ( $L_L$ ) are combined with the documents labeled ( $L_P$ ) by RVK at the previous *Instance Labeling* step and get  $L$ . An example scenario of this system is as follows: The number of labeled instances, unlabeled instances and test instances are 100, 7900 and 200; respectively. After assigning labels to these 7900 unlabeled instances by using RVK, the number of labeled instances is increased to 8000. This expanded set of documents,  $L$ , will be used as the training set for the previously published supervised classifier, CWK (Altinel et al., 2015).

#### **Prediction:**

In the prediction step, CLUDS attempts to predict the class labels of all the test samples. The architecture of CLUDS is shown in Figure 3. 20% of the dataset is separated as test portion and the remaining portion is divided as the labeled set and the unlabeled set. According to Figure 3, unlabeled documents are classified by RVK, and then these labeled documents are merged with originally labeled documents as it can be mentioned above. After that, CWK is built by this extended labeled set, and, finally, this model classifies test documents as it can be observed in Figure 3.

Sprinkled-CLUDS has also been implemented. Sprinkled-CLUDS has nearly the same architecture like CLUDS. The only difference between CLUDS and Sprinkled-CLUDS is that Sprinkled-CLUDS uses term-documents matrix augmented with sprinkled terms as mentioned in Section 2.4, while standard CLUDS uses original term-document matrix.



**Figure 3.** The Architecture of CLUDS

## **4. Experiment Setup**

### **4.1 Data Collection:**

In order to see the effect of CLUDS in different experiment setting, both normal text and short text materials are prepared and conducted into the test environment. For short textual material Twitter dataset is collected, for long textual material 3 different datasets (i.e., *20 Newsgroup dataset*, *1150 Haber dataset*, *mini-newsgroups dataset*) are conducted into the experiment environment.

**Twitter Dataset:** This dataset is created at March of 2019 by collecting 1 M tweets under the following titles: *Science, Politics, Culture, Health, Sports*. Tweets are collected by using Twitter Streaming API. Additionally, Apache Spark, which uses Random Distributed Dataset (RDD) to process data at memory with many clusters, is used while collecting and processing the data. Since Spark runs in local memory, it is faster than Hadoop. Details of the dataset is given in Table 1.

**20 Newsgroup Dataset:** This dataset is a group of nearly 20,000 newsgroup documents under 20 classes. In this study, “COMP” subgroup of the 20 Newsgroup dataset is used. There are 5 classes in “COMP” dataset with 2500 instances and 2478 features. In this dataset, each class contains 500 documents (<http://www.cs.cmu.edu/~textlearning>).

**1150 Haber dataset:** There are 1150 Turkish news-articles with 5 classes and 7948 features in this dataset. The categories are magazine, politics, sport, economy and health (Amasyalı & Beken, 2009).

**mini-newsgroups dataset:** It is also a subgroup of 20 Newsgroup datasets with 20 classes and there are 100 documents in each class. The number of total instances is 2000 with 12112 features (<http://archive.ics.uci.edu/ml/>).

**Table 1.** Details of Twitter Dataset

| Topic Name | Number of tweets |
|------------|------------------|
| Science    | 100000           |
| Politics   | 300000           |
| Culture    | 250000           |
| Health     | 200000           |
| Sports     | 150000           |

**Twitter sentiment polarity dataset:** In this study for sentiment detection, Turkish Tweet dataset is used. This dataset contains 29971 positive and 34233 negative tweets.

## 4.2 Experiment Setting and Evaluation

The testing set is kept as 20% of the corpus to evaluate the classification performance of the classifier. The class distributions in labeled, unlabeled and test percentages are similar to the class distributions in the original corpus. Classification accuracy is computed by taking the ratio of the number of correctly classified instances by the number of all test instances.

Sequential Minimal Optimization's (SMO) soft margin ( $C$ ) parameter is set to 1 (Kamber et al., 2005). All the algorithms are run 10 times on each training set level by arbitrarily choosing the documents to build the training corpus. Then the average of these 10 classification accuracies are calculated. Furthermore, in the results tables we also report standard deviations. Labeled data split in Figures 4-6 represent the percentage of labeled data, which is shown in Tables 2-5.

Additionally, for experiments on Twitter dataset, Scikit Learn's SVC class is used. Additionally Apache Spark ecosystem is used. Neo4J is used as data storage and calculations are performed by using its query language Cypher. All the experiments run on a machine with Intel i7-8750 @2.20Ghz CPU and 32GB RAM.

## 4.3 Baseline Algorithms

Linear kernel is the first baseline algorithm in this study. The second baseline algorithm is SSL-Linear. SSL-Linear first classifies unlabeled instances with linear kernel, which is trained by only the labeled samples. Then, it combines these labeled instances with the originally labeled instances and forms the classifier model by using customary linear kernel. After that, it again tries to classify unlabeled samples by the last generated model, compares the labels of each sample, and selects the estimations with higher classification confidence. The third baseline algorithm is previously published supervised semantic kernel, CWK (Altinel et al., 2015). The last baseline algorithm is RVK, which is detailed in Section 3.

## 5. Experiments, Evaluation Results and Discussion

### 5.1. Experiments with Long Texts

In the COMP dataset, CLUDS is better than all of the baseline kernels; linear kernel, SSL-Linear, CWK and RVK in all labeled set percentages as shown in Figure 4. For example, the classification performance gain of CLUDS over SSL-Linear kernel is about 21% at labeled set split 10% on COMP dataset according to Figure 4. This shows that the technique of CLUDS, which is based on combining labeled and unlabeled data by the semantics of terms, improves the classification performance on text classification field.

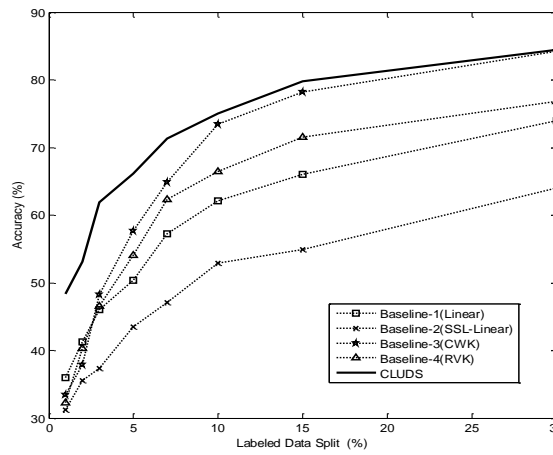


Figure 4. Classification Accuracies of Linear, SSL-Linear, CWK, RVK and CLUDS on COMP Dataset

Sprinkling process also seems to increase the classification accuracy since the classification accuracies of Sprinkled-CLUDS are higher than the classification accuracies of CLUDS at labeled set splits 1%, 2%, 3% and 10% according to Table 2.

Table 2. Classification Accuracies (%) of CLUDS and Sprinkled-CLUDS on COMP Dataset

| Labeled % | Unlabeled % | CLUDS             | Sprinkled-CLUDS   |
|-----------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1         | 79          | 48.32±6.25        | <b>48.73±1.43</b> |
| 2         | 78          | 53.12±6.15        | <b>54.12±2.11</b> |
| 3         | 77          | 61.9±3.3          | <b>62.01±2.54</b> |
| 5         | 75          | <b>66.14±5.02</b> | 66.1±2.9          |
| 7         | 73          | <b>71.28±2.23</b> | 70.98±1.04        |
| 10        | 70          | 75.06±3.67        | <b>75.11±0.05</b> |
| 15        | 65          | <b>79.82±2.21</b> | 79.08±1.79        |
| 30        | 50          | <b>84.46±1.55</b> | 83.96±0.32        |

The same situation occurred for the 1150Haber dataset as shown in Figure 5. In 1150Haber dataset, the performance of CLUDS is superior to the performance of all other baseline algorithms at all labeled data splits. According to Figure 5, the classification performance of CLUDS is noticeably greater than all of the baseline algorithms at labeled set levels between 1% and 30% on 1150Haber dataset.

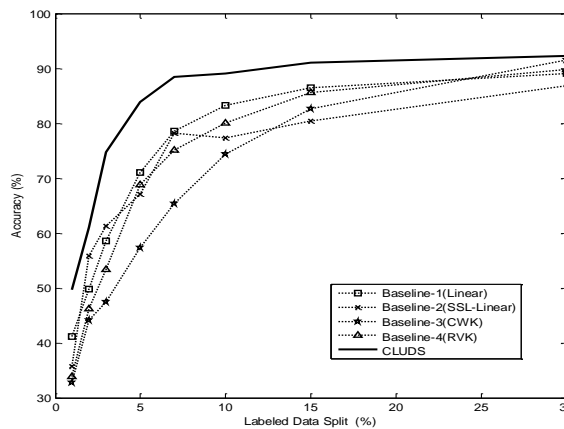


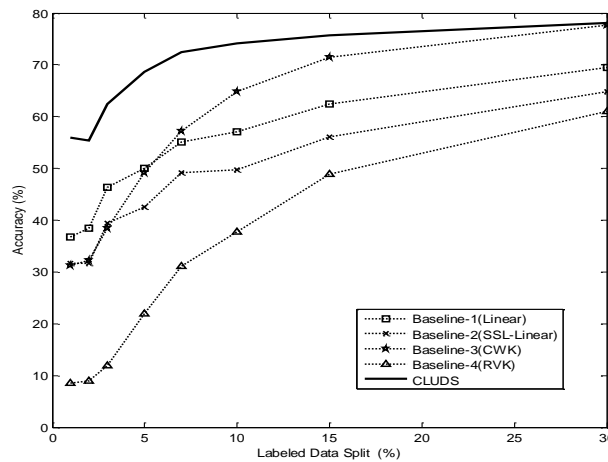
Figure 5. Classification Accuracies of Linear, SSL-Linear, CWK, RVK and CLUDS on 1150Haber Dataset

Sprinkling process also seems to advance the classification performance since the classification accuracies of Sprinkled-CLUDS are higher than the classification accuracies of CLUDS at most of the labeled set splits according to Table 3. This shows, the contribution of class labels into classification process, actually improves the classification capability of CLUDS.

**Table 3.** Classification Accuracies (%) of CLUDS and Sprinkled-CLUDS on 1150Haber Dataset

| Labeled % | Unlabeled % | CLUDS              | Sprinkled-CLUDS   |
|-----------|-------------|--------------------|-------------------|
| 1         | 79          | 49.7±9.76          | <b>50.01±1.63</b> |
| 2         | 78          | <b>61.04±10.11</b> | 60.94±2.23        |
| 3         | 77          | 74.7±4.12          | <b>75.10±2.03</b> |
| 5         | 75          | 83.91±5.09         | <b>83.95±1.94</b> |
| 7         | 73          | 88.43±2.95         | <b>88.81±0.26</b> |
| 10        | 70          | 89.09±1.63         | <b>89.11±0.39</b> |
| 15        | 65          | <b>91±2.1</b>      | 90.79±0.29        |
| 30        | 50          | <b>92.26±1.23</b>  | 92.10±2.45        |

The experimental results of all of the baseline algorithms and CLUDS in MiniNewsGroup dataset are shown in Figure 6. According to the results, CLUDS is superior to all other algorithms at every labeled set level in this dataset. For example, at labeled set level 2%, the classification accuracy of CLUDS is 55.4%, whereas the classification accuracies of linear, SSL-Linear, CWK and RVK are 38.42%, 31.68%, 32.67% and 8.93%, respectively.



**Figure 6.** Classification Accuracies of Linear, SSL-Linear, CWK, RVK and CLUDS on MiniNewsGroup Dataset

**5.2. Experiments with Short Texts**

The experimental results of SSL-Linear, CLUDS, Sprinkled-CLUDS and Adaptive Sprinkled-CLUDS on Twitter dataset are shown in Table 4. According to the experimental results, the performance improvement of CLUDS over SSL-Linear is 8.53% that is a great performance progress since it is very hard to find labeled data in real world cases. Furthermore, Sprinkled-CLUDS and Adaptive Sprinkled-CLUDS algorithms are also run on Twitter dataset. Adaptive Sprinkling (Chakraborti et al., 2007) is a kind of Sprinkling where the number of class label contribution is decided based on the confusion matrix. For example if two classes are not separated with high classification accuracy by a classifier then the number of class label contribution will be high while if two classes are separated with high classification accuracy by a classifier then the number of class label contribution will be low. According to the experimental results, reported on Table 4, the classification accuracies of CLUDS, Sprinkled-CLUDS and Adaptive Sprinkled-CLUDS algorithms are 69.62%, 69.79% and 69.84% at labeled set 1% on Twitter dataset. This means that both Sprinkling and Adaptive-Sprinkling processes improve CLUDS algorithm from the point of classification performance. Additionally, according to Table 4; the classification performance gain of CLUDS over SSL-Linear is more noticeable especially at small labeled set splits, which is more valuable for real world problems since it is really very difficult to get labeled data.

**Table 4.** Classification Accuracies (%) of SSL-Linear, CLUDS, Sprinkled-CLUDS and Adaptive Sprinkled-CLUDS on Twitter Dataset

| Labeled % | Unlabeled % | SSL-Linear | CLUDS      | Sprinkled-CLUDS | Adaptive Sprinkled-CLUDS | Performance Improvement of CLUDS over SSL-Linear |
|-----------|-------------|------------|------------|-----------------|--------------------------|--|
| 1         | 79          | 61.09±1.12 | 69.62±1.98 | 69.79±2.13      | 69.84±3.18               | <b>+8.53</b>                                     |
| 5         | 75          | 67.50±4.25 | 70.60±2.67 | 70.72±2.17      | 70.76±1.19               | <b>+3.1</b>                                      |
| 10        | 70          | 69.62±2.56 | 70.78±1.45 | 71.63±1.89      | 71.67±2.35               | <b>+1.16</b>                                     |
| 15        | 65          | 70.60±1.97 | 70.86±3.34 | 71.88±1.76      | 71.91±4.69               | <b>+0.26</b>                                     |

### 5.3. Experiments with Twitter Sentiment Polarity Dataset

In order to see the effect of CLUDS on sentiment polarity detection task, Twitter sentiment polarity detection dataset is prepared with BOW format and classified with the classifiers. According to the experimental results, CLUDS is superior to SSL-Linear at every labeled set level in this dataset. For example, at labeled set level 1%, the performance improvement of CLUDS over SSL-Linear is 5.06% that is a great performance progress since it is very hard to find labeled data in real world cases.

**Table 5.** Classification Accuracies (%) of SSL-Linear and CLUDS on Twitter Sentiment Polarity Dataset

| Labeled % | Unlabeled % | SSL-Linear | CLUDS      | Performance Improvement of CLUDS over SSL-Linear |
|-----------|-------------|------------|------------|--|
| 1         | 79          | 59.19±2.23 | 64.25±2.85 | <b>+5.06</b>                                     |
| 5         | 75          | 63.52±3.21 | 68.60±2.75 | <b>+5.08</b>                                     |
| 10        | 70          | 67.45±1.67 | 69.83±1.88 | <b>+2.38</b>                                     |
| 15        | 65          | 69.63±2.89 | 71.64±2.14 | <b>+2.01</b>                                     |

All the algorithms are run 10 times on each training set level by arbitrarily choosing the documents to build the training corpus. Then the average of these 10 classification accuracies are calculated. Furthermore, in the results tables we also report standard deviations. While the amount of labeled data increases in our experimental tables, we observe that the standard deviation behaves differently for different datasets and different test cases, sometimes increasing and sometimes decreasing. This is because the structure of each data set is different and there may be some noise generated when calculating the semantic values of the words by randomly selecting the training and test sets each time.

### 6. Conclusions and Future Work

Textual materials are broadly available on the Web. There are several kinds of methodologies that have been established for text classification. Nevertheless, text classification becomes more demanding when the textual materials have latent semantic connections. Extracting hidden semantic relationships from such unstructured form is a serious and hard task to perform. In this work, a novel semi-supervised semantic classification algorithm, CLUDS, is offered for text classification.

According to the experimental results, CLUDS effectively incorporates unlabeled samples into classifier. The highest gains of CLUDS over the remaining baseline algorithms are achieved in COMP dataset. For example, classification gains of CLUDS over SSL-linear are between 17.12% and 24.94% at labeled set levels 1%, 2%, 3%, 5%, 7%, 10%, 15%, 30%.

CLUDS is also applied on Twitter dataset since it seems superior to SSL-Linear at every labeled set level in this dataset. For example, at labeled set level 1%, the classification accuracy of CLUDS is 69.62%, whereas the classification accuracies of SSL-Linear is 61.09%. Consequently, the performance improvement of CLUDS over SSL-Linear is 8.53% that is a great performance progress since it is very hard to find labeled data in real world cases. To show the strength of the approach, it can be applied to further datasets.

Sprinkled-CLUDS and Adaptive-Sprinkled-CLUDS have also been implemented. Sprinkled-CLUDS has the same architecture like CLUDS with the only difference that is using extra sprinkling terms. This sprinkling process helps to extract latent class structures between documents. According to empirical evaluation results, sprinkling terms improve the classification accuracy in nearly most of the labeled set splits.

### Acknowledgement

This work is supported in part by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) grant number 118E315 and grant number 120E187. Points of view in this document is hers of the author and do not necessarily represent the official position or policies of the TÜBİTAK.

### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.



## References

- Ahmed, I., Ali, R., Guan, D., Lee, Y., Lee, S., Chung, T. 2015. Semi-Supervised Learning Using Frequent Itemset and Ensemble Learning for SMS Classification. *Expert Systems with Applications*, 42(3), 1065-1073.
- Akın, A. A., & Akın, M. D., 2007. Zemberek, an open source nlp framework for Turkish languages. *Structure*, 10, 1-5.
- Alsmadi, I., & Hoon, G. K., 2019. Term weighting scheme for short-text classification: Twitter corpuses. *Neural Computing and Applications*, 31(8), 3819-3831.
- Altinel, B., Diri, B., Ganiz, M.C., 2015. A Novel Semantic Smoothing Kernel for Text Classification with Class-based Weighting. *Knowledge-Based Systems*, 89(1), 265-277.
- Altinel, B., Ganiz, M. C., 2018. Semantic Text Classification: A Survey of Past and Recent Advances. *Information Processing & Management*, 54(6), 1129-1153.
- Amasyalı, M. F., Beken, A. Türkçe Kelimelerin Anlamsal Benzerliklerinin Ölçülmesi ve Metin Sınıflandırmada Kullanılması, In *Proceedings of IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU)*, 2009.
- Amor, B. R., Vuik, S. I., Callahan, R., Darzi, A., Yaliraki, S. N., & Barahona, M., 2016. Community detection and role identification in directed networks: Understanding the twitter network of the care. data debate. In *Dynamic networks and cyber*.
- Asiaee T, A., Tepper, M., Banerjee, A., & Sapiro, G., 2012. If you are happy and you know it... tweet. In *Proceedings of the 21st ACM international conference on Information and knowledge management*, 1602-1606.
- Bai, X., Padman, R., Airolidi, E., 2004. Sentiment Extraction From Unstructured Text Using Tabu Search-Enhanced Markov Blanket. *Carnegie Mellon University, School of Computer Science [Institute for Software Research International]*.
- Bengio, Y., Lamblin, P., Popovici, D., Larochelle, H. Greedy Layer-Wise Training of Deep Networks, 2007. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 19(1), 153-160.
- Biricik, G., Diri, B., Sönmez, A. C., 2009. A New Method for Attribute Extraction with Application on Text Classification, *Soft Computing. Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control (ICSCCW)*, Fifth IEEE International Conference 2009, 1-4.
- Biricik, G., Diri, B., Sönmez, A. C., 2012. Abstract Feature Extraction for Text Classification. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 2012, 20(1), 1137-1159.
- Blei, D. M., Ng, A. Y., & Jordan, M. I. (2003). Latent dirichlet allocation. *Journal of machine Learning research*, 3(Jan), 993-1022.
- Bloehdorn, S., Moschitti, A., 2007. Combined Syntactic and Semantic Kernels for Text Classification, *Springer*, 307-318.
- Bordes, A., Glorot, X., Weston, J., Bengio, Y., 2012. Joint Learning of Words and Meaning Representations for Open-Text Semantic Parsing. In *Proceedings of International Conference on Artificial Intelligence and Statistics*, 127-135.
- Blum, A. and Mitchell, T., 1998. Semi-Supervised Learning Literature Survey, In *Proceedings of Conf. on Computational Learning Theory*, 92-100.
- Chakraborti, S., Lothian, R., Wiratunga, N., Watt, S. Sprinkling: Supervised Latent Semantic Indexing. In *European Conference on Information Retrieval 2006*, 510-514. Springer Berlin Heidelberg.
- Chakraborti, S., Mukras, R., Lothian, R., Wiratunga, N., Watt, S. N., Harper, D. J. Supervised Latent Semantic Indexing Using Adaptive Sprinkling. In *Proceedings of International Joint Conferences on Artificial Intelligence Organization (IJCAI)*, 2007, 7(1), 1582-1587.
- Chapelle, O. and Zien, A., 2005. Semi-Supervised Classification by Low Density Separation, In *Proceedings of the Tenth International Workshop on Artificial Intelligence and Statistics*, 57-64.
- Chalothom, T., & Ellman, J., 2015. Simple approaches of sentiment analysis via ensemble learning. In *information science and applications* (pp. 631-639). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Chen, J., Huang, H., Tian, S., Qu, Y., 2009. Feature Selection for Text Classification with Naïve Bayes. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 5432-5435.
- Cho, Y., Hwang, J., & Lee, D., 2012. Identification of effective opinion leaders in the diffusion of technological innovation: A social network approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 79 (1), 97-106.
- Dahl, G., Ranzato, M., Mohamed, A-R., Hinton, GE., 2010. Phone Recognition with the Mean-Covariance Restricted Boltzmann Machine. In: *Advances in Neural Information Processing Systems*. Curran Associates, 469-477.
- Dahl, G., Yu, D., Deng, L., Acero, A., 2012. Context-Dependent Pre-trained Deep Neural Networks for Large-Vocabulary Speech Recognition. *IEEE Transactions of Audio Speech Language Processing*, 20(1), 30-42.
- Denecke, K., 2008. Using sentiwordnet for multilingual sentiment analysis. In *2008 IEEE 24th International Conference on Data Engineering Workshop*, 507-512. IEEE.
- Ferrara, E., Varol, O., Davis, C., Menczer, F., & Flammini, A., 2014. The rise of social bots. arXiv preprint arXiv: 1407.5225.
- Fung, B.C.M., 2003. Hierarchical Document Clustering Using Frequent Itemsets, In *Proceedings of International Conference on Data Mining*, 59-70.
- Graham, S., Weingart, S., & Milligan, I., 2012. Getting started with topic modeling and MALLET. The Editorial Board of the *Programming Historian*.
- Hinton, G., Deng, L., Yu, D., Dahl, G., Mohamed, A., Jaitly, N., Senior, A., Vanhoucke, V., Nguyen, P., Sainath, T., and Kingsbury, B., 2012. Deep Neural Networks for Acoustic Modeling in Speech Recognition, *IEEE Signal Processing Magazine*, 29(6), 82-97.
- Hinton, G., Osindero, S., Teh, Y-W., 2006. A Fast Learning Algorithm for Deep Belief Nets. *Neural Computation*, 18(7):1527-1554.
- Hu, X., Tang, J., & Liu, H., 2014a. Online social spammer detection. In *Twenty-Eighth AAAI Conference on Artificial Intelligence*.
- Hu, X., Tang, J., Gao, H., & Liu, H., 2014b. Social Spammer Detection with Sentiment Information. In *2014 IEEE International Conference on Data Mining* (pp. 180-189). IEEE.
- Hu, Y., Yi, Y., Yang, T., & Pan, Q., 2018. Short Text Classification with Convolutional Neural Networks Based Method. In *2018 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV)* (pp. 1432-1435). IEEE.
- Injadat, M., Salo, F., & Nassif, A. B., 2016. Data mining techniques in social media: A survey. *Neurocomputing*, 214, 654-670.
- Kalchbrenner, N., Grefenstette, E. and Blunsom, P., 2014. A convolutional neural network for modelling sentences. arXiv preprint arXiv:1404.2188.

- Kamber, I.H., Frank, E. Data Mining: Practical Machine Learning Tools And Techniques, 2nd Edition, Morgan Kaufmann, San Francisco, 2005.
- Kempe, D., Kleinberg, J., & Tardos, É., 2003. Maximizing the spread of influence through a social network. In Proceedings of the ninth acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining (pp. 137–146). ACM.
- Khan, F. H., Qamar, U., & Bashir, S., 2016. SentiMI: Introducing point-wise mutual information with SentiWordNet to improve sentiment polarity detection. *Applied Soft Computing*, 39, 140-153.
- Koehler, M., Greenhalgh, S., & Zellner, A., 2015. Potential Applications of Sentiment Analysis in Educational Research and Practice's SITE the Friendliest Conference?. In Society for Information Technology & Teacher Education International Conference (pp. 1348-1354). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Krizhevsky A., Sutskever, I., Hinton, G., 2012. Imagenet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. In: *Advances in Neural Information Processing Systems*. Curran Associates, 25(1), 1106–1114.
- Lan, M., Tan, C. L., Su, J., Lu, Y. 2009. Supervised and Traditional Term Weighting Methods for Automatic Text Categorization. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 31(4), 721-735.
- Liu YY, Yang M, Ramsay M, Li XS, Coid JW (2011) A comparison of logistic regression, classification and regression tree, and neural networks models in predicting violent re-offending. *J Quant Criminol* 27(4):547–553.
- Luo, L., Yang, Y., Chen, Z., & Wei, Y., 2018. Identifying opinion leaders with improved weighted LeaderRank in online learning communities. *International Journal of Performativity Engineering*, 14(2), 193-201.
- Mikolov, T., Karafiat, M., Burget, L., Cernocky, J., and Khudanpur, S., 2011. Recurrent Neural Network Based Language Model, In Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), 045–1048.
- Mishne, G. and Glance, NS, 2006. Predicting movie sales from blogger sentiment,” in AAAI 2006 Spring Symposium on Computational Approaches to Analyzing Weblogs.
- Moore, A. Support Vector Machines, Tutorial slides, <http://www.cs.cmu.edu/~awm>, 2003.
- Muslea, I., Minton, S., Knoblock, C.A., 2002. Active Semi-Supervised Learning In Robust Multi-View Learning. In Proceedings of the Nineteenth International Conference on Machine Learning.
- Nakagawa, T. Inui, K. and Kurohashi, S., 2010. Dependency tree-based sentiment classification using CRFs with hidden variables. In *Human Language Technologies: The 2010 Annual Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics*, 786–794. Association for Computational Linguistics.
- Nigam, K., McCallum, A. K., Thrun, S., Mitchell, T., 2000. Text Classification From Labeled And Unlabeled Documents Using EM, *Machine Learning*, 39(2/3), 103-134.
- Nigam, K., Ghani, R., 2000b. Analyzing the Effectiveness and Applicability of Co-Training. In Proceedings of the 9th ACM International Conference on Information and Knowledge Management, Washington, DC, 86–93.
- Pang, B., Lee, L., & Vaithyanathan, S., 2002. Thumbs up?: sentiment classification using machine learning techniques. In Proceedings of the ACL-02 conference on Empirical methods in natural language processing-Volume 10 (pp. 79-86). Association for Computational Linguistics.
- Papka, R., Allan, J., 1998. Document Classification Using Multiword Features, In Proceedings of the Seventh International Conference on Information and Knowledge Management Table of Contents, Bethesda, Maryland, United States, 124–131.
- Peng, F., Schuurmans, D., 2003. Combining Naive Bayes and n-Gram Language Models for Text Classification. In *European Conference on Information Retrieval*, 335-350. Springer Berlin Heidelberg.
- Peng, Q., & Zhong, M., 2014. Detecting Spam Review through Sentiment Analysis. *JSW*, 9(8), 2065-2072.
- Razon, A. R., Barnden, J. A., 2015. A New Approach to Automated Text Readability Classification based on Concept Indexing with Integrated Part-of-Speech n-Gram Features. *Recent Advances in Natural Language Processing*, 521-528.
- Reborto, D. S., C., 2012 Kernel Functions for Machine Learning Applications, <http://crsouza.com>.
- Rosenberg, C. et al., 2005. Semi-Supervised Self-Training of Object Detection Models, In Proc. 7th Workshop on Applications of Computer Vision, (1), 29-36.
- Salah, Z., Al-Ghuwairi, A. R. F., Baarah, A., Aloqaily, A., Qadoumi, B. A., Alhayek, M., & Alhijawi, B., 2019. A systematic review on opinion mining and sentiment analysis in social media. *International Journal of Business Information Systems*, 31(4), 530-554.
- Seide, F., Li, G., Yu, D., 2011. Conversational Speech Transcription Using Context-Dependent Deep Neural Networks. In Proceedings of International Symposium on Computer Architecture, 437–440.
- Shinnou, H., Xiao, L., Sasaki, M., Komiyama, K., 2015. Hybrid Method of Semi-supervised Learning and Feature Weighted Learning for Domain Adaptation of Document Classification, In Proceeding of the 29th Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation, 496-503.
- Silva, J., Coheur, L. Mendes, A.C. and Wichert, A., 2011. From symbolic to sub-symbolic information in question classification. *Artificial Intelligence Review*, 35(2):137–154.
- Song, G., Ye, Y., Du, X., Huang, X., Bie, S., 2014. Short Text Classification: A survey, *Journal of Multimedia*, 9/5, 635-643.
- Ucan, A., Naderalvojud, B., Akcapinar Sezer, E. and Sever, H., 2016. SentiWordNet for New Language: Automatic Translation Approach. 12th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems.
- Uysal, A. K., Gunal, S., 2014. Text Classification Using Genetic Algorithm Oriented Latent Semantic Features. *Expert Systems with Applications*, 41(13), 5938-5947.
- Van Eck, P. S., Jager, W., & Leeflang, P. S., 2011. Opinion leaders' role in innovation diffusion: A simulation study. *Journal of Product Innovation Management*, 28(2), 187-203.
- Wang, P., Xu, B., Xu, J., Tian, G., Liu, C. L., & Hao, H., 2016. Semantic expansion using word embedding clustering and convolutional neural network for improving short text classification. *Neurocomputing*, 174, 806-814.
- Wang, S. and Manning, C., 2012. Baselines and bigrams: Simple, good sentiment and topic classification. In Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Short Papers-Volume 2, pages 90–94. Association for Computational Linguistics.
- Yardi, S., Romero, D., & Schoenebeck, G., 2009. Detecting spam in a twitter network. *First Monday*, 15(1).
- Yarowsky, D., 1995. Unsupervised Word Sense Disambiguation Rivaling Supervised Methods. In Proceedings of the 33rd

- Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 189–196.
- Zeng, J., Li, J., Song, Y., Gao, C., Lyu, M. R., & King, I., 2018. Topic memory networks for short text classification. arXiv preprint arXiv:1809.03664.
- Zhao, Y., Li, S., & Jin, F., 2016a. Identification of influential nodes in social networks with community structure based on label propagation. *Neurocomputing*, 210, 34–44.
- Zhao, Q., Erdogdu, M. A., He, H. Y., Rajaraman, A., & Leskovec, J., 2015. Seismic: A self-exciting point process model for predicting tweet popularity. In *Proceedings of the 21th acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data min.*
- Zhou, X., Zhang, X., Hu, X., 2008. Semantic Smoothing for Bayesian Text Classification with Small Training Data. In *Proceedings of International Conference on Data Mining*, 289-300.
- Zhu, X. J., 2005. Semi-supervised Learning Literature Survey, Technical Report, Department of Computer Sciences, University of Wisconsin at Madison, Madison, WI.



## OPTIMUM PASSIVE TUNED MASS DAMPER SYSTEMS FOR MAIN STRUCTURES UNDER HARMONIC EXCITATION

Onur ARAZ\*

Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering,  
Gümüşhane, Turkey

| Keywords  | Abstract   |
|---|--|
| <i>Tuned Mass Damper, Dynamic Response, Optimization, Optimum Parameter, Simulated Annealing.</i> | To increase the effectiveness and robustness of a single Tuned mass damper (TMD), TMDs are connected in series or parallel to the main system. Unlike parallel TMDs (PTMD), series TMDs (STMD) consist of only two different TMD units, each of which is connected to the main structure in series. The optimum parameters of series and parallel TMDs are obtained by using the simulated annealing (SA) algorithm in this study. It is aimed to minimize the displacement in the main system in obtaining the optimum parameters. Also, the explicit formulas that can be easily used for the optimum design of both TMD devices are derived using the curve-fitting technique. The control performance of the optimum STMD device is confirmed through numerical analyses and compared with classical TMD and PTMD. |

## HARMONİK ETKİ ALTINDAKİ ANA YAPILAR İÇİN OPTİMUM PASİF AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ SİSTEMLER

| Anahtar Kelimeler  | Öz  |
|--|---|
| <i>Ayarlı Kütle Sönümleyici, Dinamik Davranış, Optimizasyon, Optimum Parametre, Benzetilmiş Tavlama.</i> | Tek bir ayarlı kütle sönümleyicinin (AKS) etkinliğini ve sağlamlığını artırmak için, AKS'ler ana sisteme paralel ya da seri olarak bağlanırlar. Paralel bağlı AKS'lerden farklı olarak seri bağlı AKS'ler ana sisteme seri olarak bağlı iki farklı AKS'den meydana gelmektedir. Bu çalışmada seri ve paralel bağlı AKS'lerin optimum parametreleri benzetilmiş tavlama algoritması kullanılarak elde edilmiştir. Optimum parametrelerin elde edilmesinde ana sistemdeki yer değiştirmenin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, her iki AKS cihazının optimum tasarımı için kolayca kullanılabilen açık formüller, eğri uydurma tekniği kullanılarak türetilmiştir. Optimum seri bağlı AKS sisteminin kontrol performansı sayısal analizlerle doğrulanmış ve klasik AKS ve paralel bağlı AKS ile karşılaştırılmıştır. |

### Alıntı / Cite

Araz, O., (2021). Optimum Passive Tuned Mass Damper Systems For Main Structures Under Harmonic Excitation, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(4), 1062-1071.

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

O. Araz, 0000-0002-6218-0559

### Makale Süreci / Article Process

|   |            |
|---|------------|
| <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 01.03.2021 |
| <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 23.07.2021 |
| <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 08.09.2021 |
| <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

### 1. Introduction

TMDs are very effective in mitigating the dynamic vibrations of the structures and it is a device consisting of a spring, a damper and a mass. The TMDs are usually tuned to the dominant frequency of the structure. Because of mechanical simplicity, small requirements and low cost for maintenance, TMD is commonly used in various real-life structures.

The TMD systems have often been applied for suppressing the vibrations induced on real structures under undesirable excitations. Historically, many investigators have contributed to the improvement of TMD systems.

\* İlgili yazar / Corresponding author: onuraraz29@hotmail.com, +90-456-233-1645

Den Hartog (1956) proposed a closed form solution to minimize the vibrations of undamped primary structure under harmonic loads and also obtained optimum parameters for TMD. Later, numerous investigators have investigated the optimum design of the TMD under different external excitations (Fujino and Abe, 1993, Rana and Soong, 1998, Leung et al., 2008, Matta, 2013, Salvi and Rizzi, 2016, Cetin et al., 2017, Bekdaş et al., 2018, Cetin et al., 2019, Aydin et al., 2020).

The studies mentioned above are concerned with tuning TMD to a dominant frequency of the main system. However, single TMD is very sensitive to any deviation in the frequency of TMD and/or the main system. Errors in identifying the main system frequency or in manufacturing TMD lead to the detuning effect. To overcome the detuning due to a frequency deviation in the main system or TMD, Xu and Igusa (1992) proposed to use parallel TMDs (PTMD) instead of classic single TMD. The optimal parameters of PTMD system have received considerable attention from researchers since the invention of this device because of its significant number of dynamic parameters. Thus, many studies on the design method and control effectiveness have been theoretically performed (Bakre and Jangid, 2004, Li and Ni, 2007, Mohebbi et al., 2015, Kim and Lee, 2018). These studies show that optimally designed PTMD is more effective and robust than a single TMD in reducing structural vibrations.

Most of the previous research on TMD devices are concerned with obtaining optimum parameters of single TMD and PTMD and their control effectiveness. Only a few researchers have investigated the practical applications of STMD for an undamped structure due to various external excitations. Li and Zhu (2006) studied the performance of STMD system attached to an undamped main system excited by ground acceleration. Then, the performance of STMD system is investigated on an undamped main structure excited by harmonic base excitations (Zuo, 2009, Asami, 2018, Asami et al., 2018).

The above-mentioned works related to the STMD mostly adopt its optimal design and effectiveness for an undamped system under different external excitations. According to the best of the authors' knowledge, the damped main system under harmonic excitation equipped with STMD system have not yet been studied. In addition, a comparative study on control performances of the passive control devices (i.e., TMD, PTMD and STMD) under errors in the structural parameter with different mass ratios has not been performed yet. The above state of the art leads to the motivation for further investigation of the TMD systems in this work. The main objectives of this paper are: (i) to determine the optimum parameters of both STMD and PTMD devices with the SA method, (ii) to derive explicit expressions using a curve-fitting scheme for practical applications of both STMD and PTMD devices, (iii) to compare the control performance and optimal parameters of the STMD and PTMD with respect to that of the classical TMD, and (iv) to study the detuning effect on their control effectiveness.

## 2. Structural Model

Figs. 1 (a) and (b) describe a PTMD and an STMD attached to main system, respectively. When the number of TMD units in the PTMD and STMD systems is equal to one, these devices denote the classical TMD.  $m_s$ ,  $c_s$  and  $k_s$  indicate the mass, damping constant and stiffness of the main system, respectively. The natural frequency and viscous damping ratio of the main structure denote  $\omega_s$  and  $\xi_s$ , respectively.  $m_j$ ,  $c_j$  and  $k_j$  are the mass, damping and stiffness of the  $j$ th TMD. And,  $\omega_j$  and  $\xi_j$  are the natural frequency and damping ratio of the TMD, respectively. The total degrees of freedom of the main system with TMDs is 3.

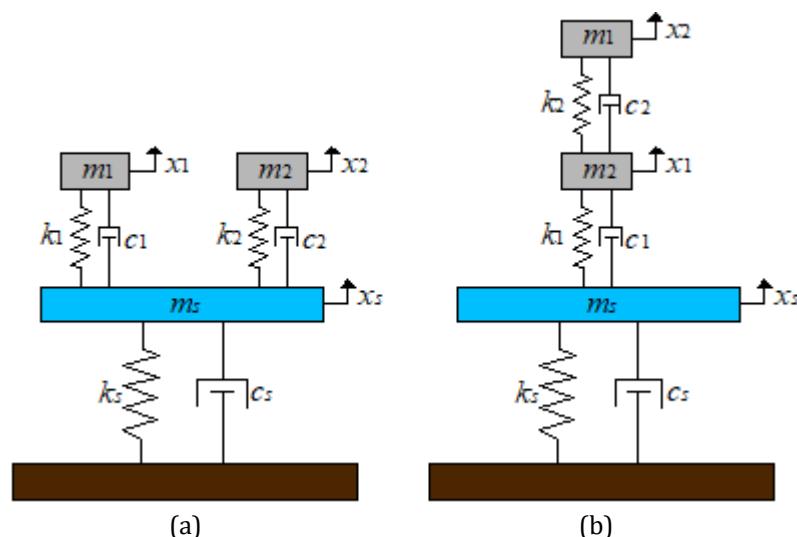


Figure 1. Structural system for (a) PTMD and (b)STMD devices, respectively

The equations of motion for a main system equipped with TMD devices shown in Fig. 1 can be expressed in a matrix form as

$$M\ddot{Y} + C\dot{Y} + KY = F \tag{1}$$

$M, C, K$  represent the mass, damping and stiffness matrices in the equation while  $stmd$  and  $ptmd$  subscripts represent the STMD and PTMD systems, respectively.  $F$  represents the external force vector.

$$M_{ptmd} = M_{stmd} = \begin{bmatrix} m_s & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$C_{ptmd} = \begin{bmatrix} c_s + \sum c_i & -c_1 & -c_2 \\ -c_1 & c_1 & 0 \\ -c_2 & 0 & c_2 \end{bmatrix}, C_{stmd} = \begin{bmatrix} c_s + c_1 & -c_1 & 0 \\ -c_1 & c_1 + c_2 & -c_2 \\ 0 & -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$K_{ptmd} = \begin{bmatrix} k_s + \sum k_i & -k_1 & -k_2 \\ -k_1 & k_1 & 0 \\ -k_2 & 0 & k_2 \end{bmatrix}, K_{stmd} = \begin{bmatrix} k_s + k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$Y_{ptmd} = Y_{stmd} = \begin{bmatrix} x_s \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$F_{ptmd} = F_{stmd} = \{f(t) \ 0 \ 0\}^T \tag{6}$$

where the external excitation force acting on the sdof structure is modeled by harmonic force expressed by

$$f(t) = f_o e^{i\omega t} \tag{7}$$

Here,  $f_o, \omega$  and  $t$  are the amplitude, circular frequency and time, respectively. The steady-state structural response under the harmonic excitation is expressed as

$$Y(\omega) = (-\omega^2[M] + i\omega[C] + [K])^{-1}f_o \tag{8}$$

Finally, the dynamic magnification factor (DMF) of the main structure is formulated as follows:

$$DMF = \frac{|Y(\omega)|}{f_o/k_s} \tag{9}$$

### 3. Optimization Procedure

General formulation of unconstrained optimization problems can be expressed as follow

$$\min J(q) \quad \text{with} \quad q^L \leq q \leq q^U \tag{10}$$

where  $q$  is termed as the design vector, which is defined as  $p$ -dimensional vector and  $J(q)$  denotes the objective function.  $q^U$  and  $q^L$  are the upper and lower bound vectors of the design variables, respectively.

The optimum parameters of the TMD are obtained by the Simulated Annealing (SA) method. Kirkpatrick et al. (1983) are the first to introduce the SA method, which has become a more popular method in solving optimization problems in the past several decades. The slow cooling of the molten metal is simulated by the SA method to obtain the minimum function value. By adding a temperature-like parameter is simulated the cooling phenomenon of the molten metal is simulated and the concept of Boltzmann's probability distribution is used to control the system. The flowchart of SA is given in Fig. 2.

The mass ratio  $\mu$  of the TMD system and damping ratio  $\xi_s$  of the main system are initially known. Therefore, there are two variables of optimization (i.e.  $\xi_1$  and  $f_1$ ) for the classical TMD;  $\xi_T, \beta$  and  $f_T$  are the three variables for the optimization of the PTMD;  $\xi_1, \xi_2, f_1, f_2$  and  $\mu_H$  are the five variables for the optimization of the STMD.

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{m_T}{m_s}, \quad \xi_i = \frac{c_i}{2m_i\omega_i}, \quad f_i = \frac{\omega_i}{\omega_s}, \quad i = 1,2 \\ \mu_H &= \frac{m_1}{m_2}, \quad f_T = \frac{\omega_T}{\omega_s}, \quad \beta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_T} \end{aligned} \tag{11}$$

where  $\xi_i$  and  $f_i$  are the damping ratio and frequency ratio of  $i$ th control device, respectively;  $\mu$  is the total mass ratio;  $\mu_H$  is the mass ratio of the smaller TMD to the larger one in STMD;  $m_T$  is the total mass of TMD units;  $\omega_T$ ,  $\beta$  and  $f_T$  represent the average frequency, frequency band-width and tuning frequency ratio of the PTMD, respectively.

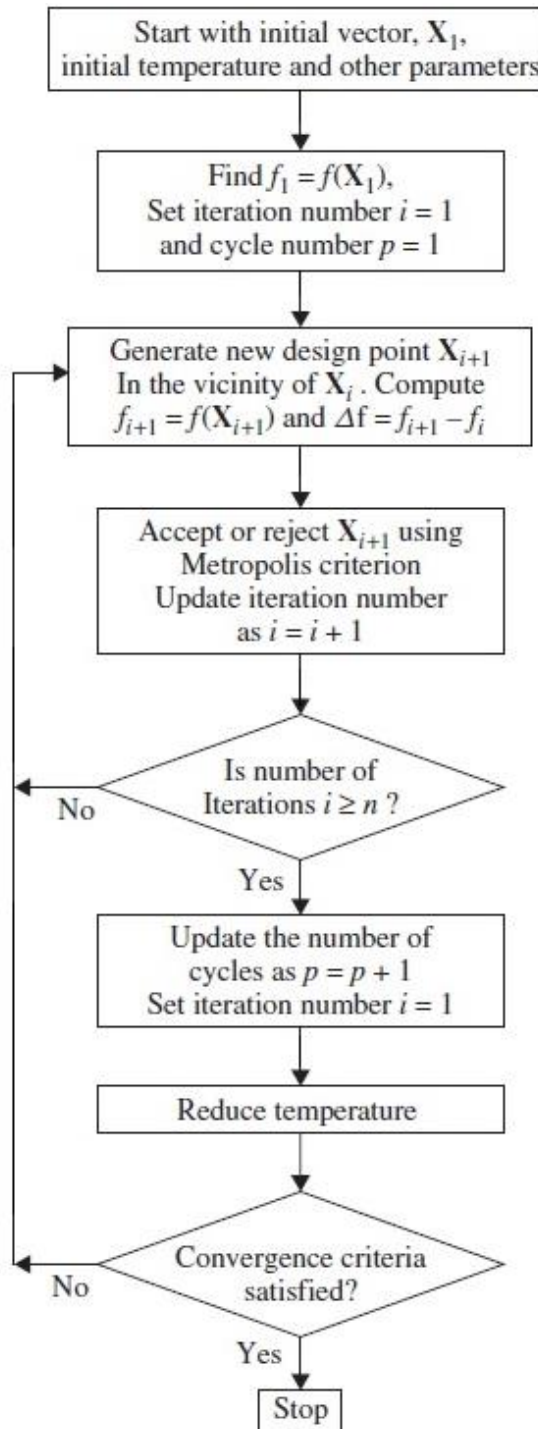


Figure 2. The flowchart of SA.

For TMD, PTMD and STMD, the following ranges are considered for the optimum design with the search increment of the variables set to be  $10^{-6}$ , respectively

$$0 \leq \xi_1 \leq 0.5; \quad 0.8 \leq f_1 \leq 1.2 \tag{12}$$

$$0 \leq \xi_T \leq 0.5; \quad 0.8 \leq f_T \leq 1.2; \quad 0 \leq \beta \leq 0.5 \tag{13}$$

$$0 \leq \xi_1 \leq 0.5; \quad 0 \leq \xi_2 \leq 0.5; \quad 0.8 \leq f_1 \leq 1.2; \tag{14}$$

$$0.8 \leq f_2 \leq 1.2; \quad 10^{-5} \leq \mu_H \leq 1$$

The natural frequency of the *j*th TMD in PTMD system is formulated as

$$\omega_j = \sqrt{k_j/m_j} = \omega_T \left[ 1 + \left( j - \frac{n+1}{2} \right) \frac{\beta}{n-1} \right] \tag{15}$$

$$\omega_T = \sum_{j=1}^n \frac{\omega_j}{n}; \quad \beta = \frac{\omega_n - \omega_1}{\omega_T} \tag{16}$$

where  $\beta$  and  $\omega_T$  are the frequency band-width and average frequency of the PTMD system, respectively. Also,  $n$  is the total number of TMDs in PTMD system. Here, each TMD in PTMD system is designed with identical damping ratio (i.e.,  $\xi_1 = \xi_2 = \xi_T$ ).

#### 4. Optimum Parameters of TMDs

By using SA optimization method, the optimal design parameters for various types of TMDs under the effect of external harmonic excitation are investigated in this section. These devices are a classical TMD, PTMD and STMD.

Den Hartog [2] developed closed-form expressions for the optimum parameters of TMD to reduce the steady-state response of an undamped main structure subjected to harmonic excitation. These expressions are given in Eq. (17). The results obtained by the proposed methodology are compared with results obtained through traditional TMD design methods in Fig. 3. As can be seen, the results obtained by both methods are very similar.

$$f = \frac{1}{1 + \mu}; \quad \xi = \sqrt{\frac{3\mu}{8(1 + \mu)}} \tag{17}$$

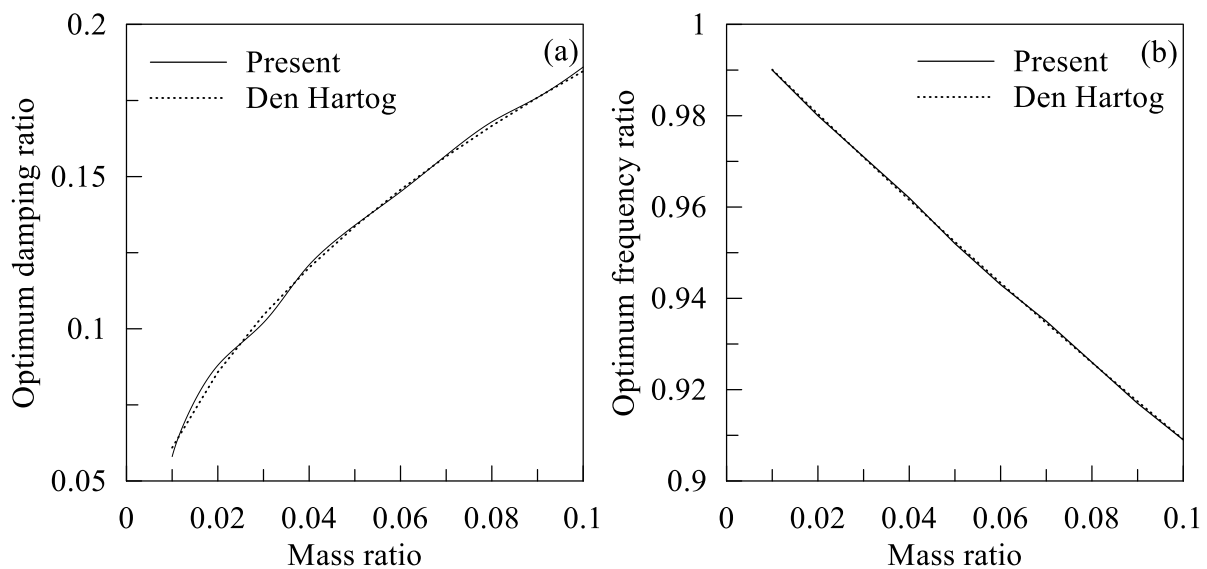


Figure 3. The optimum values obtained by both methods

Fig. 4 displays the relation curves between the optimum frequency ratio of 1st TMD in multiple TMDs and the mass ratio for  $\xi_s = 0\%$  and  $\xi_s = 5\%$ .  $\xi_s = 0\%$  and  $\xi_s = 5\%$  are denoted by markers 'o' and 'Δ', respectively. As a comparison, the optimum frequency ratio curves for single TMD are also plotted. As can be seen, the largest and smallest optimum frequency ratios are obtained for the STMD and PTMD systems, respectively. Fig. 4 also indicates that as the mass ratio decreases, the optimum frequency ratio of TMD and PTMD increases, whereas the optimum frequency ratio of STMD decreases. Further, the optimum frequency ratios increase with the decrease of the damping ratio of the main structure.



Fig. 5 depicts the relation curves between the optimum frequency ratio of 2nd TMD in multiple TMDs and the mass ratio for  $\xi_s = 0\%$  and  $\xi_s = 5\%$ . As it can be seen, the largest and smallest optimum frequency ratios are obtained for the PTMD and STMD systems, respectively. It can also be seen from Figure 5 that with increasing mass ratio, the optimum frequency ratio of STMD and TMD decreases yet the optimum frequency ratio of PTMD is distributed close to 1.0, that is its frequency is set close to the structural natural frequency. Moreover, as the damping ratio of the main structure decreases the optimal frequency ratios increase.

Fig. 6 displays the variation of the optimum damping ratio of 1st TMD in both TMD devices with regard to the mass ratio for  $\xi_s = 0\%$  and  $\xi_s = 5\%$ . As a comparison, the damping ratios of the classical TMD are also plotted. As it can be seen, the optimum damping ratio of the PTMD is smaller than those of the classical TMD. It has to be also that the damping ratio of the STMD for all mass ratios are zero. Furthermore, the optimal damping ratios increase as the damping ratio of the main structure and mass ratio increase.

Fig. 7 shows the variation of the optimum damping ratio of 2nd TMD in both TMD device with regard to the mass ratio for  $\xi_s = 0\%$  and  $\xi_s = 5\%$ . It is noted from Fig. 7 that the largest and smallest optimum damping ratios are obtained for the STMD and PTMD systems, respectively. Further, as the structural damping ratio and mass ratio increase, the optimal damping ratios increase.

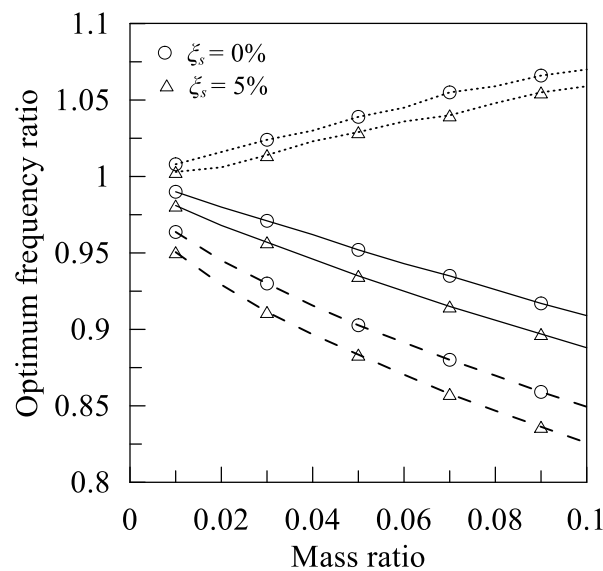


Figure 4. The relationship between the optimum frequency ratio of 1st TMD in multiple TMDs and the mass ratio (— TMD, - - - PTMD, ..... STMD)

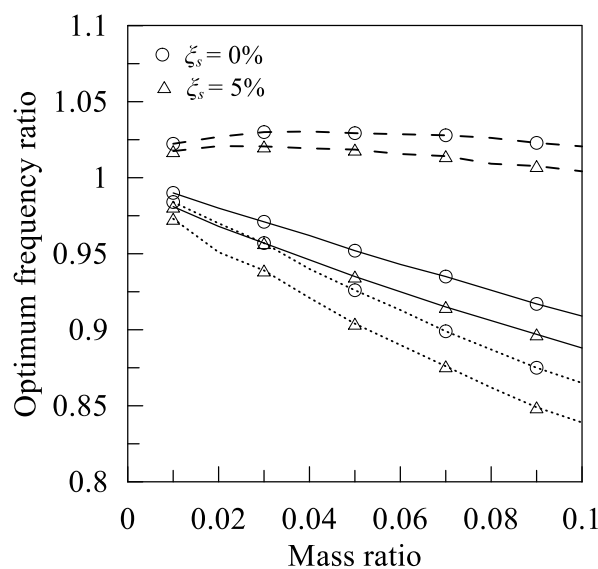


Figure 5. The relationship between the optimum frequency ratio of 2nd TMD in multiple TMDs and the mass ratio (— TMD, - - - PTMD, ..... STMD)

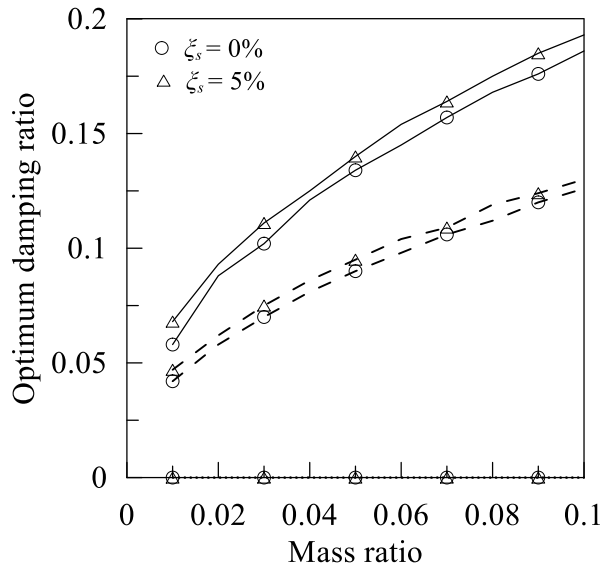


Figure 6. The relationship between the optimum damping ratio of 1st TMD in multiple TMDs and the mass ratio (— TMD, --- PTMD, ..... STMD)

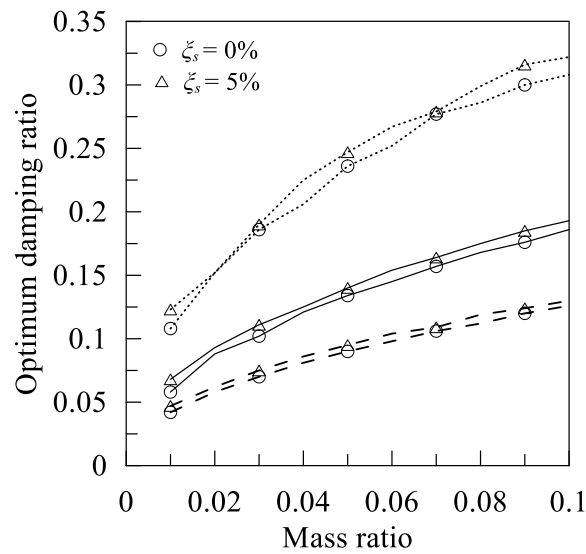


Figure 7. The relationship between the optimum damping ratio of 2nd TMD in multiple TMDs and the mass ratio (— TMD, --- PTMD, ..... STMD)

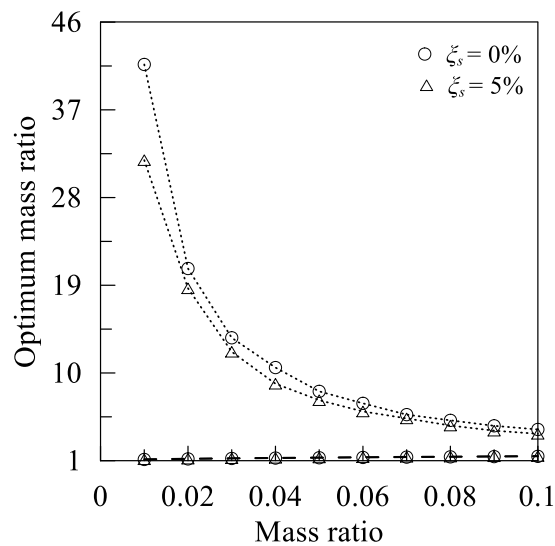


Figure 8. The relationship between the optimum mass ratio in multiple TMDs and the mass ratio (--- PTMD, ..... STMD)

The relationship curves between the optimum mass ratios of the two types of TMDs and the mass ratio are given in Fig. 8. Fig. 8 indicates that the optimum mass ratio of STMD increases with the decrease of the structural damping ratio and the mass ratio  $\mu$ . Also, it should be noted that the optimum mass ratio of PTMD is obtained close to 1.0, which means the mass of 1st TMD unit is obtained near to the mass of 2nd TMD unit.

The explicit formulas for the optimum design of three types of TMDs are given in Tables 1-3. Numbers in parenthesis are for R-square ( $R^2$ ) in Tables 1-3. Since these formulas are obtained in a very simple form, they can easily be used for optimum design of the TMDs. When an explicit expression is obtained by using a curve-fitting technique, its accuracy may be assessed by the R-square correlation between optimal and fitting values. If the R-square index gets closer to 1, a better fitting estimate is considered. Thus, the difference between optimal and fitting values is very small in this study. The maximum difference for any value of damping ratio and frequency ratio is observed to be 1.86 and 0.11%, respectively.

**Table 1.** Design formulas of the TMD system

| $\xi_s$ | $f_1$                          | $\xi_1$                       |
|---------|--------------------------------|-------------------------------|
| 0%      | $0.9989e^{-0.949\mu}$ (0.9998) | $0.5882\mu^{0.4964}$ (0.9972) |
| 5%      | $0.9894e^{-1.099\mu}$ (0.9983) | $0.5509\mu^{0.4556}$ (0.9995) |

**Table 2.** Design formulas of the PTMD system

| $\xi_s$ | $f_T$                          | $\xi_T$                       | $\beta$                       |
|---------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 0%      | $0.9994e^{-0.667\mu}$ (0.9997) | $0.3768\mu^{0.4778}$ (0.9998) | $0.5723\mu^{0.4927}$ (0.9999) |
| 5%      | $0.9903e^{-0.803\mu}$ (0.9985) | $0.3639\mu^{0.448}$ (0.9989)  | $0.5572\mu^{0.4560}$ (0.9998) |

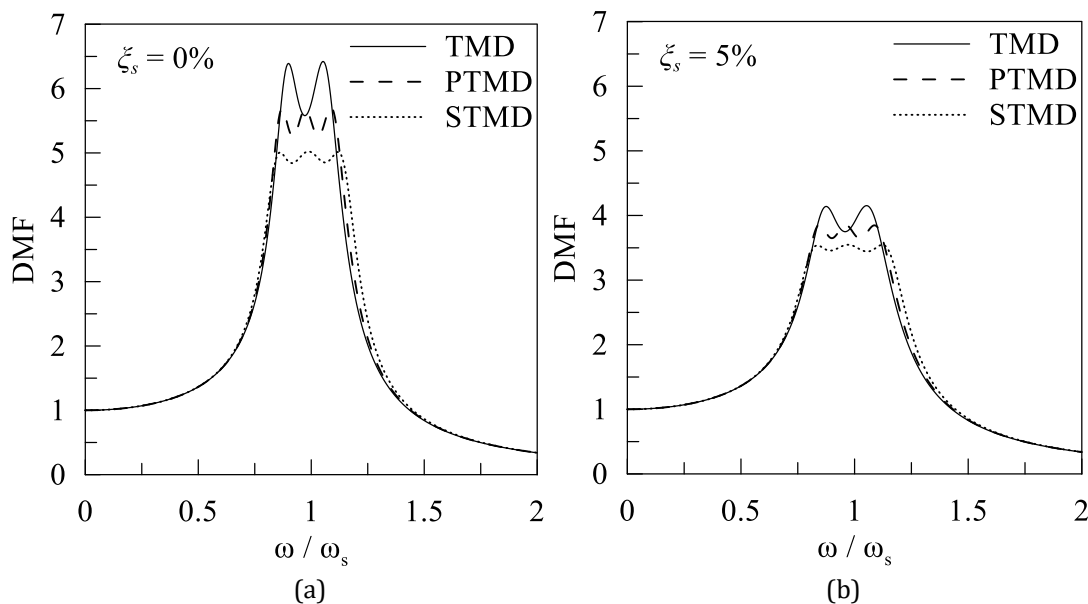
**Table 3.** Design formulas of the STMD system

| $\xi_s$ | $i$ | $f_i$                          | $\xi_i$                       | $\mu_H$                       |
|---------|-----|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 0%      | 1   | $1.0029e^{0.6783\mu}$ (0.9933) | 0 (none)                      | $0.4074\mu^{-1.004}$ (0.9996) |
|         | 2   | $0.9978e^{-1.46\mu}$ (0.9985)  | $0.9185\mu^{0.4608}$ (0.9970) |                               |
| 5%      | 1   | $0.9959e^{0.6321\mu}$ (0.9943) | 0 (none)                      | $0.4192\mu^{-0.952}$ (0.9977) |
|         | 2   | $0.9848e^{-1.649\mu}$ (0.9969) | $0.9072\mu^{0.4410}$ (0.9926) |                               |

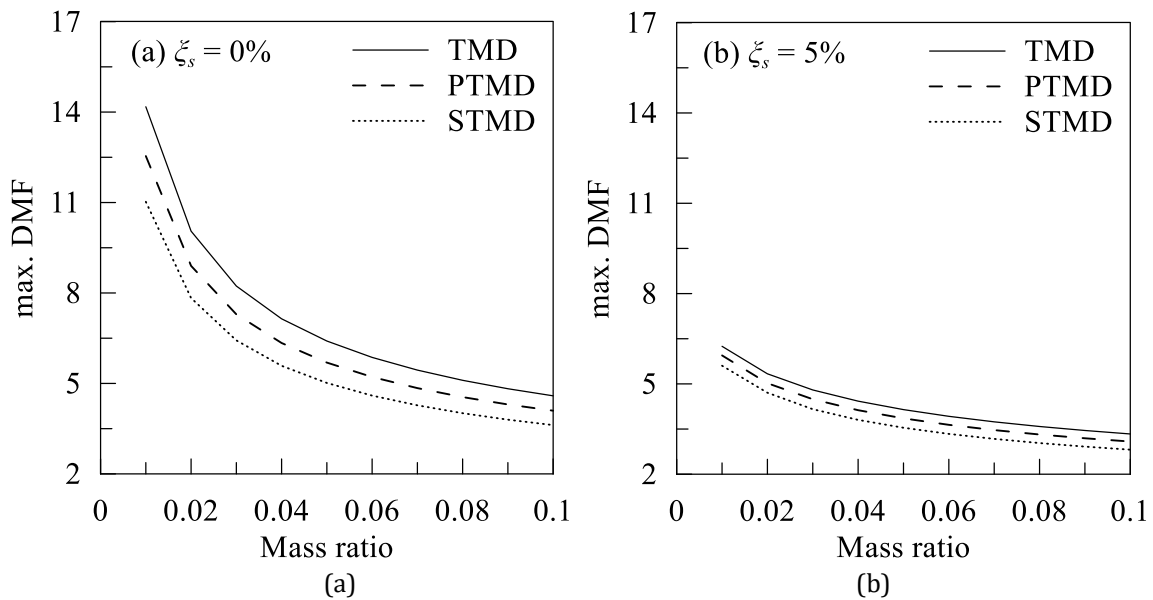
**5. Comparison of Control Performances**

In this section, the control performance of three systems available in suppressing the structural dynamic response is compared. The comparison is made based on DMF values.

In Fig. 9, the response DMF is plotted for both undamped ( $\xi_s = 0\%$ ) and damped ( $\xi_s = 5\%$ ) main systems, respectively. It is seen in these figures that the effectiveness of STMD system is the best, while PTMD system is better than a single TMD system.



**Figure 9.** DMF of the structure equipped with the optimum TMDs for  $\mu = 0.05$



**Figure 10.** The maximum DMF versus the mass ratio of TMDs.

Fig. 10 shows the variation of the maximum amplitude concerning the mass ratio for three optimum devices. Fig. 10 indicates that as the mass ratio increases, the values of the maximum amplitude decrease for three optimum TMD systems. Also, it should be noted that the optimum STMD offers a higher effectiveness than the optimum PTMD while the optimum TMD produces the worst control performance as compared with other TMD systems. Fig. 10(a) indicates that the maximum amplitude value of 5 is achieved by optimal designed STMD with  $\mu = 5.11\%$  while the same value is achieved by optimally designed TMD and PTMD systems with  $\mu = 8.48\%$  and  $6.64\%$ , respectively. As compared with STMD system, TMD and PTMD systems must have 65% and 30% additional mass ratios, respectively. The same results can also be obtained from Fig. 10(b).

## 6. Conclusions

The effectiveness and optimum parameters of PTMD and STMD for undamped ( $\xi_s = 0\%$ ) and damped ( $\xi_s = 5\%$ ) structures are investigated in detail. The optimization of the STMD is obtained by using the SA method. The conclusions can be summarized as follows.

- When the frequency ratio of the first TMD in the STMD and PTMD systems compares with the classical TMD, STMD system has the biggest, while TMD system has a bigger value than PTMD system. For the second TMD unit, PTMD has the biggest value, while TMD has a bigger value than STMD. The tuning frequency ratio decreases as the structural damping ratio increases.
- When the damping ratio of the first TMD in the STMD and PTMD systems compares with the classical TMD, TMD is the biggest, and PTMD is bigger than TMD. For the second TMD unit, STMD is the biggest, and TMD is bigger than PTMD. The tuning frequency ratio increases as the structural damping ratio increases.
- The optimum damping ratio of the first TMD in the STMD is obtained to be zero at all mass ratios. Thus, first TMD unit only consists of mass and stiffness.
- In the STMD system, the second TMD's optimum frequency ratio increases whereas the first TMD's optimum frequency ratio and second TMD's optimum damping ratio decreases with the increase of the mass ratio  $\mu$ .
- The STMD system has a better effectiveness to the changes in the structural natural frequency in comparison with the other systems.
- To achieve the same control performance with the three different TMD systems, TMD and PTMD must have 65% and 30% more mass ratio as compared with the STMD, respectively.

- The optimum STMD and PTMD with seven absorbers provide approximately the same control performance. Thus, the use of STMD in structural vibration suppression may be more economical than that of multiple parallel TMDs.

### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

### References

- Asami, T., 2017. Optimal Design of Double-Mass Dynamic Vibration Absorbers Arranged in Series or in Parallel. *J Vib Acoust*, 139(1), 011015.
- Asami, T., Mizukawa, Y., Ise, T., 2018. Optimal Design of Double-Mass Dynamic Vibration Absorbers Minimizing the Mobility Transfer Function. *J Vib Acoust*, 140(6), 061012.
- Aydin, E., Ozturk, B., Bogdanovic, A., Farsangi, E.N., 2020. Influence of Soil-Structure Interaction (SSI) on Optimal Design of Passive Damping Devices. (2020). *Structures*, 28, 847-862.
- Bekdaş, G., Nigdeli, S.M., Yang, X.S., 2018. A Novel Bat Algorithm Based Optimum Tuning of Mass Dampers for Improving the Seismic Safety of Structures. *Engineering Structures*, 159, 89–98.
- Bakre, S.V., Jangid, R.S., 2004. Optimum Multiple Tuned Mass Dampers for Base-Excited Damped Main System. *Int J Struct Stab Dyn*, 4(4), 527–542.
- Cetin, H., Aydin, E., Ozturk, B., 2017. Optimal Damper Allocation in Shear Buildings with Tuned Mass Dampers and Viscous Dampers. *International Journal of Earthquake and Impact Engineering*, 2(2), 89-120.
- Cetin, H., Aydin, E., Ozturk, B., 2019. Optimal Design and Distribution of Viscous Dampers for Shear Building Structures under Seismic Excitations. *Frontiers in Built Environment*, 5, 90.
- Den Hartog, J.P., 1956. *Mechanical Vibrations*. Dover, New York.
- Fujino, Y., Abe, M., 1993. Design Formulas for Tuned Mass Dampers based on a Perturbation Technique. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 22, 833-854.
- Kim, S.Y., Lee, C.H., 2018. Optimum Design of Linear Multiple Tuned Mass Dampers Subjected to White Noise Base Acceleration Considering Practical Configurations. *Eng Struct*, 171, 516-528, 2018.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., Vecchi, M.P., 1983. Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220(4598), 671-680.
- Leung, A.Y.T., Zhang, H., Cheng, C.C., Lee, Y.Y., 2008. Particle Swarm Optimization of TMD by Non-Stationary Base Excitation During Earthquake. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 37(9), 1223–1246.
- Li, C., Zhu, B., 2006. Estimating Double Tuned Mass Dampers for Structures under Ground Acceleration using a Novel Optimum Criterion. *J Sound Vib*, 298, 280-297.
- Li, H.N., Ni, X.L., 2007. Optimization of Non-Uniformly Distributed Multiple Tuned Mass Damper. *J Sound Vib*, 308, 80-97.
- Matta, E., 2013. Effectiveness of Tuned Mass Dampers against Ground Motion Pulses. *Journal of Structural Engineering*, 1339(2), 188–198.
- Mohebbi, M., Rasouli, H., Moradpour, S., 2015. Assessment of the design criteria effect on performance of multiple tuned mass dampers. *Adv Struct Eng*, 18(8), 1141-1158.
- Rana, R., Soong, T.T., 1998. Parametric Study and Simplified Design of Tuned Mass Dampers. *Engineering Structures*, 20(3), 193–204.
- Rao, S.S., 2009. *Engineering Optimization: Theory and Practice*. Wiley, New Jersey.
- Salvi J, Rizzi, E., 2016. Closed-Form Optimum Tuning Formulas for Passive Tuned Mass Dampers under Benchmark Excitations. *Smart Structures and Systems*, 17(2), 231–256.
- Xu K., Igusa, T., 1992. Dynamic Characteristics of Multiple Substructures with Closely Spaced Frequencies. *Earth. Eng Struct Dyn*, 21(12), 1059-1070.
- Zuo, L., 2009. Effective and Robust Vibration Control using Series Multiple Tuned-Mass Dampers. *J Vib Acoust*, 131, 031003.



## GRAVİTE DÜŞEY TÜREV VERİLERİYLE BATI KARADENİZ BÖLGESİNİN YAPI SINIRLARININ ARAŞTIRILMASI

Ali ELMAS<sup>1\*</sup>, Abdurrahman Yasir PARLAK<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

| Anahtar Kelimeler  | Öz  |
|--|---|
| <i>Eğim Açısı,<br/>Teta Açısı,<br/>Batı Karadeniz Bölgesi,<br/>Birinci Düşey Türev,<br/>Yapısal Süreksizlik.</i> | Bu çalışma ile EGM08 gravite verilerin düşey türev değerlerine toplam yatay türev, eğim açısı ve teta açısı yöntemleri uygulanarak Batı Karadeniz Bölgesi'nin jeolojik birimlerinin sınırlarının temel kaya seviyesinde araştırılması hedeflenmiştir. Bu süreksizlik sınırlarını ortaya çıkarırken, toplam yatay türevin maksimum genlik değerleri, eğim açısının sıfır genlik değerleri ile teta açısı haritasının maksimum genlik değerlerinden yararlanılmıştır. Belirlenen, yoğunluk farkından kaynaklanan sınırlar, çalışma alanının bilinen süreksizlikleri ile kıyaslanmıştır. Bu çalışmadaki sonuçlarla daha önceden yapılmış olan çalışmaların sonuçları arasında alaka olmasının yanı sıra, yeni süreksizlik sınırları tespit edilmiştir. Bunun yanında çalışma alanının yumuşak-sert sediman, temel kaya, Conrad, Moho ve litosfer-astenosfer topoğrafyalarının ortalama derinlikleri genlik spektrumu ile sırasıyla; 2.108 km, 6.055 km, 18.211 km, 34.611 km ve 62.485 km olarak hesaplanmıştır. Bulunan sonuçların daha sonradan yapılacak çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir. |

## INVESTIGATION OF THE MASS BORDERS OF THE WESTERN BLACK SEA REGION WITH GRAVITY VERTICAL DERIVATIVE DATA

| Keywords   | Abstract  |
|--|---|
| <i>Tilt Angle,<br/>Theta Angle,<br/>Western Black Sea Region,<br/>First Vertical Derivative,<br/>Structural Discontinuity.</i> | With this study, it is aimed to investigate the boundaries of the geological units of the Western Black Sea Region at the basement level by applying total horizontal derivative, tilt angle and theta angle methods to the vertical derivative values of EGM08 gravity data. While revealing these discontinuity limits, the maximum amplitude values of the total horizontal derivative, zero amplitude values of the tilt angle and the maximum amplitude values of the theta angle map were used. The limits arising from the density difference are compared with the known discontinuities of the study area. In addition to the relevance between the results of this study and the results of previous studies, new discontinuity limits have been identified. In addition, the average depths of the soft-hard sediman, basement, Conrad, Moho and lithosphere-asthenosphere topographies of the study area were calculated with the amplitude spectrum as 2.108 km, 6.055 km, 18.211 km, 34.611 km and 62.485 km, respectively. It is thought that the results found will shed light on future studies. |

### Alıntı / Cite

Elmas, A., Parlak, A.Y., (2021). Gravite düşey türev verileriyle Batı Karadeniz Bölgesinin yapı sınırlarının araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1072-1079.

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

Ali Elmas, 0000-0003-3343-2742  
A. Yasir Parlak, 0000-0001-9014-8970

### Makale Süreci / Article Process

|   |            |
|---|------------|
| <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 06.05.2021 |
| <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 11.07.2021 |
| <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 13.09.2021 |
| <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

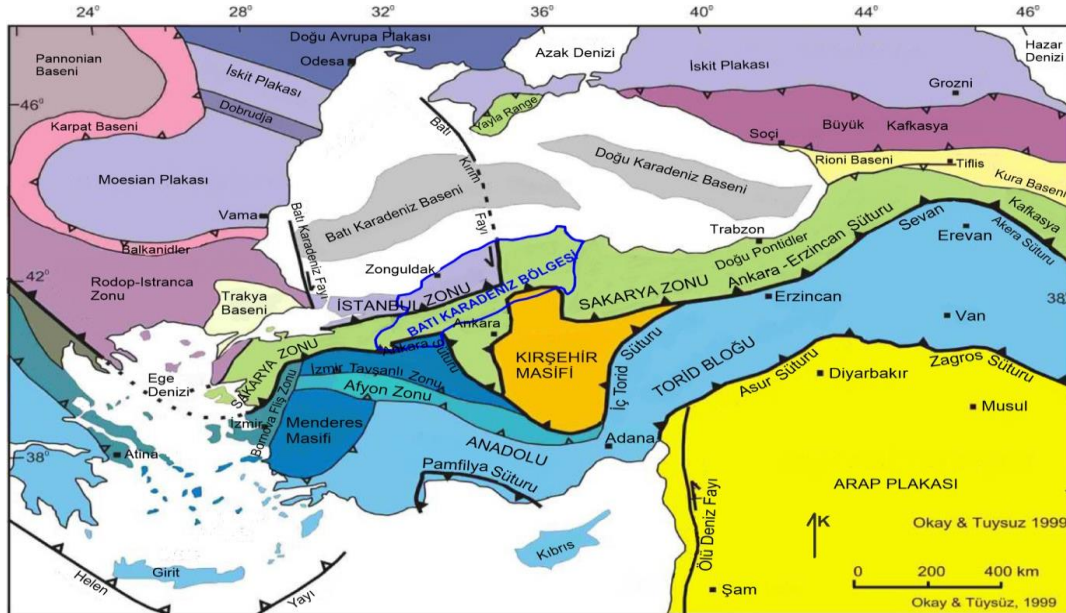
\* İlgili yazar / Corresponding author: aeaelmas@gmail.com, +90-462-377-3429

## 1. Giriş (Introduction)

Gravite yönteminde aranan yeraltı kütlelerinin sınırları 2 boyutlu model hesaplamalarıyla belirlenir (Çavşak ve Elmas, 2010,2014). Diğer taraftan, gravite yönteminde yapısal süreksizlik sınırlarının bulunması işlemleri toplam yatay türev (YTY), eğim açısı (EA) ve teta açısı (TA) metodları kullanılarak doğrudan gravite verileriyle yapılır (Cordell ve Grauch, 1985; Nabighian, 1972; Miller ve Singh, 1994; Cooper ve Cowan, 2006; Altınoğlu vd., 2015; Özyalın ve Kaftan, 2017; Altınoğlu, 2019). Verduzco vd., (2004), gravite verilerini kullanarak, sınır belirleme işlemleri için EA tekniğini tanıtmışlardır. Ayrıca, bu tekniğin manyetik verilere uygulanmasıyla kütle sınırlarını belirleme çalışmaları yapılmıştır (Wijns vd., 2005; Ekinci ve Kaya, 2006). Yeraltındaki hedef kütlelerin sınırlarını ve derinliklerini ortaya çıkarmak amacıyla, gravite verilerinin birinci düşey türev değerlerine, EA tekniğini uygulayarak, EA anomali haritasındaki  $\pm 0.785$  radyan konturları arasındaki yatay mesafenin yarısını kullanarak, aranan hedef kütlelerin derinliklerinin bulunabileceğini ilk defa Oruç (2010) ortaya koymuştur. Bu çalışmada mevcut teknikler, Batı Karadeniz Bölgesi'ne ait Bouguer gravite verilerinden hesaplanan rejyonel gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri kullanılmıştır. Hem Bouguer gravite verilerinden rejyonel gravite verilerini hesaplamak için, hem de rejyonel gravite verilerinin birinci düşey türev değerlerini hesaplamak için Arısoy ve Dikmen (2011) tarafından hazırlanmış POTENSOF yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, TYT, EA ve TA sınır analiz teknikleri ile yapılan hesaplamalar da yine bu yazılım kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Batı Karadeniz Bölgesi'nin jeolojik ve tektonik birimlerini ortaya çıkarmak için bir çok bilimsel çalışma yapılmıştır (Ketin, 1966; Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör v.d., 1984; Okay, 1989; Tüysüz, 1990; Ustaömer ve Rogers, 1999; Yiğitbaş v.d., 1999; Elmas ve Yiğitbaş, 2001). Bu çalışmada ise, Batı Karadeniz Bölgesi'ne ait Bouguer gravite verilerinden alçak geçişli süzgeçle hesaplanan rejyonel gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri kullanılarak, bölgenin tektonik yapı sınırları daha ayrıntılı olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, çalışma alanının yumuşak-sert sediman, temel kaya, Conrad, Moho ve litosfer-astenosfer ara yüzey topoğrafyalarının ortalama derinlikleri de logaritmik genlik spektrumu ile hesaplanmıştır. Tüm bu çalışmalardan sonra bölge'nin güncel tektonik yapısı ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

## 2. Bölgenin Jeolojisi (Geology of the Region)

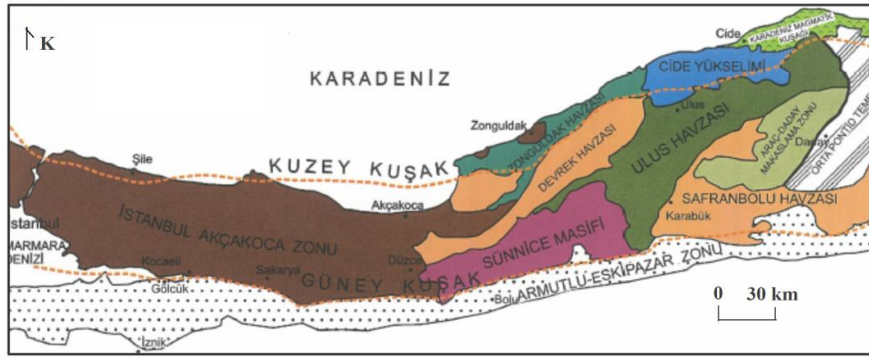
Türkiye'nin başlıca tektonik birimlerinden biri de Batı Karadeniz Bölgesidir. Bu bölgenin ve çevresinin ana tektonik birimleri Okay ve Tüysüz (1999) tarafından hazırlanmıştır (Şekil 1).



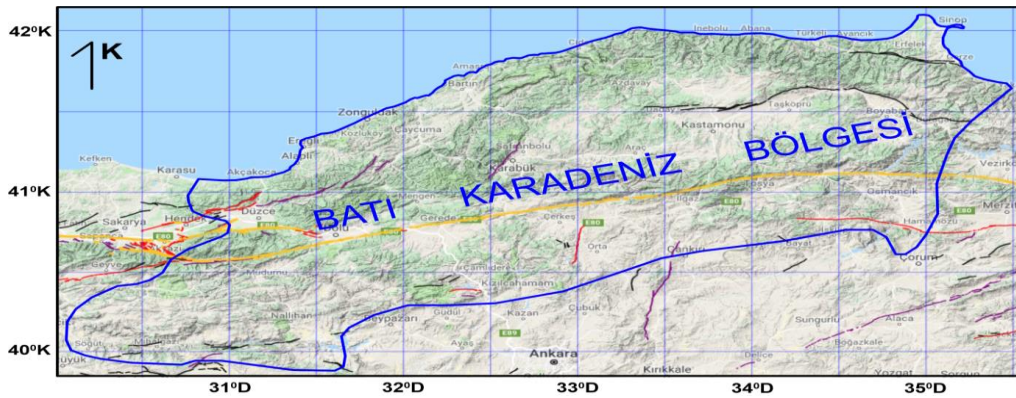
**Şekil 1.** Batı Karadeniz Bölgesi ve çevresinin ana tektonik birimleri (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilerek alınmıştır) (The main tectonic units of the Western Black Sea Region and its surroundings (modified from Okay and Tüysüz, 1999))

Ketin (1966) vasıtasıyla bu tektonik birim, güney karadeniz kesimindeki dağ kuşağını içine alacak bir şekilde Pontidler adı ile tanımlanmıştır. Bölgede yapılan daha sonraki çalışmalarda, Pontidler'in diğer kesimlerinden farklılıkları dikkate alınarak Batı Pontid (Şengör ve Yılmaz, 1981; Tüysüz, 1990), İstanbul napı (Şengör v.d., 1984), İstanbul zonu (Okay, 1989) gibi isimlerle literatüre geçmiştir. Çatalca civarından başlayarak doğuda bulunan Azdavay'a kadar uzanan, güneye doğru ise İntra-Pontid süturu (Şengör ve Yılmaz, 1981), diğer ismiyle Armutlu-Eskipazar zonu (Yiğitbaş v.d., 1999, Şekil 2) ve daha büyük oranda onu izleyen Kuzey Anadolu Fayıyla çevrilen bu alanın güney, doğu ve batısındaki diğer birimlerden en kayda değer farklılığı da temelinde yer alan Paleozoyik

yaşlı çökel tortulardır. Bu gibi Paleozoyik yaşlı istifler Kuzey Anadolu'daki diğer tektonik birimler içerisinde allohton ya da otokton olarak yer almazlar. Bölgenin aktif fay haritası da Şekil 3'de görülmektedir.



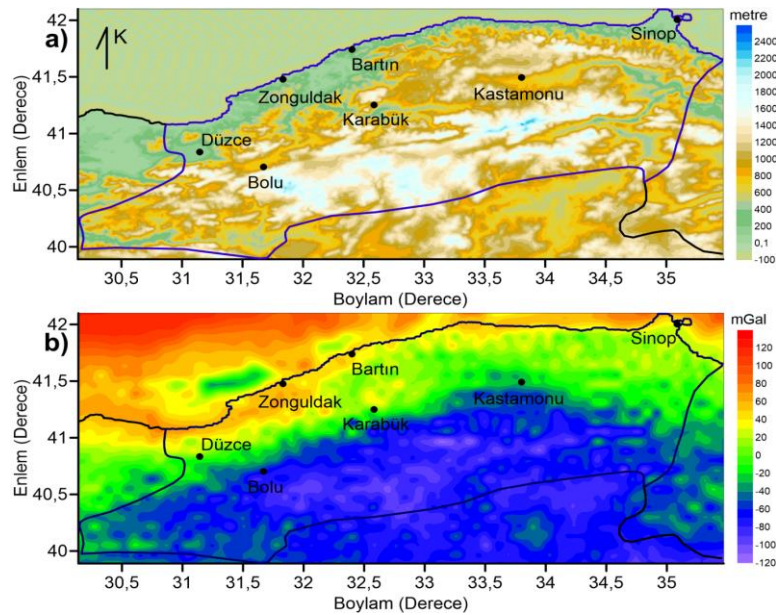
**Şekil 2.** Batı Karadeniz Bölgesi'nin tektonik birimleri (Yiğitbaş v.d., 1999'dan değiştirilerek alınmıştır) (Tectonic units of the Western Black Sea Region (modified and taken from Yiğitbaş et al., 1999))



**Şekil 3.** Batı Karadeniz Bölgesi'nin aktif fay haritası (Emre v.d., 2013'den alınmıştır) (Active fault map of the Western Black Sea Region (taken from Emre et al., 2013))

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

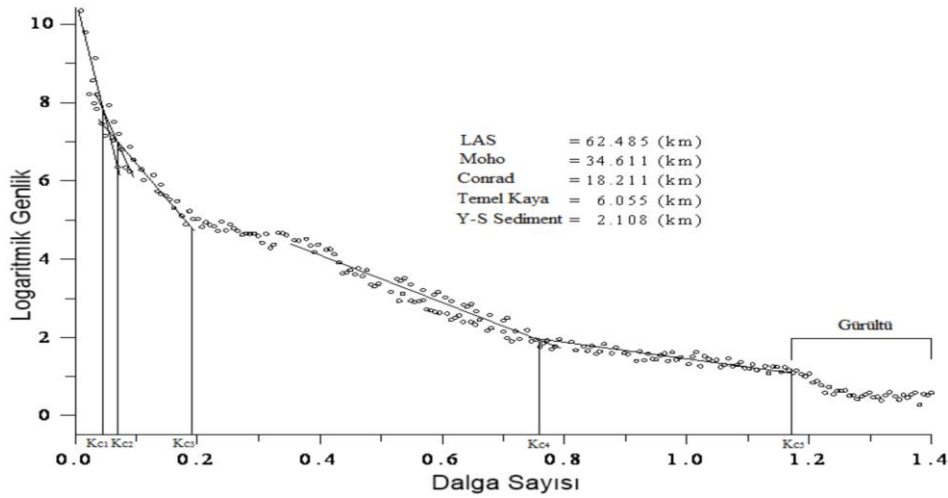
Şekil 4a'da verilmiş olan bölgeye ait topografya verileri USGS (1998)'den alınmıştır. Yüksek çözünürlüklü yeni Dünya Gravite Modeli 2008 (EGM08) yılında tanıtılmıştır (Pavlis et al., 2008). Çalışma alanına ait Bouguer gravite verileri EGM08 modelinden elde edilmiştir (Şekil 4b).



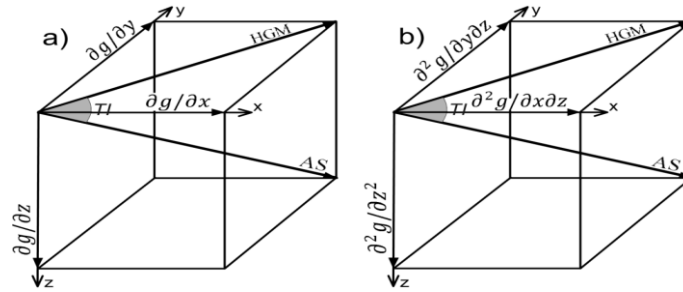
**Şekil 4. a)** Bölgenin topografya haritası (Topography map) **b)** Bouguer gravite anomali haritası (Bouguer gravity anomaly map of the region)



Bölgedeki ara tabaka yüzeylerinin ortalama derinlik değerleri, Bhattacharyya'nın (1967) geliştirdiği radyal ortalamalı genlik spektrum tekniğinden faydalanılarak bulunmuştur. İşlemler sonunda beş adet derinlik hesaplanmıştır (Şekil 5). Genlik spektrumu hesabı sonucu yumuşak-sert sediman, temel kaya, Conrad, Moho ve litosfer-astenosfer arayüzeylerine ait ortalama derinlikler sırasıyla 2.108 km, 6.055 km, 18.211 km, 34.611 km ve 62.485 km olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Çalışma alanının Bouguer gravitesinin genlik spektrumu ile ara tabaka yüzeylerinin derinlik değerleri (The amplitude spectrum of the Bouguer gravity of the study area and the depth values of the interface surfaces)



Şekil 6. a) Gravite alanı için şematik diyagram.  $\partial g/\partial x$ ,  $\partial g/\partial y$ ,  $\partial g/\partial z$  terimleri gravitenin ( $g$ ) birinci türevleridir (Schematic diagram for gravity field. The terms  $\partial g/\partial x$ ,  $\partial g/\partial y$ ,  $\partial g/\partial z$  are the first derivatives of gravity ( $g$ ) (Alvandi et al., 2014)), b) Gravite alanının birinci düşey türevi için şematik diyagram.  $\partial^2 g/\partial x\partial z$ ,  $\partial^2 g/\partial y\partial z$ ,  $\partial^2 g/\partial z^2$  terimleri gravitenin birinci düşey türevinin ( $\partial g/\partial z$ ) x, y ve z yönlerindeki türevleridir (Schematic diagram for the first vertical derivative of the gravity field. The terms  $\partial^2 g/\partial x\partial z$ ,  $\partial^2 g/\partial y\partial z$ ,  $\partial^2 g/\partial z^2$  are the derivatives of the first vertical derivative of gravity ( $\partial g/\partial z$ ) in the x, y and z directions (Oruç, 2010))

Gravite alanı ve gravitenin birinci düşey türevi için şematik diyagramlar Şekil 6a ve 6b'de görülmektedir (Oruç, 2010). Cordell ve Grauch (1985), yeraltındaki aranan hedef kütlelerin yanal sınırlarını belirleyebilmek için, Formül 1'de görüldüğü gibi, TYT tekniğini geliştirmişlerdir. Bu teknik ile yapılan hesaplamalarda, yüksek genlikler kütle sınırlarında, bir bant şeklinde toplanırlar. Formül 1'de bu tekniğin eşitliği görülmektedir. Formül 1'de gravite değeri yerine, gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri yazılırsa, Formül 2 elde edilir (Oruç, 2010).

$$TYT = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (1)$$

$$TYT = \sqrt{\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}\right)^2} \quad (2)$$

Bu çalışmada kullanılan sınır analiz tekniklerinden ikincisi EA yöntemidir (Verduzco vd., 2004; Miller ve Singh, 1994). Formül 3 kullanılarak, gravite verilerinden EA hesaplamalarında sıfır konturlar ortaya çıkar. Bu sıfır konturlar yanal süreksizlik sınırlarını temsil etmektedir. Formül 3'de gravite değerleri yerine, gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri yazılırsa, Formül 4 elde edilir (Oruç, 2010). Ayrıca Oruç (2010), EA haritasındaki  $\pm 0.785$  radyan konturları arasındaki yatay mesafenin yarısının, kaynak derinliğine eşit olduğunu ortaya koymuştur.

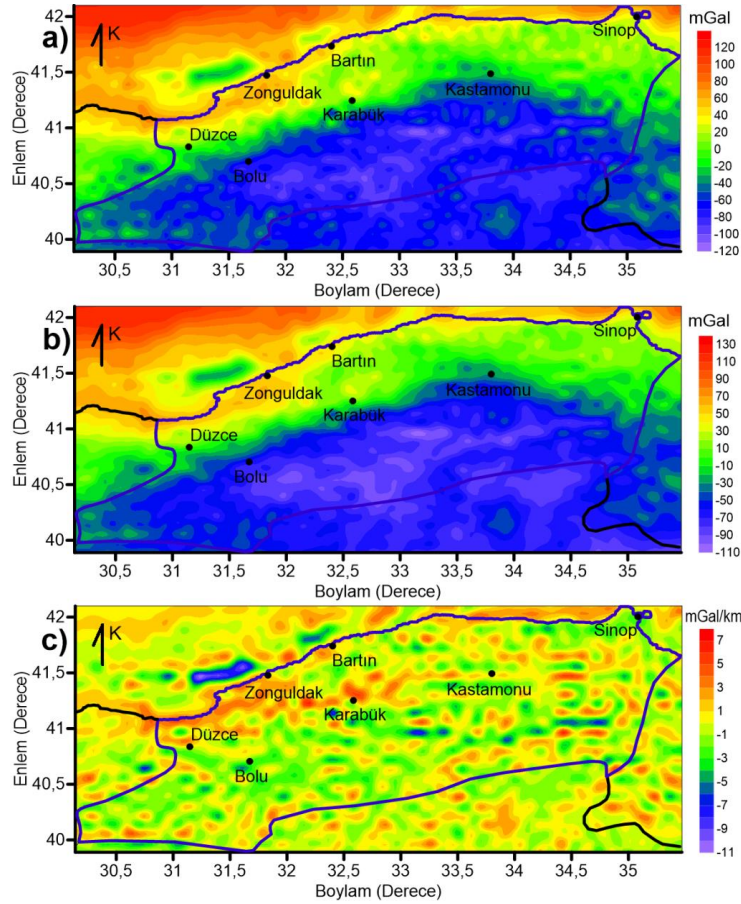
$$EA = \tan^{-1} \left( \frac{\frac{\partial g}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2}} \right) \quad (3)$$

$$EA = \tan^{-1} \left( \frac{\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}}{\sqrt{\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}\right)^2}} \right) \quad (4)$$

Bu çalışmada kullanılan sınır analiz tekniklerinin sonucusu olan TA tekniğini de Wijns vd. (2005) tanıtmıştır. Gravite verileri için TA genliği, toplam yatay türevin analitik sinyale oranıdır (Formül 5). TA genliği 0 - 1 aralığında değişir ve kütle sınırlarında maksimum değerler bir bant şeklinde toplanır (Wijns vd., 2005). Yeraltında aranan kütlelerin derinlikleri attıkça, kütle sınırları üzerinde oluşacak olan TA yüksek genlikli bantlarının genişliği artacaktır. Yüzeze yaklaştıkça, bu bantların genişliği azalacak ve bir çizgi görünümünde olacaktır. Formül 5'de gravite değerleri yerine, gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri yazılırsa, Formül 6 elde edilir.

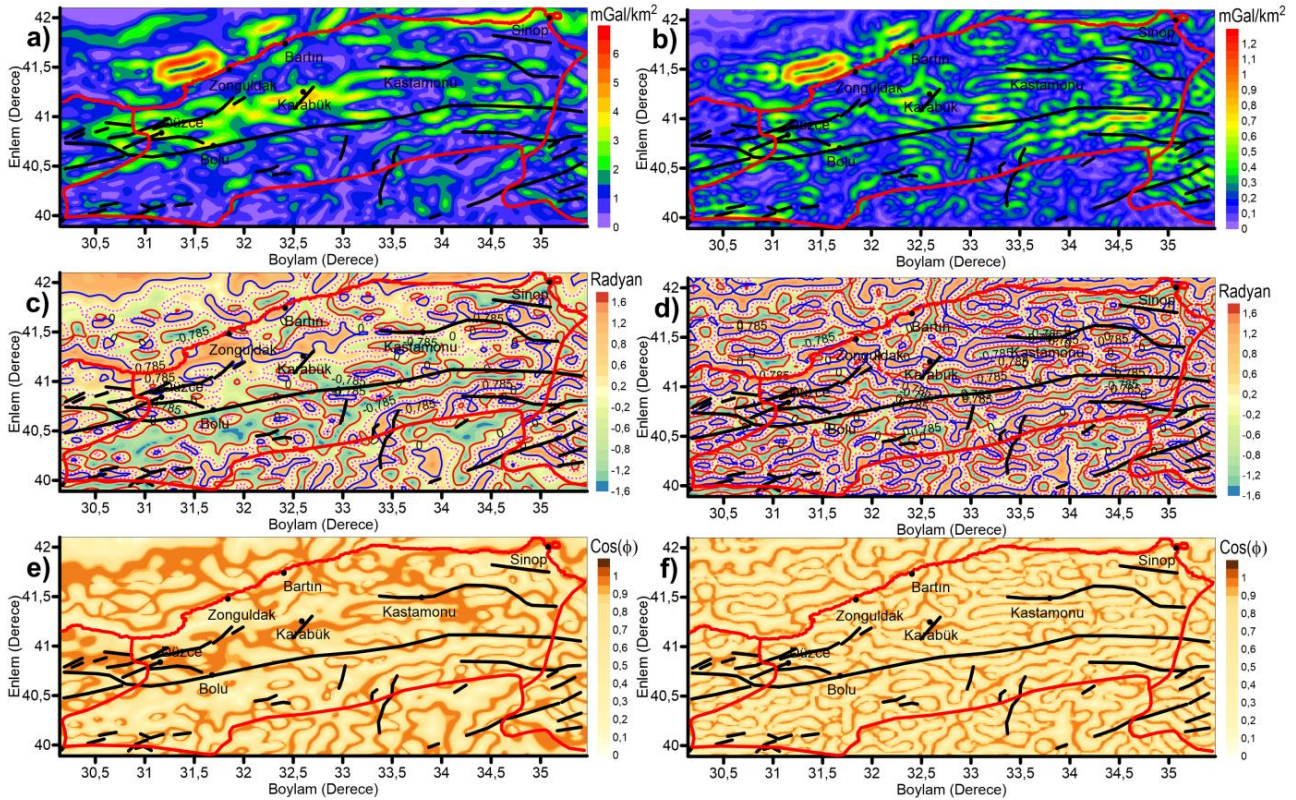
$$TA = \cos(TI) = \frac{\sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2}}{\sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial z}\right)^2}} \quad (5)$$

$$TA = \cos(TI) = \frac{\sqrt{\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}\right)^2}}{\sqrt{\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}\right)^2}} \quad (6)$$



**Şekil 7. a)** Bouguer gravite anomalisi (Bouguer gravity anomaly) **b)** rejonel gravite (regional gravity) **c)** rejonel gravitenin düşey türev anomalisi haritaları (vertical derivative anomaly maps of regional gravity)

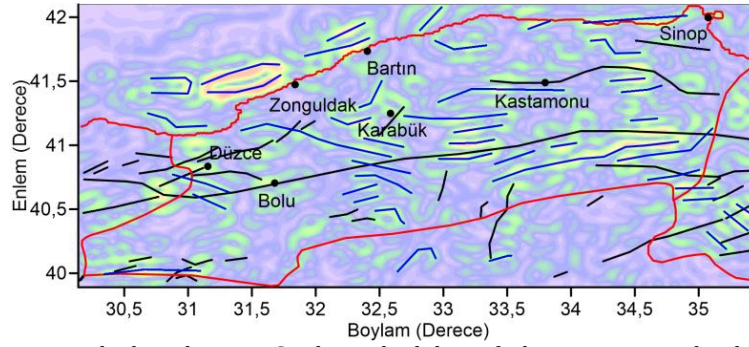
Yer altındaki hedef kütlelerin yanal sınırlarını ve derinliklerini belirlemek için yapılan hesaplamalarda, gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalar daha doğru sonuç vermektedir (Formül 2, 4 ve 6). Batı Karadeniz Bölgesi'ne ait Bouguer gravite, rejyonel gravite ve rejyonel gravitenin birinci düşey türev anomali haritaları Şekil 7a, 7b ve 7c'de görülmektedir. Belli kesme dalga sayısı ile ( $K_{c4} = 0.76 \text{ rad/km}$ ) alçak geçişli süzgeç kullanılarak Batı Karadeniz Bölgesi'nin rejyonel gravite verileri, Bouguer gravite verilerinden hesaplanmıştır. Sonra, hesaplanan rejyonel gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan birinci düşey türev değerleri kullanılarak, çalışma bölgesinin TYT, EA ve TA anomali haritaları bulunmuştur (Şekil 8b, 8d, 8f). Hesaplanan bu haritalarda, EA'nın sıfır kontur değerleri, TYT ve TA'nın yüksek genlikli değerleri izlenerek, temel kaya seviyelerindeki yoğunluk farkı sunan kütle sınırlarının yanal konumları belirlenebilir. Ayrıca, EA'nın  $\pm 0.785$  radyan konturları arasındaki yatay mesafenin yarısı kullanılarak, bu kütlelerin derinlikleri de bulunabilir. Bu işlem, çalışma alanının herhangi bir yerinde,  $\pm 0.785$  radyan konturları göz önünde bulundurularak yapılabilir (Şekil 8d).



**Şekil 8. a)** Rejyonel gravitenin TYT (TYT of regional gravity) **b)** birinci düşey türevin TYT (TYT of first vertical derivative) **c)** Rejyonel gravitenin EA (EA of regional gravity) **d)** birinci düşey türevin EA (EA of first vertical derivative) **e)** rejyonel gravitenin TA (TA of regional gravity) **f)** birinci düşey türevin TA haritaları. Siyah çizgiler bilinen fayları göstermektedir (TA maps of first vertical derivative. Black lines indicate known faults)

Literatürde yapılmış kuramsal model çalışmasında belirtildiği gibi, doğrudan gravite verileri kullanılarak hesaplanan Şekil 8a, 8c ve 8e'de belirlenen kütlelerin süreksizlik sınırlarının yanal konumları ve bu kütlelerin derinlikleri ile ilgili bilgiler, derinliğe bağlı olarak hata içerir (Altınoğlu vd., 2015; Özyalın ve Kaftan, 2017; Elmas, 2018a,b; Altınoğlu, 2019). Ancak, gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri kullanılarak hesaplanan Şekil 8b, 8d ve 8f'de belirlenen süreksizliklerin, bölgenin tektonik yapısına karşılık geldiği söylenebilir. EA'nın sıfır genlik değerleri, TYT ve TA'nın yüksek genlik değerleri birimlerin çeşitli yönlerde uzandıklarını ortaya koymaktadır (Şekil 8b, 8d ve 8f). Şekil 8b'ye bakılacak olursa, çalışma alanında temel kaya seviyelerindeki yoğunluk farkı sunan kütlelerin yanal sınırlarının uzanımları açıkça görülebilmektedir. Bu şekil üzerinde, bazı kısımlarda TYT'in yüksek genlik değerleri görülememektedir. Bu kısımlar ya yeterince yoğunluk farkına sahip değildir, ya da daha derindedirler. Temel kaya seviyelerinde, temel kaya üst yüzeyine yakın süreksizlik sınırları açık bir biçimde görülebilmektedir. Diğer taraftan, hem derindeki ve hem de temel kaya yüzeyine yakın süreksizlik sınırlarının tamamı EA ve TA haritalarında görülebilmektedir (Şekil 8d ve 8f). Bu süreksizlikler, Şekil 8d'de sıfır EA konturu takip edilerek, Şekil 8f'de ise bant şeklindeki yüksek TA genli değerleri takip edilerek izlenebilir. Bu bantların genişliğindeki artma, kütlelerin derinliğindeki artma ile doğru orantılıdır. Bu bantın genişliğindeki daralma, aranan kütlelerin derinliğinin, temel kaya üst yüzeyine yakın olduğunu ifade eder. Bu, sadece nitel bir değerlendirmedir. Oysa, Şekil 8 d'deki  $\pm 0.785$  radyan EA konturları arasındaki yatay mesafenin yarısı dikkate alınarak, aranan kütlelerin derinlikleri nicel olarak hesaplanabilir. Şekil 9'da, Batı Karadeniz Bölgesi'nin temel kaya seviyelerinde, temel kaya yüzeyine yakın yoğunluk farkı sunan süreksizlik sınırlarının dağılımı mavi renkli çizgilerle belirtilmiştir.

Bu çizgilere bakıldığında, bulunan süreksizlikler bazı kısımlarda bilinen faylara paralel uzanmakta iken, bazı kısımlarda da değişik açılarla bu fayları kestikleri görülmektedir.



**Şekil 9.** Çalışma alanının güncel tektonik yapısı. Siyah çizgiler bilinen fayları ve mavi çizgiler de bulunan çizgisellikleri göstermektedir (Current tectonic structure of the study area. Black lines show known faults and blue lines show lineaments)

#### 4. Sonuç (Result)

Bu çalışmada öncelikle, Batı Karadeniz Bölgesi'nin Bouguer gravite verilerinin genlik spektrumu alınarak, bölgenin kabuk yapısında var olan yumuşak-sert sediman, temel kaya, Conrad, Moho ve litosfer-astenosfer arayüzeylerine ait ortalama derinlikler sırasıyla 2.108 km, 6.055 km, 18.211 km, 34.611 km ve 62.485 km olarak bulunmuştur. Diğer taraftan, Batı Karadeniz Bölgesi'nin Bouguer gravite verilerinden elde edilmiş rejyonel gravite verilerinin birinci düşey türev değerlerine üç farklı sınır analiz yöntemi uygulanarak, bölgenin temel kaya seviyelerinde ve temel kaya üst yüzeyine yakın olan kütlelerin sınırları, EA haritasının sıfır konturları, TYT ve TA haritalarının yüksek genlik değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca, EA haritasındaki  $\pm 0.785$  radyan konturları arasındaki yatay mesafenin yarısı kullanılarak, bölgede herhangi bir yerde, bu kütlelerin derinliklerinin hesaplanabilmesi için bir EA haritası sunulmuştur. Diğer taraftan, bu kütle derinlikleri nitel olarak TA haritasındaki yüksek genlik değerlerinin oluşturduğu bant genişliği takip edilerek belirlenebilmesi için bir TA haritası sunulmuştur. Son olarak da, Batı Karadeniz Bölgesi'nin güncel tektonik yapısı, TYT haritası değerlendirilerek ortaya konulmuştur.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

#### Kaynaklar (References)

- Altınoğlu, F.F., Sarı, M., Aydın, A., 2015. Detection of Lineaments in Denizli Basin of Western Anatolia Region Using Bouguer Gravity Data. *Pure and Applied Geophysics* 172, 415-425.
- Altınoğlu, F.F., 2019. Elazığ ili ve çevresinin çizgisel yapılarının gravite verisine sınır analizi teknikleri uygulanarak belirlenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(6), 785-793.
- Alvandi, A., Asil, R. H., 2014. Edge detection process of Qom salt dome gravity anomalies using hyperbolic tilt angle. *International Journal of Geomatics and Geosciences* 5(2), 209-224.
- Arısoy, M. Ö., Dikmen, Ü., 2011. Potensoft: MATLAB-based Software for potential field data processing, modelling and mapping. *Computer & Geosciences*, 37, 935-942.
- Bhattacharyya, B.K., 1967. Some general properties of potential fields in space and frequency domain: a review. *Geoexploration* 5 (3), 127-143.
- Cooper, G. R. J., Cowan, D. R., 2006. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computers and geosciences*, 32 (10), 1585-1591.
- Cordell, L., and Grauch, V.J.S., 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico, (Ed. Hinze, W.J.) *The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps*, Society of Exploration Geophysicists, 181-197.
- Çavşak, H. and Elmas, A., 2010. 3D Modeling Of Gravity Anomalies Using 2D Synthetic Models, *SDÜ Journal of Engineering Science and Design* Vol:1 No:2 pp.79-86
- Çavşak, H. and Elmas, A., 2014. Comparing of the 2D-3D Gravity Calculations in Cartesian Coordinates and 3D in Cartesian-Spherical Coordinates, *SDÜ Journal of Engineering Science and Design* Vol:2 No:2 pp.103-111
- Ekinci, Y.L. ve Kaya, M.A., 2006. Manyetik verilerde sınır analizi yöntemi kullanılarak gömülü arkeolojik yapı sınırlarının tanımlanması, *Yerbilimleri*, 27(2), 97-107.
- Elmas, A., 2018a. Kıbrıs Adasındaki Yapısal Süreksizliklerin EGM08 Gravite Verileri Kullanılarak Belirlenmesi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 42, 17-32 (DOI: 10.24232/jmd.434135).
- Elmas, A., 2018b. Türkiye'nin Tektonik Yapısının Gravite Verileri Kullanılarak Değerlendirilmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarımı Dergisi*, 6(2), 258-264 (DOI: 10.21923/jesd.371723).

- Elmas, A. ve Yiğitbaş, E., 2001. Ophiolite emplacement by strike-slip tectonics between the Pontide Zone and the Sakarya Continent in northwestern Anatolia, Turkey. *Geologische Rundschau*, 90, 257-269.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F., 2013. Açıklamalı 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30. Ankara- Türkiye.
- Ketin, I., 1966. Anadolunun tektonik birlikleri (Tectonic Units of Anatolian Asia Minor): Maden Tetkik Arama Enstitüsü Yayını, Ankara, 66: 20-34.
- Miller, H. G., 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.
- Okay, A.I. and Tüysüz, O., 1999, Tethyan sutures of northern Turkey. In "The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen" (eds. B. Durand, L. Jolivet, F. Horváth and M. Séranne), Geological Society, London, Special Publication 156, 475-515.
- Okay, A.I., 1989. Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey. A.M.C., Şengör (Ed) Tectonic evolution of the Tethyan region. Nato Advanced Science Institute (ASI) Series, C 259, 109-116.
- Oruç, B., 2010. Edge detection and depth estimation using a tilt angle map from gravity gradient data of the Kozaklı-Central Anatolia Region, Turkey. *Pure and Applied Geophysics*, DOI: 10.1007/s00024-010-0211-0.
- Özyalın, Ş ve Kaftan, İ., 2017. Gravite verilerinin sınır analizi yöntemleriyle değerlendirilmesi; Eskişehir örneği, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(6), 804-808.
- Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C., Factor, J. K., 2008. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008. EGU General Assembly 2008, Vienna, Austria, April 13-18, 2008. <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008>. (Ziyaret tarihi: 11 Şubat 2020).
- Şengör, A.M.C., and Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., and Sungurlu, O., 1984., Tectonics of the Mediterranean Cimmerides: Nature and evolution of the westwrn termination of Paleotethys. In: J.E. Dixon and A.H.F. Robertson (eds.), *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*: geological Society of London Special publication 17, 77-112.
- Tüysüz, O., 1990. Tectonic evolution of a part of the Tethyside orogenic collage: The Kargı massif. Northern Turkey. *Tectonics*, 9, 141-160.
- Ustaömer, P.A., and Rogers, G., 1999. The Bolu Massif: remnant of a pre-Early Ordovician active margin in the west Pontides, northern Turkey, *Geological Magazine*, 136, 5, 579-592.
- U.S. Geological Survey, Digital Elevation Models GTOPO30, Virginia, 1998. [http://webmap.ornl.gov/wcsdown/wcsdown.jsp?dg\\_id=10003\\_1](http://webmap.ornl.gov/wcsdown/wcsdown.jsp?dg_id=10003_1), (Ziyaret tarihi: 11 Şubat 2020).
- Verduzco, B., Fairhead, J.D., Green, C.M., Mackenzie, C., 2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *Leading Edge* 23. 116-119.
- Wijns, C., Perez, C., and Kowalczyk, P. (2005), Theta map: edge detection in magnetic data, *Geophysics* 70 (4) 39-43.
- Yiğitbaş, E., Elmas, A., and Yılmaz, Y., 1999. Pre-Cenozoic tectono-stratigraphic components of the Western Pontides and their geological evolution. *Geological Journal*, 34, 55-74.



## SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIMDA SERA GAZI ETKİSİNİ AZALTMAYA YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Duygu DEMİRTÜRK\*

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
Ankara, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Sürdürülebilirlik,  
Sera Gazı Emisyonu,  
Ulaşım Sektörü,  
Yol Yapım,  
Fosil Yakıt.*

### Öz

Ulaşım sektörü; çevre, toplum ve ekonomi üzerinde yarattığı küresel etkileri sebebiyle sürdürülebilirlik üzerine çalışılması gereken sektörlerin başında gelmektedir. Ulaşımında sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkışı, sera gazı emisyonundaki aşırı artışın bir sonucudur. Öyle ki; ülkelerin bu artışı kısıtlamaya ve önlemeye yönelik düzenlediği sözleşmeler, protokoller ve çalışmalar da bu konuyu desteklemektedir. Çalışmalarda, sera gazı emisyonuna birincil sebep olarak aşırı fosil yakıt kullanımı gösterilmekte olup karayolu ulaşımının bu kullanımında payının oldukça yüksek olduğu ifade edilmektedir. Bu sebeple literatürdeki sürdürülebilir ulaşım çalışmaları, ağırlıklı olarak fosil yakıt kullanımının azaltılmasına yönelik olup bu çalışmada yol yapım aşamasından başlanarak bu sürecin yürütülmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bir başka ifadeyle ulaşımında sürdürülebilirliğin bütüncül bir yaklaşıma ihtiyaç duyduğu belirtilmektedir. Çalışmada, özellikle Çin ve Amerika Birleşik Devleti gibi dünya genelinde sera gazı salınımında ilk sırada olan ülkelerin bu konuya dair çalışmalarına yer verilmiş olup başlıca önlemleri özet olarak sunulmaktadır. Son olarak, ülkemizde sera gazını azaltmaya dair yaklaşımların var olup olmadığından ve ülkemizin sürdürülebilir ulaşımındaki yerinden bahsedilmektedir.

## STUDIES TOWARDS REDUCING GREENHOUSE GAS EFFECT IN SUSTAINABLE TRANSPORTATION

### Keywords

*Sustainability,  
Greenhouse Gas Emission,  
Transportation Sector,  
Road Construction,  
Fossil Fuel.*

### Abstract

Transportation is a pioneer sector that should be studied on sustainability due to its global impact on the environment, society, and economy. The emergence of sustainability in transportation is a result of the excessive increase in greenhouse gas emissions. The conventions, protocols and studies organized by countries to restrict and prevent this increase also support the importance of the issue. In studies, excessive fossil fuel use is shown as the primary cause of greenhouse gas emissions, and the share of the highway in this use is quite high. Therefore, sustainability studies in transportation due to existing greenhouse gas emissions are mainly aimed at reducing the use of fossil fuels, while this study emphasizes that works should be carried out starting from the construction stage. In other words, sustainability in transportation needs a holistic approach. In the study, especially the studies of China and United States of America on the subject are included and the main measures are presented in summary. Finally, it is examined whether there are approaches of reducing greenhouse gases in our country and, accordingly, our country's position in sustainable transportation.

### Alıntı / Cite

Demirtürk, D., (2021). Sürdürülebilir Ulaşımında Sera Gazı Etkisini Azaltmaya Yönelik Çalışmalar, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1080-1092.

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

D. Demirtürk, 0000-0003-3237-7331

### Makale Süreci / Article Process

|   |            |
|---|------------|
| <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 04.05.2021 |
| <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 02.08.2021 |
| <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 11.09.2021 |
| <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

## 1. Giriş (Introduction)

Günümüzde yaşanan iklim değişiklikleri, doğal kaynakların giderek azalması, çevresel değişimler, toplumsal farklılıklar ve ekonomik krizler gibi etkiler ve nedenler insanlığın başta mevcut durumunu korumayı sonrasında ise gelecek nesiller için yaşanılabilir bir dünya bırakma anlayışını önemli kılmıştır. Bu anlayış, ülkelerin sadece ekonomik büyüme ile değil aynı zamanda çok yönlü bir dönüşüm sürecine dâhil olmaları halinde var olabilecekleri fikrini de beraberinde getirmiştir. Konuya ilişkin olarak 2019 yılında yayımlanan Küresel Sürdürülebilir Kalkınma Raporu da bu durumu destekler niteliktedir. Rapora göre sadece maddi malların tüketimini artırarak ekonomik büyüme yaratmanın artık küresel düzeyde geçerliliğinin kalmadığını ve öngörülerini doğru çıkar ise küresel malzeme kullanımının 2017-2060 yılları arasında 89 Gigaton'dan 167 Gigaton'a çıkacağını ve buna bağlı olarak sera gazı gibi küresel ısınmaya yol açan gaz emisyonlarının artacağını ifade etmiştir. Bu açıklama, sürdürülebilirlik kavramına olan farkındalığın daha da artmasına sebep olmuştur. Öyle ki son yıllarda ekonomik ve sosyal çevrede yaşanan değişiklikler ve dalgalanmalar da göz önüne alındığında sürdürülebilirlik kavramının dâhil olmadığı neredeyse hiçbir alan kalmamıştır. Dahası sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi konusu farklı bilim dalları kapsamında da birçok boyutuyla ele alınmıştır (Yavuz, 2010). Sürdürülebilirliğin gün geçtikçe yaygınlaşması ve dahil olduğu çalışma alanlarının artmasına rağmen "Sürdürülebilirlik" terimi için tanımlanması güç bir kelime olduğu da ifade edilmektedir (Plati, 2019). Bu duruma sebep olarak ise sürdürülebilirliğin çevre, toplum ve ekonomi kavramları ile birlikte anılması gösterilmektedir. Bu sebeple sürdürülebilirlik için genel ve açıklayıcı bir tanıma ihtiyaç duyulmaktadır. Konuya ilişkin olarak Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından 1987 yılında hazırlanan "Our Common Future" adlı raporda sürdürülebilirliğin tanımına yer verilmiştir. Tanıma göre sürdürülebilirlik; gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını (ekonomik, çevresel ve sosyal ihtiyaçlar) karşılama yeteneklerinden ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılayabilmesi olarak ifade edilmiştir (WCED, 1987). Kısaca her alanda sürdürülebilirlik, eldeki kaynakların mevcut ve gelecek nesiller için toplumsal, çevresel ve ekonomik etkileri ve sonuçları birlikte değerlendirildiğinde görevini yerine getirmiş olacaktır.

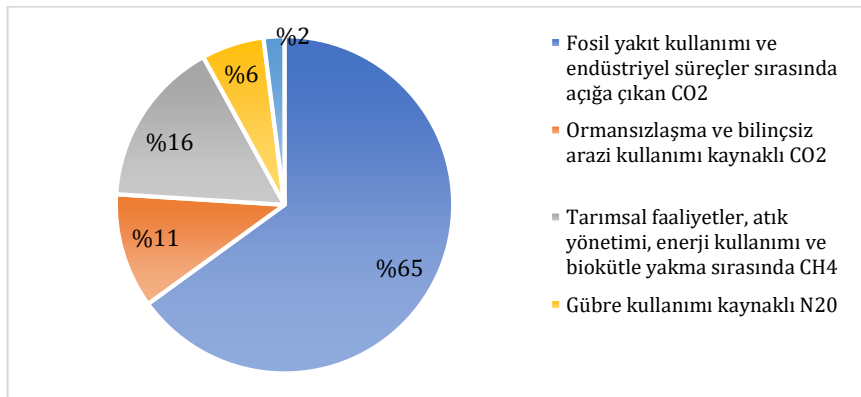
Toplumsal, çevresel ve ekonomik etkileri ülkemizde ve dünyada oldukça önemsenen inşaat sektörü de sürdürülebilirlik kavramı ile karşı karşıyadır. Özellikle doğal kaynakların önemli bir bölümünü kullanarak çevre kirliliğine sebep olan sektör; hammaddenin çıkarılması aşamasından başlayarak yapım, kullanım ve yıkım aşamalarında enerji kullanmakta olup sürdürülebilirlik konusu için cazip hale gelmiş durumdadır (Dikmen ve Gültekin, 2011). Zaten çevre, ekonomi ve toplum gibi kavramlarla birlikte çalışan bir sektör için sürdürülebilirlikten uzak durmak pek de mümkün değildir. Öyle ki; sürdürülebilir kalkınma, sürdürülebilir çevre, yeşil bina, akıllı ulaşım sistemleri gibi uygulamalar dünyada olduğu gibi ülkemizde de sıklıkla duyduğumuz veya duyacağımız kavramlar haline gelmiştir. Ulaşım sektörü de bu anlamda çevre, toplum ve ekonomi üzerinde yarattığı küresel etkileri sebebiyle dünyada sürdürülebilirlik konusu üzerine çalışan sektörlerin başında gelmektedir. Dünya Bankası tarafından 2017 yılında "Sustainable Mobility for the 21st Century" adlı çalışmada 2030 yılına kadar, yolcu trafiğinin %50 artışla 80.000 milyar yolcu-kilometreyi aşacağı, yük hacminin ise küresel olarak %70 büyüyeceği ifadelerine yer verilmiştir. Bahsi geçen büyümeler göz önüne alındığında çalışma, sürdürülebilirliğe odaklanan uzun vadeli bir bakış açısına sahip olmanın ulaşım sektörünün geleceği için belirleyici olacağını savunmakta ve sürdürülebilir ulaşımın küresel ölçekte hedef alınması gerekliliğine vurgu yapmaktadır (Sustainable Mobility for the 21st Century, 2017). Ülkemizde de 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı için 2001 yılında hazırlanan raporda, sürdürülebilirlik ve ulaşım kavramları birlikte kullanılmıştır. Rapor, ulaşım sektörünün geçmişini ve bugününü irdeleyerek sorunlarını ortaya koymayı ve bunların aşılmasıyla birlikte sürdürülebilirlik anlayışı içinde sektörün daha verimli bir yapıya dönüşeceği üzerinde durmaktadır. Bir başka ifadeyle rapor, ulaşımında sürdürülebilirlik kavramının varlığını kabul etmiştir. 2001 yılı sonrası ülkemizde sürdürülebilir ulaşımın verilen önemin giderek arttığı görülmektedir. Öyle ki, mevcut 11. Kalkınma Planı'nda da sürdürülebilir ulaşımın dair politikaların varlığı devam etmektedir. Son zamanlarda dikkat çeken akıllı ulaşım sistemleri, çevre dostu yollar, yenilenebilir enerji ile çalışan araçlar, enerji üreten yollar ve trafik yönetim sistemleri gibi daha birçok uygulama sürdürülebilir ulaşım için önerilen ve üzerinde çalışılması planlanan politikalara örnek olarak düşünülmektedir. Bahsi geçen uygulamalar şehirlerde nüfusun artması ve araç trafiğinin yoğunlaşmasının da bir sonucu olup şehirlerin gelişimi için daha sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin varlığına ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır (Önder ve Akdemir, 2019). Konuya ilişkin olarak 2008 yılında 26901 sayılı Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik yayınlanmış olup yönetmeliğin 10. Maddesinde şehir planları ile sürdürülebilir kentsel ulaşım planları birlikte ele alınmasına dair ifadeler yer verilmiş ve ulaşım planlarının üretiminin önemi üzerinde durulmuştur. Kalkınma Bakanlığı tarafından hazırlanan Bölgesel Gelişme Ulusal Stratejisi 2014-2023 kapsamında hazırlanan rapor ile de Sürdürülebilir Çevre ve Yeşil Ekonominin Desteklenmesi amacı altında, ulaştırma etkinliğini ve ulaşımın olumsuz çevresel etkilerini azaltmak üzere bütünleşik ve çok modlu ulaştırma sistemlerinin varlığına değinilmiştir (Önder ve Akdemir, 2019).

Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda sürdürülebilir ulaşıma verilen önemin dünya genelinde ve ülkemizde gün geçtikçe arttığı görülmektedir. Bu artışın başlıca sebepleri arasında ise CO<sub>2</sub> salınımı ile sanayi sektöründen sonra 2. sırada ulaşım sektörünün gelmesinin etkisi oldukça büyüktür. Ulaşım sektörünün özellikle sera gazı salınımına bağlı olarak çevre üzerinde yarattığı olumsuz etkilerinin, sürdürülebilir ulaşım için çözülmesi veya en azından iyileştirilmesi gerekmektedir. Ulaşım sektöründen kaynaklı çevresel etkilerin ve sorunların tümü olmasa da büyük çoğunluğunun aşırı fosil yakıt kullanımından kaynaklı olduğu bilinmektedir (Greene, 1997). Aşırı fosil yakıt kullanımı, sera gazlarının salınımı artırmakta bu durum da küresel ısınmaya, iklim değişikliğine ve beraberinde ciddi çevre sorunlarına sebep olmaktadır. Dahası çevre sorunlarının varlığı, toplum ve ekonomi üzerindeki olumsuz etkileri de beraberinde getirmektedir. Dolayısı ile ulaşım sektörünün günümüzde ve gelecek yıllarda sera gazı salınımını azaltmayı baz alan sürdürülebilirlik çalışmaları yürütmesi kaçınılmazdır. Ayrıca yaşanacak iklim değişiklikleri dolaylı veya doğrudan ulaşım sektörünün yapım, uygulama, bakım-onarım, işletim ve servis ömrü gibi önemli süreçlerinin verimliliğini azaltacaktır. Özetle, sera gazının küresel ısınmaya sebep olması ülkemiz ve dünya için evrensel bir çevre sorunu olmasının yanı sıra yarattığı olumsuz etkiler ile topluma, iklim değişikliğine bağlı oluşan sorunları önleme çalışmaları ile de ülkelerin ekonomi politikalarına yön vermektedir.

Dünyada ve ülkemizde ulaşımın sürdürülebilirliği; malzeme seçiminden üstyapı tasarımına, yapım aşamasından bakım-onarım ve koruma stratejilerine, akıllı ulaşım sistemlerinden, veri yönetimine kadar oldukça geniş bir çerçeveden çevre, ekonomi ve toplum üzerindeki etkileri ile birlikte çok yönlü olarak incelenmelidir. Ancak bu çalışmada küresel anlamda önemi gün geçtikçe artan sera gazı salınımını azaltma fikri ile sürdürülebilir ulaşımın sağlanması konusu üzerinde durulacaktır. Bu sebeple öncelikli olarak sera gazının nedenleri, etkileri ve ulaşım sektöründeki yerinden bahsedilecektir. Sonrasında sera gazı artışını önlemeye yönelik dünya genelinde hazırlanan sözleşmelere ve protokollere kısaca değinilecektir. Konuyu daha anlaşılır ve verimli kılmak adına ise dünyada sera gazı salınımında önde gelen ülkelerin salınımı azaltmaya yönelik çalışma ve uygulamalarına yer verilecektir. Dünyada sera gazı salınımı azaltarak sürdürülebilir ulaşımın sağlanması üzerine birçok çalışmanın varlığından söz edilerek ülkemizde de bu konunun öneminin artmasına dikkat çekilecektir. Böylece konuya ilişkin mevcut çalışmaların yanı sıra ilave çalışmalara öncelik verilmesinin gerekliliği üzerinde durulacaktır.

## 2. Sera Gazının Sürdürülebilir Ulaşımındaki Yeri (The Position of Greenhouse Gas in Sustainable Transportation)

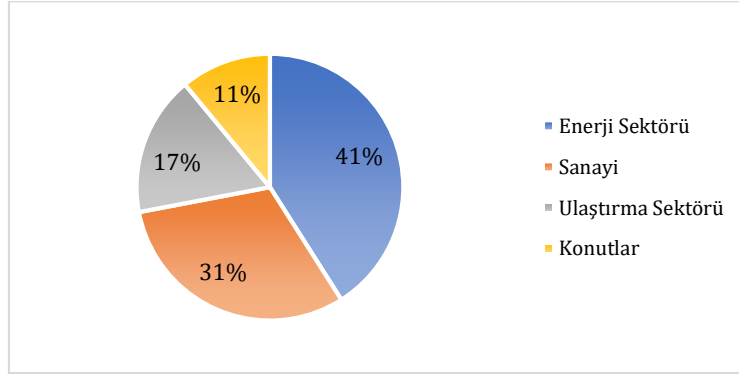
İnşaat faaliyetleri, ulusal ve küresel ölçekte ekonomiye katkı sağlarken, olumsuz çevresel etkileri de beraberinde getirebilmektedir. Bu bağlamda ulaşım sektörü verilen açıklamaya örnek niteliğinde olup küresel ve ulusal ekonomiye sağladığı önemli katkılarının yanı sıra başta fosil yakıt kullanımı kaynaklı sera gazı artışının da önemli bir sebebi olarak ifade edilmektedir. Bu noktada ulaşım sektörü kaynaklı sera gazı salınımındaki artışın sektörün sürdürülebilirliği üzerinde tehdit oluşturduğunu söylemek doğru olup öncesinde sera gazının içeriğini bilmekte fayda vardır. Sera gazı: atmosferde farklı miktarlarda mevcut su buharı (H<sub>2</sub>O), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), azotoksit (N<sub>2</sub>O), ozon (O<sub>3</sub>) gazları ile endüstriyel üretim sürecinde meydana gelen Hidroflorokarbon (HFC), Perflorokarbon (PFC), Sülfürhekzaflorid (SF<sub>6</sub>) vb. florlu bileşiklerden oluşmaktadır. Toplam sera gazının yaklaşık %80'ini CO<sub>2</sub> gazı oluşturmaktadır olup insan kaynaklı sera gazlarının en önemlisidir (Oral ve Uğuz, 2020). Bilindiği üzere CO<sub>2</sub>, havada en çok ısı tutma özelliğine sahip gaz olup CO<sub>2</sub> ile birlikte diğer ısıyı tutan gazların miktarındaki aşırı artış, atmosferin ısının yükselmesine, bir başka ifadeyle küresel ısınmaya yol açmaktadır (Özmen, 2009). Aşağıdaki şekil sera gazı bileşenlerinin dünya genelinde sektörel kaynaklardan elde edilme yüzdelerini vermektedir (IPCC, 2014). Şekil 1'de de görüldüğü üzere fosil yakıtların kullanılması başlıca CO<sub>2</sub> kaynağı olarak görülmekte olup sera gazı oluşumunda %65 gibi oldukça yüksek bir paya sahiptir.



Şekil 1. Dünya genelinde sera gazı bileşenlerinin sektörel kaynakları (Sources of greenhouse gas components)

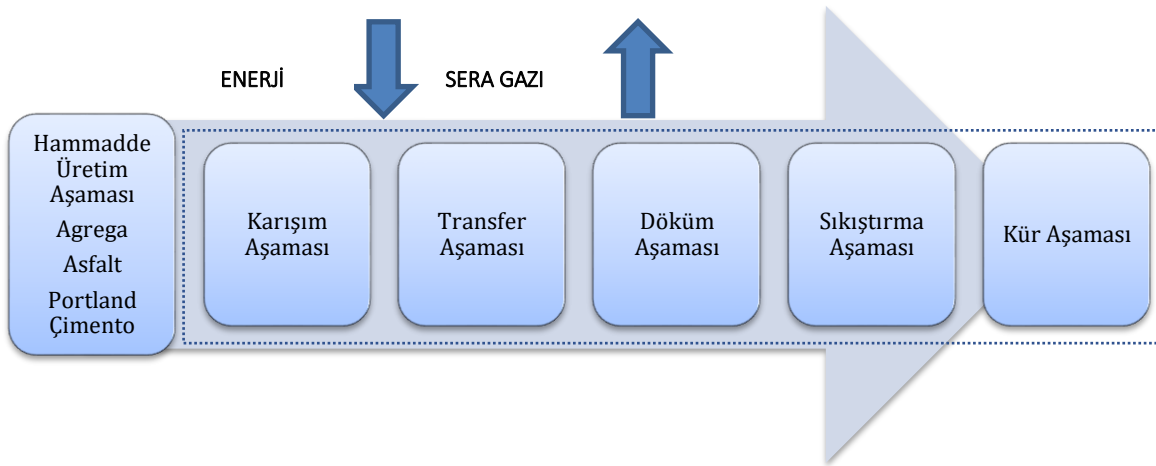


Ülkemizde ise karbondioksit emisyonlarının sektörlere göre dağılımı incelendiğinde enerji sektörü %41, sanayi sektörü %31, ulaştırma sektörü %17 ve konutlar %11 gibi yüzdelere sahip olup bu oranlar Şekil 2. üzerinde gösterilmiştir (Diler,2006; Altınöz ve Terzi, 2020). Verilen şekiller doğrultusunda dünya genelinde ve Türkiye’de fosil yakıt kullanımı sırasında açığa çıkan CO<sub>2</sub> gaz salınımının yüksek olduğu görülmektedir.



**Şekil 2.** Türkiye’de karbondioksit emisyonlarının sektörlere göre dağılımı (CO<sub>2</sub> emission distribution based on sectors in Turkey) (Diler, 2006; Altınöz ve Terzi, 2020).

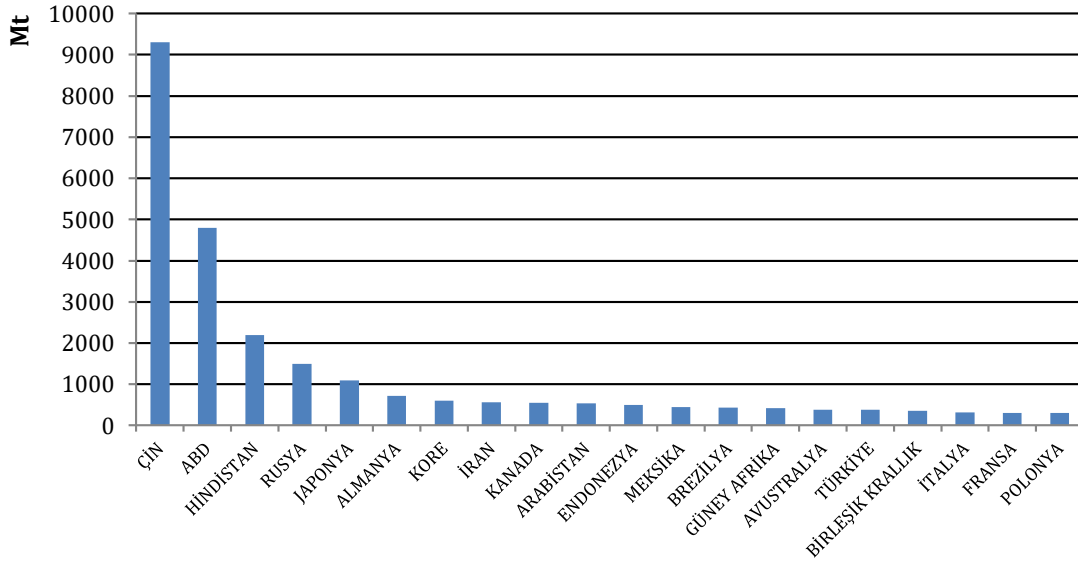
Yukarıda bahsi geçtiği üzere ulaşım sektöründe servis ömrü sırasında aşırı fosil yakıt kullanımının başlıca sera gazı kaynağı olduğu bilinmektedir. Buna ilave olarak bir diğer önemli sera gazı kaynağı ise asfalt veya beton yol yapımı sırasında hammadde üretimi (çimento, asfalt, agrega ve mineral katkıları vs.), karışımın hazırlanması ve uygulama (döküm ve sıkıştırma çalışmaları) aşamalarında gerçekleşmektedir. Bu konuya ilişkin olarak Çin’de bir durum çalışması yürütülmüştür. Çalışmaya göre yol yapımının karışım aşamasından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının en yüksek olduğu ve salınan sera gazının yaklaşık % 54’ünün bu aşama sırasında elde edildiği ifade edilmiştir. Çalışmada ayrıca hammadde üretim aşamasının sera gazı salınımında ikinci sırada önemli olduğu da belirtilmiştir. Kısaca çalışma, yol inşasından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik her türlü önlemin hammadde üretim aşamasına odaklanması gerektiğini göstermekte ve eğer bu aşama hariç tutulacaksa da sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik önlemlerin karışımın hazırlanma sürecinden başlatılması gerektiğini vurgulamaktadır (Ma vd., 2016). Dolayısı ile ulaşım sektöründen kaynaklı sera gazı salınımını azaltmak ve bu sektörde sürdürülebilirlikten bahsedebilmek için hem üretim/uygulama hem de servis ömrü süreçleri birlikte değerlendirilmelidir. Öyle ki son yıllarda, yaşam döngüsü değerlendirme yaklaşımları yol projelerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu değerlendirmelerin amacı; projenin çevresel yüklerinin büyüklüğünü ve önemini değerlendirmenin yanı sıra süreci bir bütün olarak değerlendirmektir (Kim vd., 2012). Sera gazının sürdürülebilir ulaşımdaki yeri incelenirken de yaşam döngüsü çalışmaları yapmak oldukça yararlı bir yaklaşım olacaktır. Nitekim üretim, uygulama ve servis süreci ulaşım sektörünün birbiriyle bağlantılı ve kordinasyon içerisinde olması gereken aşamalarıdır. Aşağıda Şekil 3.’te asfalt/beton yol üretim ve uygulama sürecine dair aşamalar sırasıyla verilmiş olup bu aşamalarda enerji girdisine karşılık sera gazı salınımı gösterilmiştir. Bir başka ifadeyle ulaşım sektöründen kaynaklı sera gazı salınımının ilk aşaması aşağıda verilmiştir.



**Şekil 3.** Yol yapım aşamalarında açığa çıkan sera gazı (Greenhouse gas emission during road construction) (Ma vd., 2016)

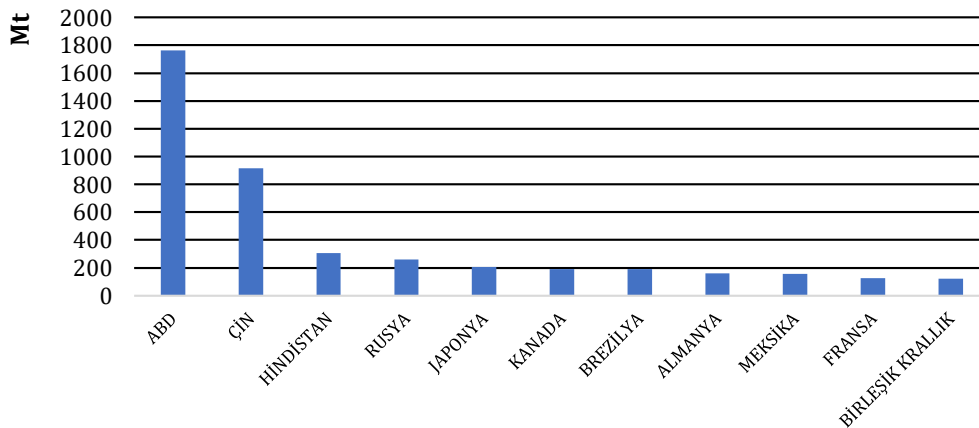
Yukarıda verilen Şekil 3., üretim ve uygulama adımlarında salınan sera gazı kaynaklarına örnek olurken ulaşım sektöründe sera gazı salınımının ikinci aşaması da servis ömrü sırasında gerçekleşmektedir. Tüketilen yakıt

miktarı, yakıt türü, trafik yoğunluğu, trafik yönetimi ve araç teknolojisi gibi başlıca parametrelerin fosil yakıt kullanımı bazlı sera gazı salınımına katkı sağladığı da bilinmektedir. Sera gazı salınımına etkileyen bu parametreler ve dahası hem ülkemizde hem de dünya genelinde farklılık göstermektedir. Sera gazı salınımında dünya genelinde payı yüksek olan ülkelerin bu konuda yaptığı çalışmalar önemli olup bu çalışmalar sera gazını azaltmaya öncülük etmektedir. Bu sebeple ülkelerin sera gazı salınım karnelerini bilmekte fayda vardır. 2021 güncel verilerine göre Dünya genelinde sera gazının %43 gibi ciddi bir kısmı Çin ve Amerika Birleşik Devleti (ABD) ülkeleri tarafından salınmakta olup Çin, yıllık 9300 milyon tonluk CO<sub>2</sub> salınımı ile ilk sırada yer almaktadır. Çin'den sonra ABD, yıllık 4800 milyon tonluk CO<sub>2</sub> salınımı ile ikinci sırada gelmektedir. Ülkemiz ise 378.6 milyon tonluk CO<sub>2</sub> gazı salınımı ile Dünya genelinde 16. sırada yer alırken ülkeler arasında %1 oranında CO<sub>2</sub> gazı salınımında paya sahiptir (World Population Review, 2021). Aşağıda verilen Şekil 4., 2021 verilerine göre ilk 20 ülkenin dünya genelinde CO<sub>2</sub> salınım değerlerini göstermektedir.



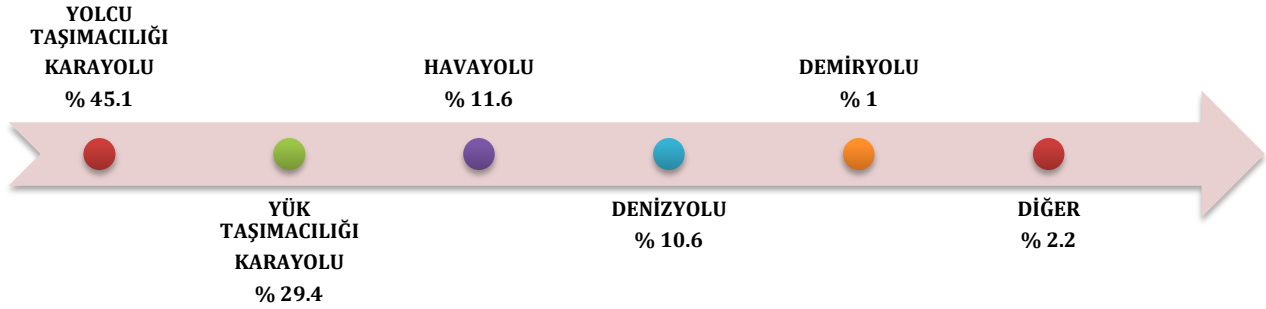
**Şekil 4.** Dünyada sera gazı emisyon değerlerine göre ilk 20 ülkenin sıralaması (Ranking of the top 20 countries in the world according to their greenhouse gas emission values)

Sera gazının sektörel kaynakları incelendiğinde ise başta ABD ve Çin olmak üzere dünya genelinde sera gazının oluşumunda ulaşım sektörünün payı oldukça büyüktür (Global GHG emissions from transportation by major country, 2018). Örneğin; ABD'de 2018 yılı sera gazı salınım verilerine göre ulaşım sektörü %28,2'lik oran ile ilk sırada yer almaktadır. Çin'de ise sera gazı salınımının kaynağı olarak 1. sırada sanayi sektörü gelirken 2. sırada ulaşım sektörü gelmektedir. Bahsi geçen ülkeler CO<sub>2</sub> salınımında önde gelen ülkeler arasında olup sera gazı salınım yüzdelerinin yüksek olması sebebiyle ulaşım sektörünün bu noktada payı oldukça yüksektir. Aşağıda Şekil 5.'te, CO<sub>2</sub> salınımında önde gelen ülkelerin ulaşım sektöründen kaynaklı sera gazı emisyon değerleri verilmiştir.



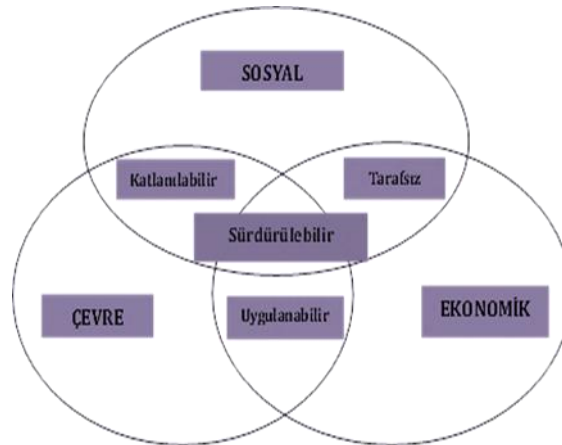
**Şekil 5.** 2018 yılında dünya çapında bazı ülkelere ait ulaşım sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları (Greenhouse gas emissions from the transportation sector of some countries worldwide in 2018) (Global GHG emissions from transportation by major country, 2018).

Dünya genelinde ulaşım sektörü içerisinde ulaşım ağlarına göre salınım değerleri incelendiğinde ise karayolunda yapılan yolcu ve yük taşımacılığında kaynaklı sera gazı emisyon değeri yaklaşık %74,5 gibi bir oranla ilk sırada gelmektedir (Our World in Data, 2020). Karayolunu sırasıyla havayolu, denizyolu, demiryolu ve diğer ulaşım ağları takip etmektedir (Bknz. Şekil 6.).



Şekil 6. Dünya genelinde ulaşım ağlarının sera gazı emisyon oranları (Greenhouse gas emission rates of transportation networks around the world) (Our World in Data, 2020)

Ülkemizde de yaygın ulaşım ağı olarak karayolu ulaşımı tercih edilmektedir. Yukarıda verilen şema ile birlikte ulaşım sektöründe sürdürülebilirliğin işleyişine yönelik atılacak adımların, izlenecek politikaların ve önlemlerin en çok tercih edilen karayolu ulaşım ağı üzerinde öncelikli olarak yürütülmesi anlamlı olacaktır. Karayolu ağının ekonomi, çevre ve toplum üzerindeki etkileri düşünüldüğünde sera gazındaki artış ve bu artışa bağlı olarak elde edilecek sonuçlar ulaşım sektöründen beklenen sürdürülebilirliğin önünde engel olarak görülebilir. Bu bağlamda aşağıda verilen şekil, karayolu ulaşım ağından başlanarak ulaşım sektöründen beklenen sürdürülebilirliğin sera gazı artışının çevre, ekonomi ve toplum üzerindeki etkisini yöneterek elde edilebileceğini göstermektedir. Ayrıca verilen şekil, bu kavramların birbirleriyle olan ilişkisini özetlemektedir (Plati, 2019). Sürdürülebilir ulaşım çok yönlü bir kavram olup ülkemiz için de her geçen gün oldukça önemli ve gelişmeye muhtaç bir alan olarak görülmektedir. Bu alan üzerinde yapılacak çalışmalarda aşağıdaki şekilde de vurgulandığı üzere çevre, ekonomi ve sosyal yapının beklentilerinin optimum seviyede karşılanması durumunda sürdürülebilirlik kavramından bahsedilebilir.



Şekil 7. Sürdürülebilirliğin çevre, toplum ve ekonomi ile olan ilişki şeması (Relationship between environment, society and economy in sustainability) (Plati, 2019)

Sera gazının artması özellikle gelişmekte olan ülkelerde; benzersiz özgürlük ve esnekliğin yanı sıra mallara, hizmetlere ve faaliyetlere yüksek düzeyde erişim sağladığı için kişisel araç kullanımındaki artışa bağlanmıştır. Kişisel araç kullanımı sağladığı avantajları sebebiyle araç sahipliği, boyutu, kullanımı ve enerji tüketimi ile dünya genelinde artma eğilimindedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde ulaşımda enerji kullanımı son 20 yılda küresel ölçekte yüzde 2,7'lik artış oranının çok üzerine çıkarak, yılda yüzde 4'ün üzerinde artmıştır (Sperling ve Salon, 2002). Bu enerjinin neredeyse tamamı petrol kaynaklı olduğu için ulaşımda enerji kullanımındaki artışlar beraberinde büyük karbon emisyonlarına dönüşmüştür. Dünya Bankası'nın yayınlanan bir raporu, ulaşımdan kaynaklanan karbon emisyonlarının, gelişmekte olan ülkelerde, 1986 ve 2010 yılları arasında gelişmiş ülkelere göre üç kat daha hızlı arttığını öngörmüştür. Karbon emisyonlarındaki bu artış beraberinde sera gazı problemi kaynaklı sürdürülebilir ulaşımın olan ilgiyi artırmıştır. Ne var ki enerji ve sera gazı sorunu, buzdağının sadece

görünen kısmı olup gelişmekte olan ülkeler için daha büyük sorun, büyük çevresel sorunlara neden olmadan uygun bir fiyata nüfusun geniş kesimleri için hareketliliği artıran stratejiler tasarlamaktır (Sperling ve Salon, 2002). Ancak bu şekilde sürdürülebilir ulaşımın gelişimine katkı sağlanabileceği ifade edilmektedir. Bir başka ifadeyle sadece sera gazı salınımı azaltarak ulaşımda sürdürülebilirlikten bahsetmek çok doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Ancak bu çalışmada ulaşım ve sürdürülebilirlik kavramları üzerinde yapılan çalışmalarda, dünya genelinde öncelikli olarak ele alınması sebebiyle sera gazı üzerinde ağırlıklı olarak durulmak istenmiştir. Öyle ki bu konu üzerine birçok çalışma; dünya genelinde yapılan sözleşmeler ve protokollerde sunulan öneriler, kısıtlamalar ve düzenlemeler baz alınarak yürütülmektedir. Bu sebeple aşağıda sera gazını azaltmaya yönelik başlıca sözleşme ve protokoller kısmında konunun önemi üzerinde durulacaktır.

### **3. Sera Gazını Azaltmaya Yönelik Başlıca Sözleşme ve Protokoller (Major Conventions and Protocols for Reducing Greenhouse Gas Emissions)**

Sera gazı salınımının azaltmaya yönelik dünyada birçok önemli sözleşme ve protokoller ülkeler düzeyinde yayınlanmıştır. Aşağıda bahsi geçen tüm sözleşme ve protokoller, ülkelere sera gazını azaltma yönünde yaptırımlar sunması bakımından oldukça önemlidir. Bu durum doğrudan veya dolaylı da olsa sürdürülebilir ulaşım hizmet etmektedir. Bu bağlamda; ilk ve gelecekteki çalışmalara da model olması bakımında Montreal Protokolü, sera gazını azaltmaya yönelik atılan büyük bir adımdır. Bu protokol, 1987 yılında tarihi bir çevre anlaşması olarak yayınlanmıştır. 196 ülkenin taraf olduğu Montreal Protokolü, çevre konusunda oluşturulmuş en başarılı ve çok taraflı anlaşma olarak tanımlanmaktadır. Bu anlaşma ile dünyadaki her ülke, kloroflorokarbonlar (CFC'ler) gibi ozon tabakasına zarar veren maddelerin üretimini durdurmalarını gerektiren anlaşmayı onaylamış ve ozon tabakasını incelten bu maddelerin yaklaşık yüzde 99'unu ortadan kaldırmayı başarmıştır. Türkiye de bu protokole 19 Aralık 1991 tarihinde taraf olmuş ve tüm değişikliklerini kabul etmiştir. Protokole ilişkin ulusal ve uluslararası çalışmaların izlenmesi Ulusal Odak Noktası görevini yürüten Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın koordinasyonunda gerçekleştirilmektedir.

Montreal Protokolünden sonra çevre için atılan bir diğer önemli adım da 1992 yılında yayınlanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) olmuştur. Bu sözleşmeye Amerika Birleşik Devletleri de dâhil olmak üzere 197 ülke katılmış ve onaylamıştır. İklim değişikliğini açık bir şekilde ele alan ilk küresel anlaşma olması bakımından da dönüm noktası olarak nitelendirilmektedir. Bu sözleşme, aynı zamanda atmosferdeki sera gazlarının yoğunluğunu stabilize etmeyi amaçlayan uluslararası tartışmalar için Taraflar Konferansı olarak bilinen yıllık bir forumun da kurulmasını sağlamıştır. Forum, Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşması'nın ortaya çıkmasına ayrıca katkı sağlamıştır. Türkiye de 24 Mayıs 2004'te 189. Taraf olarak BMİDÇS'ne katılmıştır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin ardından 1997'de kabul edilen ve 2005'te yürürlüğe giren Kyoto Protokolü de yasal olarak bağlayıcı ilk iklim anlaşması olarak tanımlanmıştır. Protokol, ülkelerin atmosfere saldıkları karbon miktarını 1990 yılındaki düzeylere düşürmelerini gerekli kılmıştır. Kyoto Protokolü'ndeki amaç; atmosferdeki sera gazı yoğunluğunun, iklime tehlikeli etki yapmayacak seviyelerde dengede kalmasını sağlamaktır. Türkiye de 26 Ağustos 2009 tarihinde Kyoto Protokolü'ne taraf olmuştur.

Bugüne kadarki en önemli küresel iklim anlaşması olan Paris Anlaşması, 2015 yılında Fransa'nın Paris kentinde gerçekleştirilen 21. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiştir. Anlaşma, 5 Ekim 2016 tarihi itibarıyla, küresel sera gazı emisyonlarının %55'ini oluşturan ve en az 55 tarafın anlaşmayı onaylaması koşulunun karşılanması sonucunda, 4 Kasım 2016 tarihi ile yürürlüğe girmiştir. Ülkemiz ise Paris Anlaşması'nı 22 Nisan 2016 tarihinde New York'ta düzenlenen Yüksek Düzeyli İmza Töreni'nde 175 ülke temsilcisiyle birlikte imzalamış ve henüz taraf olmamıştır. Anlaşmanın uzun dönemli hedefi; küresel ortalama sıcaklık artışının sanayileşme öncesi döneme göre 2°C altında tutulması ve bu artışın 1,5°C'nin altında tutulmasına yönelik küresel çabaların sürdürülmesi olarak ifade edilmektedir. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı uyum kabiliyetinin ve iklim direncinin artırılması, düşük sera gazı emisyonlu kalkınmanın temin edilmesi ve bunlar gerçekleştirilirken gıda üretiminin zarar görmemesi de diğer bir temel hedef olarak belirtilmektedir. Ülkelerin ayrıca gerçekleştirecekleri azaltım, uyum, finans, teknoloji transferi ve kapasite inşası konusundaki faaliyetlerinin "Ulusal Katkı Beyanı" adı altında her 5 yılda bir sunmaları öngörülmüştür. Türkiye, Paris Anlaşmasına taraf olmamakla birlikte, niyet edilen Ulusal Katkı Beyanını 30 Eylül 2015 tarihinde sözleşme sekreteriyasına sunmuştur. Bahsi geçen sözleşme/protokoller ve dahası, sera gazı probleminin ulusal boyutta atılacak adımlar ile çözülemeyeceğini kanıtlar niteliktedir. Tüm bu girişimler konunun küresel boyutta incelenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Ülkemiz mevcut durumda dünya sera gazı salınımında önde gelmesi dahi bu protokollerin yaptırımlarını takip ederek üzerine düşen görevi yerine getirmeye çalışmaktadır (BMİDÇS ve Türkiye, 2018).

Yukarıda bahsi geçen protokol ve sözleşmeler, ülkelerin sürdürülebilir ulaşım için atması gereken adımlara hem öncülük etmesi hem de bir çerçeve oluşturması bakımından önemlidir. Bahsi geçen sözleşme ve protokoller, sera gazı salınımının sınırlandırılması gerektiğinden ve kaynağından bahsederek ülkeleri bu alanda çalışmaya teşvik etmektedir. Dolayısı ile ülkeler; sözleşmeler ve protokollerde yer alan yaptırımları yerine getirmek adına başta

otomobil teknolojisi, trafik yönetim sistemleri ve idari yaptırımlar olmak üzere birçok yeniliği takip etmek durumunda kalmıştır. Öyle ki; sera gazlarının etkilerini azaltmayı amaçlayan ilave mevzuat ve politikalar üzerinde çalışmalar yürütmektedirler. Aşağıda bazı ülkelerin bu çalışmalarından birkaçına yer verilmiş olup bu çalışmalarını yukarıda bahsi geçen protokol ve sözleşmelerin bir sonucu olarak düşünmek doğru olacaktır. Bunlar;

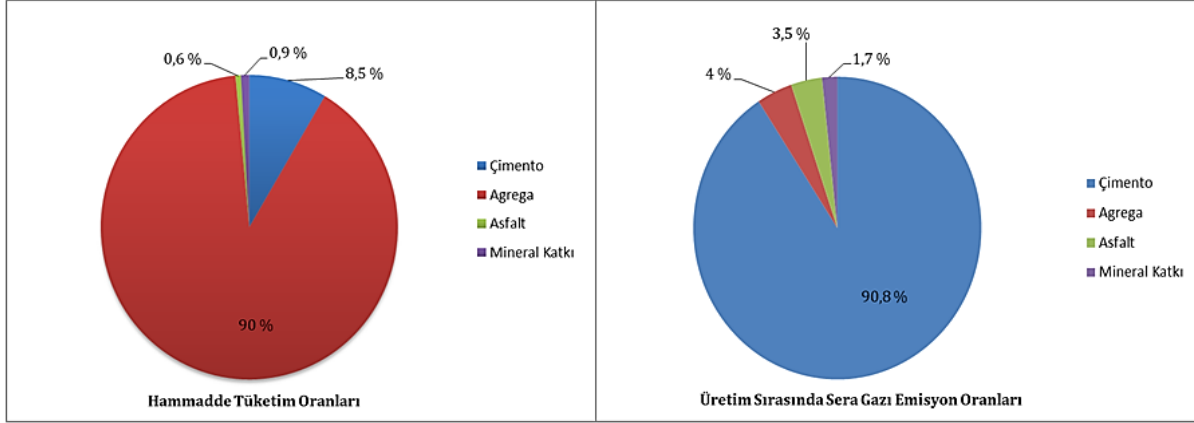
- Enerji tasarruflu otomobiller: Örneğin; Kanada [Araç Emisyonları Yönetmeliği], Japonya [Enerji Koruma Yasası]; Hollanda [Düşük CO<sub>2</sub> Emisyonlu Yakıtların Kullanımını Teşvik Etmek İçin ÖTV'lerin Değişkenleştirilmesi - Hız Limitlerinin Uygulanması], Norveç [Otomobillerde Satın Alma Vergisi], Birleşik Krallık [CO<sub>2</sub> emisyonlarına göre farklılık gösteren Araç Tüketim Vergisi], Amerika Birleşik Devletleri [Kurumsal Ortalama Yakıt Ekonomisi (CAFE) - Gas Guzzler Tax - Alternatif Motor Yakıtları Yasası].
- Yakıt vergileri: Avustralya, Kore, İsviçre ve Birleşik Krallık'ta olduğu gibi yakıt kullanımını sınırlandırmaya amaçlayan vergilendirme sistemi kullanılmaktadır.
- Trafik akışını iyileştirme: Avustralya, Japonya, Kore, Çek Cumhuriyeti, Hollanda, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri'nde olduğu gibi karayolu trafik akışını iyileştirmeye yönelik idari yaptırımlar yürütülmektedir.
- Mali önlemler: Pek çok ülkede, tüketicileri yakıtı daha verimli kullanan arabaları satın almaya, arabalarını daha az kullanmaya ve daha yakıt verimli bir şekilde araç kullanmaya teşvik etmek için mali önlemler uygulanmaktadır.
- Gönüllü antlaşmalar: Örneğin; İtalyan Çevre Bakanlığı ile FIAT arasında yapılan antlaşma ile 1997'de FIAT Grubu, yeni araç filosunun ortalama emisyonlarını 2005 yılına kadar 145 g/km'ye ve 2010 yılına kadar ise 136 g/km'ye düşürmeyi taahhüt etmiştir. Antlaşma ayrıca alternatif enerjilere (elektrik, hibrit, doğal gaz, biyoyakıt) ve yeni mimarilere dayalı araçların geliştirilmesini ve kullanımını teşvik etmeyi de amaçlamıştır. Ayrıca minimum çevresel etkiye sahip olmanın yanı sıra eski arabaların çevreye yük oluşturmamasını sağlamayı da taahhüt etmiştir.

#### **4. Karayolu Ulaşımında Sera Gazını Azaltmaya Yönelik Başlıca Yaklaşımlar (Major Approaches for Reducing Greenhouse Gas Emissions in Highway)**

Ulaşım sektörünün çevre üzerindeki etkileri küresel, ulusal ve yerel olmak üzere üç farklı ölçekte değerlendirilmelidir (Şekercioğlu ve İncekara, 2017). Bahsi geçen üç ölçek için de yüksek gaz emisyonu ile çevre üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde karayolu ulaştırması ilk sırada gelmektedir. Ayrıca Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre ulaşım sektörü, elektrik ve ısı üretimi sektörlerinden sonra en fazla karbon ayak izi salınımı yapan sektör olup, bu emisyonların %70'inden fazlası karayolu ulaşımından kaynaklanmaktadır (Bıyık ve Civelekoğlu, 2018; Özen ve Tüydüş-Yaman, 2013). Bunda karayolu ulaşımında fosil yakıt kullanım oranının oldukça yüksek olmasının payı büyüktür. Bu bağlamda özellikle sera gazı emisyonundaki artışı azaltmak için düşünülen ilk önlem, fosil yakıt kullanımını yerelden başlayarak küresel ölçüğe doğru bir bütün olarak azaltma fikri olmaktadır. Ancak sadece fosil yakıt kullanımını azaltma yönteminin tek başına yeterli ve dünya genelinde yaygın olmasını beklemek çok da doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Zira ulaşım sektöründe yaşanacak değişimler ve gelişmeler, sektörün dinamizminin çok yönlü olması sebebiyle değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple birden fazla önleyici uygulama sayesinde sera gazını azaltma ile beklenen verimin sağlamak çok daha doğru olacaktır. Konuya ilişkin literatürde sera gazını azaltarak istenen sürdürülebilir ulaşım için yedi ana başlık sunulmuştur. Bunlar; alternatif yakıtların kullanımı, benzin tasarrufu yapan araçların teşviki, araç kullanımının azaltılması, ulaştırma için kullanılan alanların azaltılması, akıllı taşımacılık sistemlerinin geliştirilmesi, entegre taşımacılık sistemleri ve nihayetinde seyahatlerin azaltılması diye sıralanmaktadır (Peng vd., 2010). Bahsi geçen bu başlıklar ağırlıklı olarak servis ömrü sırasında salınan sera gazı salınımını azaltmaya veya en azından kısıtlamaya yönelik önlemler olarak sayılmaktadır. Yukarıdaki bölümlerde de bahsedildiği üzere üretim ve uygulama aşamasında da sera gazı salınımının olduğu bilinmektedir. Bu aşama için de hammadde temini/üretimi, karışım/yol tasarımı, döküm/sıkıştırma yöntemlerine alternatifler sunmak da yine sera gazını azaltmaya yönelik sunulan başlıklar arasında sayılmalıdır. Hem üretim/uygulama hem de servis ömrü için sunulan bu önlemler yerelden küresel ölçüğe doğru gün geçtikçe yaşanan teknolojik gelişmelerin de etkisiyle artış gösterme eğilimindedir.

Dünyada karayolu ulaşımından kaynaklı sera gazını azaltmaya yönelik uygulamaların özellikle Çin ve ABD gibi sera gazı salınımında önde gelen ülkelerde ağırlıklı olarak yürütüldüğü görülmektedir. Öyle ki, Çin'de yol yapımından kaynaklanan sera gazı emisyonları, fosil yakıt kullanımından ayrı tutularak yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kullanılarak hem ulusal hem de il düzeyinde hesaplanmıştır. Chen vd. tarafından 2017 yılında yürütülen çalışmada, yol yapımı ile ilgili sera gazı emisyonlarına daha fazla dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Çalışmada ayrıca beton ve asfalt yol yapımı, yol sınıfı, şerit sayısı ve yol uzunluğu gibi parametrelerin sera gazı salınımında etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları arasında çimento üretiminin toplam emisyonların % 87'sinden sorumlu olduğu ve hammadde üretim aşamasından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltmak için bu üretim için önlemlerin alınması gerektiği belirtilmiştir. Asfalt yolun ise beton yola göre üretim aşamasında %39-63 daha az sera gazı salınım gerçekleştirdiği ifade edilmiştir. Çalışmanın bir diğer

önemli noktası ise yol yapımında tüketilen hammadde miktarları ile bu hammaddelerin üretimi sırasında açığa çıkan sera gazı emisyon değerlerini karşılaştırmasıdır. Çalışma çimentonun yol yapımında toplam malzeme ağırlığının yalnızca %8,5'ini oluşturmasına rağmen hammadde üretim aşamasındaki sera gazı emisyonlarının %90,8'inden sorumlu olduğunu ortaya koymuştur. Buna karşılık, yol yapımında agrega kullanımı toplam ağırlığın %90,0'ını oluştururken sera gazı emisyonlarının yalnızca %4,0'ından sorumludur. Çalışma özetle; hammadde üretiminden başlayarak uygulama aşaması da dahil sera gazı salınımının yolun hizmet öncesi dönemde de varlığına dikkat çekmiştir (Chen vd., 2017). Dolayısı ile sürdürülebilir yol yapımı için sera gazı salınımını minimum seviyede tutmayı hedef alan bu çalışmalar; hammadde temininde atık değerlendirilmesini, alternatif ve çevre dostu malzeme arayışını, stratejik yol tasarımını ve bakım-onarım-iyileştirme uygulamaları gibi konuları gündeme getirmektedir (Plati, 2019).



**Şekil 6.** Hammadde tüketim oranları ve üretim sırasındaki sera gazı emisyon oranları (Raw material consumption rates and greenhouse gas emission rates released during production) (Chen vd., 2017)

Çin'den sonra ulaşım sektörü, ABD için de petrol bağımlılığının birincil nedenidir. Dolayısı ile küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarının emisyonunun dörtte birinden fazlasından sorumludur. Bu durum, ABD'de bu konu üzerine yapılan çalışmaları önemli kılmaktadır. Konuya ilişkin olarak 2011 yılında hazırlanan raporda; ABD'de ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltıp azaltamayacağı incelenmiş ve teknoloji, politika ve kamusal tutum senaryosu adı altında üç ana başlık oluşturulmuştur. Teknoloji başlığı altındaki yaklaşım; genel olarak mevcut yakıt tüketimini azaltmaya, alternatif yakıt (elektrik, biyoyakıt ve hidrojen) kullanmaya ve buna bağlı değişen araç teknolojilerine yöneliktir. Politika başlığındaki yaklaşım; düşük karbonlu yakıtlar, gelişmiş araçlar ve düşük emisyonlu ulaşım modlarına teşvikin artırılmasına yöneliktir. Özellikle bu aşamada karbon kullanımına bir fiyat koymak, kapsamlı bir sera gazı azaltma politikasının kritik bir bileşeni olarak ifade edilmiştir. Bugün var olan teknolojiyi pazara çekmek, gelecek için teknolojik gelişmeyi desteklemek ve fosil yakıtlara bağımlılığa sebep olan politikaların düzeltilmesi de ayrıca bu başlığın hedefleri arasında sayılmıştır. Kamusal tutum başlığında ise toplumun gerekli kamu politikalarını desteklemesi ve tüketiciler olarak ileri teknolojileri seçerse, kamu politikası, teknolojik ilerleme ve pazar başarısının karşılıklı olarak pekişeceği vurgulanmıştır (Greene ve Plotkin, 2011). Yukarıda bahsi geçen Çin ve ABD ülkelerinin çalışmaları da göz önüne alınarak karayolu ulaşımından kaynaklı sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik başlıca önlemler, aşağıda tablo halinde sunulmak istenmiştir. Aşağıda verilen tablo, sera gazı emisyonundaki artışı azaltmaya yönelik alınacak güncel önlemleri özetler niteliktedir.

Dünyada önemi gün geçtikçe artan ulaşımında sürdürülebilirlik çalışmaları ülkemizde de Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu tarafından hazırlanan 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı'ndan başlayarak ele alınmıştır. Komisyon, gelişmiş ülkeler dahil birçok yerde yük ve yolcu taşımacılığında halen karayoluna olan talebin yüksek olduğunu ifade etmiştir. Dolayısı ile ulaşım ağları içerisinde karayolunda sürdürülebilirliğin ağırlığını ortaya koymuştur. Bu bağlamda karayolu teknolojisi, karayolu yönetimi, sürdürülebilir gelişme ve karayollarının ulaşım sistemindeki rolü, kullanıcı görüşlerinin değerlendirilmesi, harcama yapmaya değer olma durumu ve teknoloji transfer gibi altı ana başlığa dikkat çekilmiştir. Bahsi geçen bu başlıkların ağırlıklı olarak toplumsal ve ekonomik değerlendirmeye yönelik olduğu görülmektedir. Çevre üzerindeki etkiler için ise Çevresel Etki Değerlendirmesine (ÇED) ihtiyaç olduğu ifade edilmiştir. Bahsi geçen değerlendirme içerisinde sera gazı emisyonundan kaynaklı sürdürülebilir ulaşım için atılması gereken adımların detayına yer verilmemiştir. Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği (TÜSİAD) tarafından hazırlanan bir raporda da bu durum; iklim değişikliği ve ulaştırma konularında hazırlanan strateji belgelerinde Türkiye'nin sera gazı emisyonları konusunda ulaştırma hedeflerine yeterince vurgu yapılmadığı beyan edilmiştir (TÜSİAD, 2016).

**Tablo 1.** Sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik önlem ve örnekler (Measures and examples to reduce greenhouse gas emissions)

| SERA GAZI EMİSYONUNU AZALTMAYA YÖNELİK BAŞLICA ÖNLEMLER | ÖRNEKLER   |
|---|--|
| Yakıt Tüketimini Azaltma                                | Bireysel araç kullanımını sınırlandırma, toplu taşıma araçlarının kullanımı, şehir içinde sabit hız uygulaması, kısa mesafelerde yaya ve bisiklet kullanımı vs.  |
| Alternatif Yakıt Tercihi                                | Elektrik, hidrojen ve bio-enerji vs. yakıt kullanımı.  |
| Yaşam Döngüsü Analizleri                                | Yol projelerinin üretim aşamasından başlanarak uygulama süreci de dahil hammadde temini, üretimi, karışım ve yol tasarımı, uygulama süreçlerindeki sera gazı emisyon değerleri ile hizmet ömründeki sera gazı emisyon değerlerinin projenin ilerleyen süreçlerine olan etkisinin incelenmesi üzerine yapılan çalışmalar. |
| Yakıt Tasarrufuna Yönelik Tasarımlar                    | Beton yollar, sürtünmeyi azaltacak önlemler, yakıt tasarrufu yapan araç sistemleri vs.   |
| Sürdürülebilir Yol Yapımı                               | Atık değerlendirme, alternatif ve çevre dostu malzeme seçimi, bakım-onarım-iyileştirme çalışmaları, stratejik yol tasarım çalışmaları vs.  |
| Araç Teknolojisi Geliştirme                             | Elektrikli veya hibrit araç teknolojisinin entegre edilmesi vs.  |
| Trafik Yönetim Sistemleri                               | Trafik akış modlarının ve planlarının düzenlenmesi, ulaşım modları ve dağılımının düzenlenmesi vs.   |
| Akıllı Ulaşım Sistemleri                                | Elektrik enerjisi üreten yollar, şarj istasyonları, yol üstyapısından güneş enerjisi üreten sistemler, raylı sistemlerin entegre edilmesi vs.  |
| İdari Yaptırımlar                                       | Karbon salınımını sınırlayıcı, yakıt kullanımı azaltıcı, trafik ağlarını düzenleyici vs. idari yaptırımlar.  |
| Hareketliliği Azaltma                                   | Seyahatlerin azaltılması, şehir içi hareketliliği azaltıcı önlemler, uzaktan öğrenme/çalışma modellerinin aktifleştirilmesi vs.  |

2018 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) Kapsamında hazırlanan Türkiye'nin Yedinci Ulusal Bildirimi raporunda ise konuya ilişkin olarak Türkiye'nin sera gazı emisyonu azaltım politikaları için aşağıdaki bazı çerçeve maddelere yer verilmiştir. Bunlar;

- Karayolu taşımacılığı payının azaltılması, denizyolu ve demiryolu taşımacılığı payının artırılması, yük ve yolcu taşımacılığında ulaştırma araçlarının dengeli kullanımının sağlanması,
- Kombine taşımacılığın artırılması,
- Kentsel alanlarda sürdürülebilir ulaştırma yaklaşımlarının uygulanması,
- Alternatif yakıtların ve temiz araçların teşvik edilmesi,
- Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eylem Planı (2014-2016) ile yakıt tüketimini ve karayolu taşımacılığı emisyonlarının azaltılması,
- Hızlı tren projelerinin gerçekleştirilmesi,
- Kentsel demiryolu sistemlerinin artırılması,
- Tünel projeleri ile yakıt tasarrufunun sağlanması,
- Eski araçların trafikten çıkarılması,
- Enerji verimliliğini sağlayacak yeşil liman ve yeşil havaalanı projelerinin uygulanması,
- Deniz taşımacılığı için özel tüketim vergisi muafiyetlerinin uygulanması olarak sıralanmıştır.

Yukarıdaki maddelere ilave olarak Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nda (2011-2023), sera gazı emisyonunu azaltacak birkaç hedef ve politikaya da ayrıca yer verilmiştir. Bunlar;

- 2023'e kadar demiryollarının yük taşımacılığındaki payını %15 ve yolcu taşımacılığındaki payını ise %10 yükseltmek,
- 2023 itibariyle deniz yollarının kabotaj yük taşımacılığındaki payını %10, yolcu taşımacılığındaki payını %4 yükseltmek,
- 2023 itibariyle karayolu yük taşımacılığındaki payı %60'ın altına ve yolcu taşımacılığındaki payı %72'ye düşürmek,
- 2023 yılına kadar Ulaştırma Ana Planı'nı hazırlamak ve uygulamaya koymak,
- Şehir içi taşımacılıkta bireysel araçların emisyon artış oranını sınırlandırmak,
- Şehirlerde sürdürülebilir ulaştırma planlamasının uygulanması için 2023 sonuna kadar gerekli mevzuat, kurumsal yapı ve rehberlik belgelerinin geliştirilmesi,
- Alternatif yakıtların ve temiz araçların teşvik edilmesi (Zaman Aralığı: 2020-2023),
- Toplu taşıma araçları için yaş sınırı koyma stratejisinin benimsenmesi ve uygulanması (Zaman Aralığı: 2015-2023),
- Enerji verimliliğine sahip kara, deniz, hava aracı üretiminde, yatırımların desteklenmesinde teşvik mekanizmalarının yaratılması (Zaman Aralığı: 2015-2023) diye sıralanmıştır.

Ulaşımında sürdürülebilirlik kavramının yukarıda bahsi geçen önlemler, politikalar ve eylem planları da göz önüne alındığında hem dünyada hem de ülkemizde önemli olduğu ortadadır. Bu fikrin oluşmasında dünya genelinde hazırlanan sözleşme ve protokollerin ülkeler üzerindeki yaptırımlarını etkisi de yadsınamaz bir gerçektir. Ancak bahsi geçen önlemler ve uygulamaların ne ölçüde hayata geçirildiğini denetlemek bu noktada daha da önem kazanmaktadır. Alınması istenen önlemlerin ve uygulamaların birçoğu incelendiğinde dünya genelinde akla ilk gelen önlem, karayolu ağı kaynaklı yakıt tüketimini sınırlandırmak veya azaltmaktır. Bu durum oluşmasında fosil yakıt kullanımının sera gazı emisyonundaki artışın birincil sebebi olarak gösterilmesinin etkisi büyüktür. Ancak bu çalışmada da değinildiği üzere ulaşım sektörü, yol yapım aşamasında da sera gazı emisyonuna sebep birçok aşamadan geçmektedir. Dolayısı ile dünyada sera gazı salınımında önde gelen ülkelerin yapım aşamasından başlanarak ulaşım sektörünün sürdürülebilirliğini ele almaya başladığı görülmektedir. Ülkemizin de bu konu hakkında farkındalığa ulaşması alınacak önlemlerin ve yapılacak yol projelerinin sürdürülebilirliği noktasında gittikçe önem kazanmaktadır.

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

Sürdürülebilirlik ile ulaşım sektörünün günümüzde geline noktasında hem dünyada hem de ülkemizde nasıl algılandığını bilmek bu çalışmanın bir çıktısı olarak düşünülmelidir. Ulaşımında sürdürülebilirlik dendiği zaman çevre, toplum ve ekonomi üzerindeki etkileri birlikte ele alınmalıdır. Çalışmanın da konusu olan sürdürülebilir ulaşımında sera gazı etkisi tam olarak bu amaca hizmet etmektedir. Öyle ki sera gazı emisyonundaki artışa bağlı olarak çevre üzerinde yarattığı etkiler ile ulaşım sektörü, toplum ve ekonomi alanında birtakım girdi ve çıktıları da beraberinde getirmektedir. Bu da ulaşım sektörünün geleceğinin çevre, toplum ve ekonomi ile birlikte şekillenmesini zorunlu hale getirmektedir. Dahası sektörün küresel etkileri de düşünüldüğünde dünya genelinde sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik yaptırımların varlığı, sürdürülebilir ulaşım kavramını ulusal ölçeğin de ötesine taşımaktadır. Dünyada özellikle sera gazı salınımı ile ilk sıralarda bulunan Çin ve ABD, ulaşım sektöründen kaynaklı bu sorunu çözerken sürdürülebilirlik kavramından yararlanmaktadır. Bu ülkelerin konuya ilişkin çalışmaları başta ülkemiz olmak üzere diğer ülkeler için de öncülük etmektedir. Genel olarak sürdürülebilir ulaşımında sera gazı etkisini azaltmaya yönelik çalışmalar incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır. Bunlar;

- Ülkelerin ulaşımında sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik çalışmalarının öncelikli hedefi, servis ömrü boyunca fosil yakıt kullanımını azaltmaktır.
- Fosil yakıt kullanımını azaltmak için yürütülen sürdürülebilirlik çalışmalarında ülkelerin genel yaklaşımı, ulaşım ağları arasında karayolu ulaşımının payını düşürmek gelmektedir.
- Fosil yakıt kullanımını önemli sera gazı kaynağı olmasına karşın başta Çin'de yapılan çalışmalarda ortaya konduğu üzere yol yapım aşamasında da sera gazı salınımı gerçekleşmekte olup bu miktar yadsınamaz bir boyuttadır. Dolayısı ile bu sürece ait sera gazı salınımı da kontrol altında tutulmalıdır.
- Dünyada sera gazını azaltmaya yönelik önlemlere teknolojik gelişmelerin de (akıllı ulaşım sistemleri, trafik yönetim sistemleri ve yenilikçi araç teknolojileri gibi) entegre edildiği görülmektedir. Bu durum çok yönlü durum değerlendirme becerisinin bir sonucudur.
- Yol projelerinin yapım aşamasından hizmet alma aşamasına kadar sera gazı emisyonunun sektörün sürdürülebilirliğine olan etkisi yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları ile ortaya konmalıdır.
- Sürdürülebilir ulaşımında sera gazı etkisini azaltmak için bütüncül bir yaklaşıma geçilmelidir. Dolayısı ile sera gazı salınımını önlemeye yönelik çalışmalarda yol yapım ve hizmet ömrü aşamaları ayrı



değerlendirilmemelidir.

- Dünyada yol yapım aşamasındaki sera gazı kaynağından bahsedilirken ülkemizde henüz bu aşama, sürdürülebilir ulaşım çalışmalarına dahil edilmemiştir.
- Ülkemizde sürdürülebilir ulaşım kavramı daha çok karayolu ulaşım ağında yakıt kullanımı azaltmaya ve karayolu ulaşım modunun yüzdesini düşürmeye yönelik yoğunlaşmıştır.
- Sera gazının sürdürülebilir ulaşımdaki yerinin şekillenmesinde, dünya genelinde hazırlanan sözleşme ve protokollere ait yaptırımların ciddi payı bulunmaktadır.
- Ulaşım sektörünün küresel etkileri düşünüldüğünde ülkemiz, dünya genelinde konuya ilişkin eylem planlarını ve önlemleri dikkatle takip etmelidir.
- Çevreden yoksun toplum ve ekonomi üzerine kurulu çalışmalar, sürdürülebilirlik adı altında değerlendirilmemelidir. Neticede çevre, ekonomi ve sosyal yapının beklentilerinin optimum seviyede karşılanması durumunda sürdürülebilirlik kavramından bahsedilebilir.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

### Kaynaklar (References)

- Altınöz, E, Terzi, S., 2020. Karayollarında Üstyapı Tipinin Karbon Ayak İzi Etkisinin Araştırılması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8 (2), 451-459. DOI: 10.21923/jesd.572467
- Bıyık, Y., Civelekoğlu, G., 2018. Ulaşım Sektöründen Kaynaklı Karbon Ayak İzi Değişiminin İncelenmesi. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 2 (2): 157-166.
- BMİDÇS ve Türkiye, 2018. İnternet Erişim Adresi: <https://iklim.csb.gov.tr/bmidcs-ve-turkiye-i-4376>
- Chen, J., Zhao, F., Liu, Z., Ou, X., Hao, H., 2017. Greenhouse gas emissions from road construction in China: A province-level analysis. Journal of Cleaner Production, 168, 1039-1047.
- Dam, M. M., 2014. Sera Gazı Emisyonlarının Makroekonomik Değişkenlerle İlişkisi: OECD Ülkeleri için Panel Veri Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adnan Menderes Üniversitesi, 1-159.
- Dikmen, Ç. B., Gültekin, A. B., 2011. Usage Of Renewable Energy Resources In Buildings in The Context Of Sustainability. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 1 (3), 96-100.
- Diler, A., 2006. Şehir İçi Toplu Taşımacılıkta Kullanılan Otobüslerde Doğal Gaz Kullanımının Karbon Dioksit Emisyonlarına Etkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Global GHG Emissions from Transportation by Major Country, 2018. <https://www.statista.com/statistics/1084166/ghg-emissions-transportation-sector-globally-by-country/>
- Global Sustainable Development Report, 2019. İnternet Erişim: <https://sustainabledevelopment.un.org/globalsdreport/2019>
- Greene, D. L., 1997. Sustainable Transport. Journal of Tmnsporti Geography, 5(3), 177-190.
- Greene, D. L., Plotkin, S. E., 2011. Reducing Greenhouse Gas Emissions from U.S. Transportation. PEW Center on Global Climate Change.
- Kim, B., Lee, H., Park, H., Kim, H., 2012. Framework for Estimating Greenhouse Gas Emissions Due to Asphalt Pavement Construction. Journal of Construction Engineering and Management, 138(11): 1312-1321.
- Ma, F., Sha, A., Lin, R., Huang, Y., Wang, C., 2016. Greenhouse Gas Emissions from Asphalt Pavement Construction: A Case Study in China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 13(3), 351.
- Oral, O., Uğuz, S., 2020. Türkiye'deki Farklı Sektörlere Ait Sera Gazı Emisyon Değerlerinin Çok Katmanlı Algılayıcılar ve Topluluk Öğrenmesi Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 12(2), 464-478.
- Our World in Data, 2020. İnternet Erişim: <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport>.
- Önder, H. G., Akdemir, F. 2019. Türkiye'deki kentiçi raylı toplu taşıma sistemlerinin ulaşım ana planları bağlamında değerlendirilmesi. Demiryolu Mühendisliği, 10, 31-45.
- Özen, M., Tüydüş-Yaman, H., 2013. Türkiye'de Şehirlerarası Yük Trafığı CO2 Emisyonlarının Tahmini. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17(3), 56.
- Özmen, M. T., 2009. Sera Gazı- Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü. Türkiye Mühendislik Haberleri, 42-46.
- Peng, Z., Shen, S., Lu, Q., Perch, S., 2010. Climate Change and Transportation. M. Kutz (Eds.) Handbook of Transportaion Engineering Volume II, New York: McGraw Hill.
- Plati, C., 2019. Sustainability Factors in Pavement Materials, Design, and Preservation Strategies: A Literature Review. Construction and Building Materials, 211, 539-555.
- Report of the World Commission on Environment and Development - Our Common Future, 1987. İnternet Erişim: <https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/wced>
- Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001. Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu.
- Sperling, D., Salon, D., 2002. Transportation in Developing Countries: An Overview of Greenhouse Gas Reduction Strategies. University of California Transportation Center; Earlier Faculty Research.
- Sustainable Mobility for the 21st Century. (2017, July 10). World Bank. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2017/07/10/sustainable-mobility-for-the-21st-century>
- Şekercioğlu, S., İncekara, B., 2017. Ulaştırma Politikalarının Dönüşümü : Sera Gazı Azaltımının Planlaması. 12. Ulaştırma Kongresi (Ulaştırma Politikaları), 181-190.
- Türkiye Cumhuriyeti İklim Değişikliği Eylem Planı 2011 - 2023, 2012. Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı,

Ankara

Türkiye'nin Yedinci Ulusal Bildirimi, 2018. Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

TÜSİAD, 2016. Ekonomi Politikaları Perspektifinden İklim Değişikliğiyle Mücadele. TÜSİAD-T/2016 T/2016, 12-583. ISBN 978-605-165-019-7. İstanbul.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014. İnternet Erişim: Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

World Population Review, 2021. İnternet Erişim: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/greenhouse-gas-emissions-by-country>

Yavuz, V. A., 2010. Sürdürülebilirlik Kavramı ve İşletmeler Açısından Sürdürülebilir Üretim Stratejileri. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 7(14), 63-86.



## SHARPENED FORMS FOR DRIVING POINT IMPEDANCE FUNCTIONS AT BOUNDARY OF RIGHT HALF PLANE

Bülent Nafi ÖRNEK<sup>1\*</sup>, Timur DÜZENLİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Amasya Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Amasya, Türkiye

<sup>2</sup> Amasya Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Amasya, Türkiye

### Keywords

*Analytic function,  
Schwarz lemma,  
Positive real function,  
Driving point,  
Impedance function,  
Boundary analysis.*

### Abstract

Driving point impedance functions (DPIFs) are frequently used in electrical engineering, and they represent characteristic properties of various types of circuits such as RL, RC, LC and RLC networks. In this paper, boundary analysis of driving point impedance functions are investigated using Schwarz lemma. Assuming that the driving point impedance function,  $Z(s)$ , is given as  $Z(s) = \frac{A}{2} + c_p(s-1)^p + c_{p+1}(s-1)^{p+1} + \dots$  and it is analytic in the right half of the s-plane, novel boundaries are obtained for  $|Z'(0)|$ . Accordingly, it is aimed to obtain novel inequalities which presents higher boundaries for  $|Z'(0)|$  and derive novel generic driving point impedance functions by performing extremal analysis of these obtained inequalities. It is also aimed to investigate how  $|Z'(s)|$  can be interpreted when it is considered at the boundary. According to simulation results, frequency characteristics of obtained driving point impedance functions can be used to design of multi-notch filters which are localized at certain frequency values.

## SAĞ YARI DÜZLEMİN SINIRINDAKİ SÜREN NOKTA EMPEDANS FONKSİYONLARI İÇİN KESKİNLEŞTİRİLMİŞ FORMLAR

### Anahtar Kelimeler

*Analitik fonksiyon,  
Schwarz lemması,  
Pozitif reel fonksiyon,  
Süren nokta  
Empedans fonksiyonu,  
Sınır analizi.*

### Öz

Süren nokta empedans fonksiyonları (SNEF), elektrik mühendisliğinde sıklıkla kullanılmaktadır ve RL, RC, LC, ve RLC ağları gibi farklı tipteki devrelerin karakteristik özelliklerini temsil etmektedirler. Bu çalışmada, süren nokta empedans fonksiyonlarının sınır analizi, Schwarz lemması kullanılarak araştırılmaktadır.  $Z(s)$  süren nokta empedans fonksiyonunun  $Z(s) = \frac{A}{2} + c_p(s-1)^p + c_{p+1}(s-1)^{p+1} + \dots$  yapısında olduğu ve sağ yarı s-düzleminde analitik olduğu varsayılarak,  $|Z'(0)|$  için yeni sınırlar belirlenmektedir. Buna göre,  $|Z'(0)|$  için yeni üst sınırlar temsil eden eşitsizlikler türetilmesi ve bu eşitsizliklerin ekstremal analizi ile yeni genel süren nokta empedans fonksiyonları elde edilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, sınırda olduğu düşünüldüğü takdirde,  $|Z'(s)|$ 'nin nasıl yorumlanacağı meselesinin çözülmesi de hedeflenmektedir. Benzetim sonuçlarına göre, elde edilen süren nokta empedans fonksiyonlarının frekans karakteristikleri, belli frekanslarda konumlanmış çok çentikli süzgeçlerin tasarlanması için kullanılabilir.

### Cite

Örnek, B. N., Düzenli, T., (2021). Sharpened Forms for Driving Point Impedance Functions at Boundary of Right Half Plane, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(4), 1093-1105.

\* Corresponding author: nafiornek@gmail.com, nafi.ornek@amasya.edu.tr, +90-358-211-5005

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process         |            |
|--|---|------------|
| B. N. Örnek, 0000-0001-7109-230X         | <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 30.05.2021 |
| T. Düzenli, 0000-0003-0210-5626          | <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 08.06.2021 |
|  | <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 05.07.2021 |
|  | <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

## 1. Introduction

Driving point impedance functions (DPIFs) are frequently used in electrical engineering to represent spectral characteristics of RL, RC, LC and RLC circuits. Mathematically, DPIFs satisfy the properties of positive real functions (PRFs). Accordingly, the DPIF  $Z(s)$ , where  $s$  represents the complex frequency parameter,  $s=\gamma+iw$ , is analytic and single valued in  $\Re s \geq 0$  except possibly for poles on the axis of imaginaries. Also,  $Z(\bar{s}) = \overline{Z(s)}$  and  $\Re Z(s) \geq 0$ , in  $\Re s \geq 0$  (Reza, 1962).

In this paper, boundary analysis of DPIFs is performed by considering the derivative of  $Z(s)$  evaluated at zero, i.e.  $Z'(0)$ . Accordingly, it is aimed to obtain novel inequalities which presents higher boundaries for  $|Z'(0)|$  and derive new DPIFs by performing sharpness analysis of these inequalities. Also, we aim to address the issue of how can be interpreted  $|Z'(s)|$  when it is considered at the boundary. It may seem that evaluation of  $|Z'(0)|$  at boundary may narrow the results, however the analysis at the origin is a requirement which is caused by the nature of the considered problem.

Investigation of derivative of DPIFs is still a hot topic in the literature although the pioneer studies are back to 1930s. As one the pioneer works, Van Der Pol used the derivative of DPIFs to establish a relation between electrical and magnetic energy (Van Der Pol, 1937). In another work, Hazony showed that it is possible to utilize the DPIFs for gyrator design (Hazony, 1963). Theoretical analysis of positive real derivatives of DPIFs is given by (Krueger and Brown, 1969) where it's proved that the derivative of an RC driving point admittance is positive real under certain coefficient conditions. There are also other studies on boundary analysis of DPIFs using Schwarz lemma in the literature (Örnek and Düzenli, 2018; 2019).

The rest of the paper is organized as follows: Preliminary Considerations are given in Section II. In the next section, Main Results are presented with simulative findings. At the end, Conclusions are given in Section IV.

## 2. Preliminary Considerations

Let us consider a function  $h(z)$  an analytic in the unit disc  $E = \{z: |z| < 1\}$ . Schwarz's Lemma, which is a consequence of the Maximum Principle, says that if  $h: E \rightarrow E$  is analytic with  $h(z) = a_p z^p + a_{p+1} z^{p+1} + \dots$ , then  $|h(z)| \leq |z|^p$ , for every  $z \in E$  and thus  $|a_p| \leq 1$ . In addition, if the equality  $|h(z)| = |z|^p$  holds for any  $z \neq 0$ , or  $|h'(0)| = 1$  then  $f$  is a rotation, that is,  $h(z) = z^p e^{i\theta}$ ,  $\theta$  real (Dineen, 2016).

On the other hand, in the book (Kresin and Maz'ja, 2007), Sharp Real-Parts Theorem's (in particular Carathéodory's inequalities), which are frequently used in the theory of entire functions and analytic function theory, have been studied. Also, a boundary version of the Carathéodory's inequality is considered in unit disc and novel results are obtained in (Örnek, 2015). Mercer prove a version of the Schwarz lemma where the images of two points are known (Mercer, 1997). Also, he considers some Schwarz and Carathéodory inequalities at the boundary, as consequences of a lemma due to Rogosinski (Mercer, 2018a). In addition, he obtain a new boundary Schwarz lemma, for analytic functions mapping the unit disk to itself (Mercer, 2018b). At first, as in Schwarz lemma, Carathéodory's inequality at right half plane for positive real functions will be presented.

In Fig. 1, positive real  $Z(s)$  function is mapped from right half plane to unit disc. In this way,  $\vartheta(z)$  function has been obtained where it maps the unit disc to unit disc.

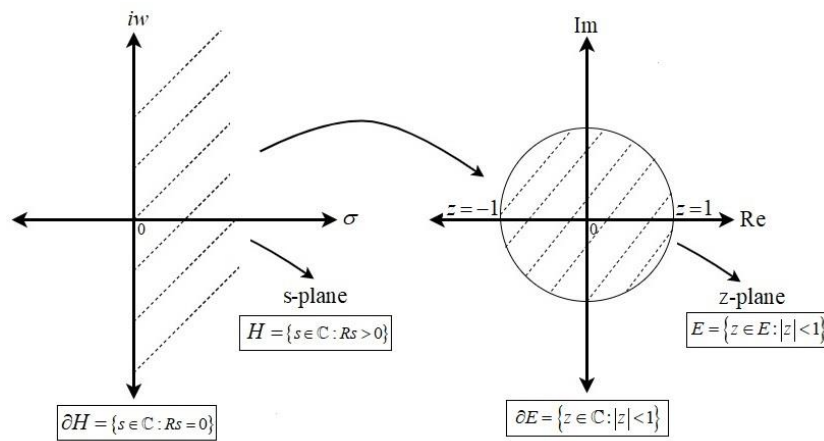


Figure 1. Mapping from RHP of s-domain ( $H$ ) to unit disc in z-domain ( $E$ ).

Let  $Z(s) = \frac{A}{2} + b_p(s - 1)^p + b_{p+1}(s - 1)^{p+1} + \dots$  be a positive real function with  $0 < \Re Z(s) \leq A$  for  $\Re s \geq 0$  and consider the function

$$\vartheta(z) = \frac{e^{\frac{i\pi}{2}[AZ(\frac{1+z}{1-z})^{-1}]_{-1}} - 1}{e^{\frac{i\pi}{2}[AZ(\frac{1+z}{1-z})^{-1}]_{+1}} - 1} \prod_{i=1}^n \frac{z - z_i}{1 - \bar{z}_i z}, \quad Z = \frac{s-1}{s+1}, \quad z_i = \frac{s_i-1}{s_i+1}. \quad (1.1)$$

Here,  $\vartheta(z)$  is an analytic function in  $E$ ,  $\vartheta(0) = 0$  and  $|\vartheta(z)| < 1$  for  $z \in E$ . From (1.1), we take

$$\vartheta(z) = \frac{\frac{i\pi}{2} \left( \frac{b_p}{A} \frac{2^{p+1} z^p}{(1-z)^p} + \frac{2^{p+2} b_{p+1} z^{p+1}}{A(1-z)^{p+1}} + \dots \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{i\pi}{2} \left( \frac{b_p}{A} \frac{2^{p+1} z^p}{(1-z)^p} + \frac{2^{p+2} b_{p+1} z^{p+1}}{A(1-z)^{p+1}} + \dots \right) \right)^2 + \dots}{\left( 2 + \frac{i\pi}{2} \left( \frac{b_p}{A} \frac{2^{p+1} z^p}{(1-z)^p} + \frac{2^{p+2} b_{p+1} z^{p+1}}{A(1-z)^{p+1}} + \dots \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{i\pi}{2} \left( \frac{b_p}{A} \frac{2^{p+1} z^p}{(1-z)^p} + \frac{2^{p+2} b_{p+1} z^{p+1}}{A(1-z)^{p+1}} + \dots \right) \right)^2 + \dots \right)} \prod_{i=1}^n \frac{z - z_i}{1 - \bar{z}_i z}$$

$$\frac{\vartheta(z)}{z^p} = \frac{\frac{i\pi}{2} \left( \frac{b_p}{A} \frac{2^{p+1}}{(1-z)^p} + \frac{2^{p+2} b_{p+1} z}{A(1-z)^{p+1}} + \dots \right) + \frac{1}{2} z^p \left( \frac{i\pi}{2} \left( \frac{b_p}{A} \frac{2^{p+1}}{(1-z)^p} + \frac{2^{p+2} b_{p+1} z}{A(1-z)^{p+1}} + \dots \right) \right)^2 + \dots}{\left( 2 + \frac{i\pi}{2} \left( \frac{b_p}{A} \frac{2^{p+1} z^p}{(1-z)^p} + \frac{2^{p+2} b_{p+1} z^{p+1}}{A(1-z)^{p+1}} + \dots \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{i\pi}{2} \left( \frac{b_p}{A} \frac{2^{p+1} z^p}{(1-z)^p} + \frac{2^{p+2} b_{p+1} z^{p+1}}{A(1-z)^{p+1}} + \dots \right) \right)^2 + \dots \right)} \prod_{i=1}^n \frac{z - z_i}{1 - \bar{z}_i z}$$

and passing to limit ( $z \rightarrow 0$ ) in the last equality and from Schwarz lemma yields

$$|b_p| \leq \frac{2A}{\pi 2^p} \prod_{i=1}^n |z_i| = \frac{2A}{\pi 2^p} \prod_{i=1}^n \left| \frac{s_i - 1}{s_i + 1} \right|.$$

This result is sharp with the function

$$Z(s) = \frac{A}{2} \left( 1 + \frac{2}{i\pi} \ln \left( \frac{1 + \frac{(s-1)^p}{(s+1)^p} \prod_{i=1}^n \frac{\frac{s-1}{s+1} \frac{s_i-1}{s_i+1}}{1 - \frac{s_i-1}{s_i+1} \frac{s-1}{s+1}}{1 - \frac{(s-1)^p}{(s+1)^p} \prod_{i=1}^n \frac{\frac{s-1}{s+1} \frac{s_i-1}{s_i+1}}{1 - \frac{s_i-1}{s_i+1} \frac{s-1}{s+1}}} \right) \right).$$

We thus obtain the following lemma.

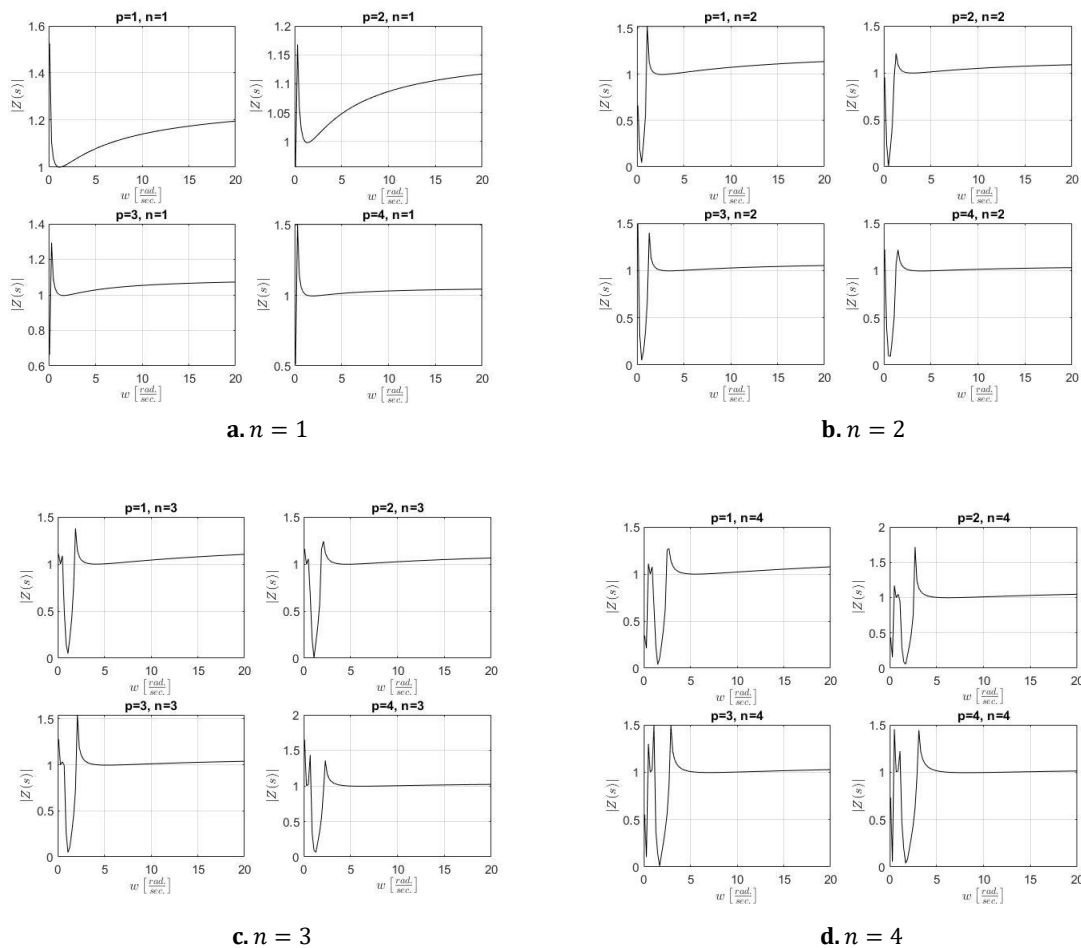
**Lemma 1** Let  $Z(s) = \frac{A}{2} + b_p(s - 1)^p + b_{p+1}(s - 1)^{p+1} + \dots$ ,  $p \geq 1$  be a positive real function with  $0 < \Re Z(s) \leq A$  for  $\Re s \geq 0$ . Assume that  $s_1, \dots, s_n$  are points in right half plane that are different from  $s = 1$  with  $Z(s_i) = \frac{A}{2}$ . Then we have the inequality

$$|b_p| \leq \frac{2A}{\pi 2^p} \prod_{i=1}^n \left| \frac{s_i - 1}{s_i + 1} \right|. \tag{1.2}$$

The inequality (1.2) is sharp, with equality for the function

$$Z(s) = \frac{A}{2} \left( 1 + \frac{2}{i\pi} \ln \left( \frac{1 + \left(\frac{s-1}{s+1}\right)^p \prod_{i=1}^n \frac{s-1-s_i-1}{s+1-s_i+1}}{1 - \left(\frac{s-1}{s+1}\right)^p \prod_{i=1}^n \frac{s-1-s_i-1}{s+1-s_i+1}} \right) \right).$$

Frequency characteristic graphics related to  $Z(s)$  obtained in Lemma 1 are given in Fig. 2. For simplicity, it is assumed that parameters of  $Z(s)$  are given as  $A = 1$  and  $s_1 = s_2 = s_3 = s_4 = 1$ . According to Fig. 2, various filter structures can be possibly determined using the obtained DPIF. It is common for all filters that they have a spiky structure at low frequency values where the number of the spikes increases proportionally with  $n$  parameter. It can be observed from the figures that  $p$  parameter has no effect on the number of the spikes however it slightly changes the smoothness of the spikes.



**Figure 2.** Frequency magnitude graphic of  $Z(s)$  function obtained in Lemma 1 for different  $n$  and different  $p$  values.

Since the area of applicability of Schwarz Lemma is quite wide, there exist many studies about it. Some of these studies is called the boundary version of Schwarz Lemma. An important result of Schwarz lemma was given by Osserman (Boas, 2010, Dubinin, 2004; Mercer, 2018a; Osserman, 2000; Reza, 1962).

### 3. Main Results

In this section, a boundary analysis results for the derivative of Positive Real function are presented. From the definition of PRFs, we can state that  $Z(s)$  is analytic and single valued on the right half of the  $s$ -plane. In the following theorem, we establish lower bounds on the derivative of  $Z(0)$  for positive real functions with  $Z(0) = A$ .

**Theorem 1** Let  $Z(s) = \frac{A}{2} + b_p(s - 1)^p + b_{p+1}(s - 1)^{p+1} + \dots$ ,  $p \geq 2$  be a positive real function with  $0 < \Re Z(s) \leq A$  for  $\Re s \geq 0$  that is also analytic at the point  $s = 0$  of the imaginary axis with  $Z(0) = A$ . Assume that  $s_1, \dots, s_n$  are points in right half plane that are different from  $s = 1$  with  $Z(s_i) = \frac{A}{2}$ . Then

$$|Z'(0)| \geq \frac{2A}{\pi} \left( p + \sum_{i=1}^n \frac{\Re s_i}{|s_i|^2} + \frac{2A \prod_{i=1}^n \frac{|s_i-1|}{|s_i+1|} \pi 2^p |b_p|}{2A \prod_{i=1}^n \frac{|s_i-1|}{|s_i+1|} + \pi 2^p |b_p|} \right). \tag{2.1}$$

The results (2.1) is sharp for the function given by

$$Z(s) = \begin{cases} \frac{A}{2} \left( 1 + \frac{2}{i\pi} \ln \left( \frac{1 - i \left(\frac{s-1}{s+1}\right)^{p+1} \prod_{i=1}^n \frac{\frac{s-1}{s+1} \frac{s_i-1}{s_i+1}}{1 - \frac{s_i-1s-1}{s_i+1s+1}}}{1 + i \left(\frac{s-1}{s+1}\right)^{p+1} \prod_{i=1}^n \frac{\frac{s-1}{s+1} \frac{s_i-1}{s_i+1}}{1 - \frac{s_i-1s-1}{s_i+1s+1}}} \right) \right), & p = 2, 4, \dots \\ \frac{A}{2} \left( 1 + \frac{2}{i\pi} \ln \left( \frac{1 + i \left(\frac{s-1}{s+1}\right)^{p+1} \prod_{i=1}^n \frac{\frac{s-1}{s+1} \frac{s_i-1}{s_i+1}}{1 - \frac{s_i-1s-1}{s_i+1s+1}}}{1 - i \left(\frac{s-1}{s+1}\right)^{p+1} \prod_{i=1}^n \frac{\frac{s-1}{s+1} \frac{s_i-1}{s_i+1}}{1 - \frac{s_i-1s-1}{s_i+1s+1}}} \right) \right), & p = 3, 5, \dots \end{cases},$$

where  $s_1, \dots, s_n$  are positive real numbers.

**Proof.** Consider the function

$$f(z) = \frac{e^{\frac{i\pi}{2} \left[ \frac{2z(1+z)}{1-z} \right] - 1} - 1}{e^{\frac{i\pi}{2} \left[ \frac{2z(1+z)}{1-z} \right] + 1} + 1} \text{ and } B(z) = \prod_{i=1}^n \frac{z - z_i}{1 - \bar{z}_i z}.$$

$f(z)$  and  $B(z)$  are analytic in  $E$ , and  $|f(z)| < 1$ ,  $|B(z)| < 1$  for  $z \in E$ . By the maximum principle for each  $z \in E$ , we have  $|f(z)| < |B(z)|$ .

The composite function

$$m(z) = \frac{f(z)}{B(z)}$$

is analytic in the unit disc  $E$ ,  $|m(z)| < 1$  for  $z \in E$ ,  $m(0) = 0$  and  $|m(-1)| = 1$  for  $-1 \in \partial E$ . Moreover, it can be seen that

$$\frac{(-1)f'(-1)}{f(-1)} = |f'(-1)| \geq |B'(-1)| = \frac{(-1)B'(-1)}{B(-1)}.$$

Besides, with the simple calculations, we get

$$|B'(-1)| = \sum_{i=1}^n \frac{1 - |z_i|^2}{|1 + z_i|^2}.$$

Therefore,  $m(z)$  function satisfies the assumptions of the Schwarz lemma on the boundary, we obtain

$$\begin{aligned} p + \frac{1 - |c_p|}{1 + |c_p|} &\leq |m'(-1)| = \left| \frac{(-1)f'(-1)}{f(-1)} - \frac{(-1)B'(-1)}{B(-1)} \right| \\ &= |f'(-1)| - |B'(-1)| \\ &= \left| \frac{\frac{4i\pi}{A^4} Z'(0) e^{\frac{i\pi}{2} [ \frac{2}{A} Z(0) - 1 ]}}{\left( e^{\frac{i\pi}{2} [ \frac{2}{A} Z(0) - 1 ]} + 1 \right)^2} \right| - \sum_{i=1}^n \frac{1 - |z_i|^2}{|1 + z_i|^2} \\ &= \frac{\pi}{2A} |Z'(0)| - \sum_{i=1}^n \frac{1 - |z_i|^2}{|1 + z_i|^2}. \end{aligned}$$

Since

$$|c_p| = \frac{\pi 2^p}{2A \prod_{i=1}^n |z_i|} |b_p|,$$

we take

$$p + \frac{1 - \frac{\pi 2^p}{2A \prod_{i=1}^n |z_i|} |b_p|}{1 + \frac{\pi 2^p}{2A \prod_{i=1}^n |z_i|} |b_p|} \leq \frac{\pi}{2A} |Z'(0)| - \sum_{i=1}^n \frac{1 - |z_i|^2}{|1 + z_i|^2}$$

and

$$p + \frac{2A \prod_{i=1}^n |z_i| - \pi 2^p |b_p|}{2A \prod_{i=1}^n |z_i| + \pi 2^p |b_p|} + \sum_{i=1}^n \frac{1 - |z_i|^2}{|1 + z_i|^2} \leq \frac{\pi}{2A} |Z'(0)|.$$

Now, we shall show that the inequality (2.1) is sharp. Let

$$z \left( \frac{1+z}{1-z} \right) = \frac{A}{2} \left( 1 + \frac{2}{i\pi} \ln \left( \frac{1 - i(z)^{p+1} \prod_{i=1}^n \frac{z-z_i}{1-\bar{z}_i z}}{1 + i(z)^{p+1} \prod_{i=1}^n \frac{z-z_i}{1-\bar{z}_i z}} \right) \right), \quad p = 2, 4, \dots, z = \frac{s-1}{s+1}, z_i = \frac{s_i-1}{s_i+1}.$$

Then

$$\begin{aligned} \frac{2}{(1-z)^2} Z' \left( \frac{1+z}{1-z} \right) &= \frac{A}{i\pi} \frac{\left( (p+1)iz^p \prod_{i=1}^n \frac{z-z_i}{1-\bar{z}_i z} + i(z)^{p+1} \sum_{i=1}^n \frac{1-|z_i|^2}{(1-\bar{z}_i z)(z-z_i)} \prod_{i=1}^n \frac{z-z_i}{1-\bar{z}_i z} \right) k}{\left( 1 + i(z)^{p+1} \prod_{i=1}^n \frac{z-z_i}{1-\bar{z}_i z} \right) \left( 1 - i(z)^{p+1} \prod_{i=1}^n \frac{z-z_i}{1-\bar{z}_i z} \right)} \\ &= \frac{A}{i\pi} \frac{\left( (p+1)iz^p \prod_{i=1}^n \frac{z-z_i}{1-\bar{z}_i z} + i(z)^{p+1} \sum_{i=1}^n \frac{1-|z_i|^2}{(1-\bar{z}_i z)(z-z_i)} \prod_{i=1}^n \frac{z-z_i}{1-\bar{z}_i z} \right) l}{\left( 1 + i(z)^{p+1} \prod_{i=1}^n \frac{z-z_i}{1-\bar{z}_i z} \right) \left( 1 - i(z)^{p+1} \prod_{i=1}^n \frac{z-z_i}{1-\bar{z}_i z} \right)}, \end{aligned}$$

where

$$k = 1 + i(z)^{p+1} \prod_{i=1}^n \frac{z-z_i}{1-\bar{z}_i z}$$

and



$$l = 1 - i(z)^{p+1} \prod_{i=1}^n \frac{z - z_i}{1 - \bar{z}_i z}$$

For  $z = -1$  and since  $s_1, \dots, s_n$  are positive real numbers, we obtain

$$Z'(0) = \frac{2A - \left( -(p+1)i(-1)^p + i(-1)^{p+1} \sum_{i=1}^n \frac{1-z_i}{1+z_i} \right) (1 - i(-1)^{p+1})}{i\pi (1 - i(-1)^{p+1})(1 + i(-1)^{p+1})}$$

$$-\frac{2A \left( -(p+1)i(-1)^p + i(-1)^{p+1} \sum_{i=1}^n \frac{1-z_i}{1+z_i} \right) (1 + i(-1)^{p+1})}{i\pi (1 - i(-1)^{p+1})(1 + i(-1)^{p+1})},$$

$$Z'(0) = \frac{2A - \left( -(p+1)i(-1)^p + i(-1)^{p+1} \sum_{i=1}^n \frac{1-z_i}{1+z_i} \right) (1 - i(-1)^{p+1})}{i\pi 2}$$

$$-\frac{2A \left( -(p+1)i(-1)^p + i(-1)^{p+1} \sum_{i=1}^n \frac{1-z_i}{1+z_i} \right) (1 + i(-1)^{p+1})}{i\pi 2}$$

and

$$|Z'(0)| = \frac{2A}{\pi} \left( p + 1 + \sum_{i=1}^n \frac{1 - z_i}{1 + z_i} \right).$$

Similarly, let

$$z \left( \frac{1+z}{1-z} \right) = \frac{A}{2} \left( 1 + \frac{2}{i\pi} \ln \left( \frac{1 + i(z)^{p+1} \prod_{i=1}^n \frac{z-z_i}{1-\bar{z}_i z}}{1 - i(z)^{p+1} \prod_{i=1}^n \frac{z-z_i}{1-\bar{z}_i z}} \right) \right), \quad p = 3, 5, \dots, z = \frac{s-1}{s+1}, z_i = \frac{s_i-1}{s_i+1}$$

Then,

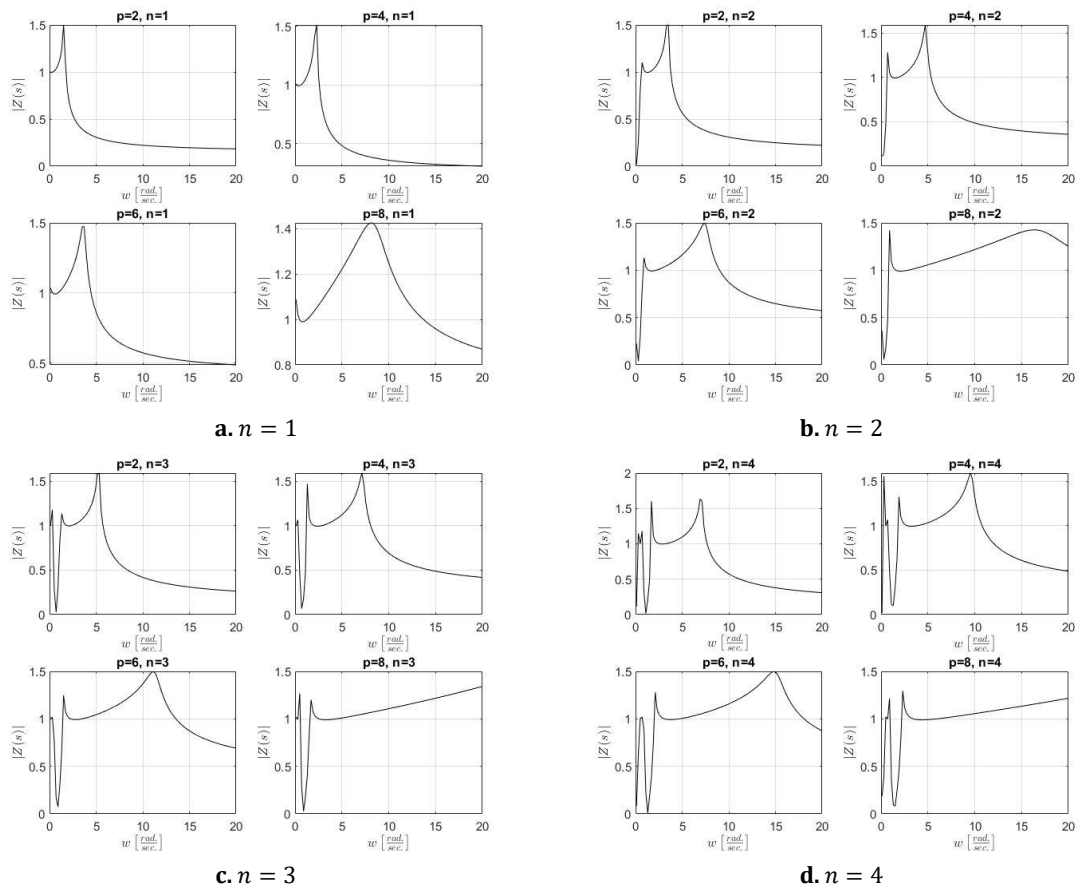
$$|Z'(0)| = \frac{2A}{\pi} \left( p + 1 + \sum_{i=1}^n \frac{1 - z_i}{1 + z_i} \right).$$

Also, since  $z_i = \frac{s_i-1}{s_i+1}$ , we take

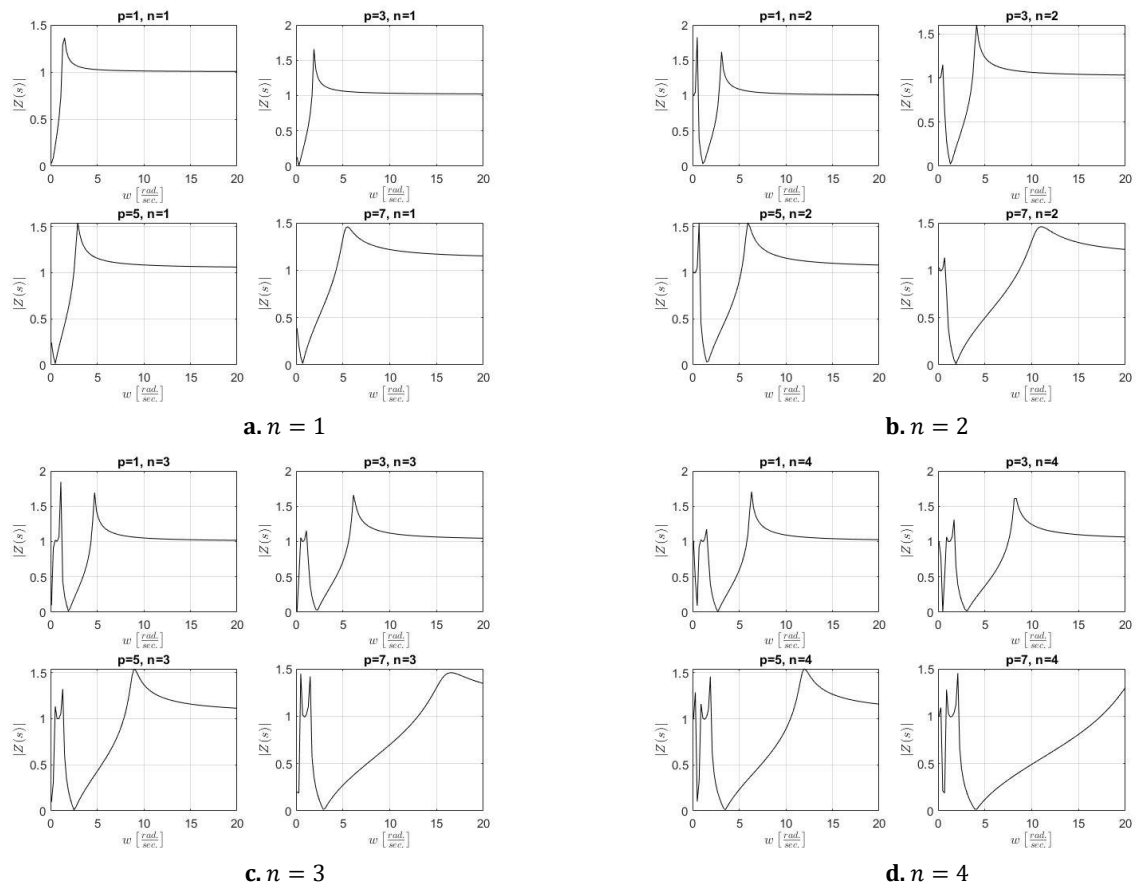
$$|Z'(0)| = \frac{2A}{\pi} \left( p + 1 + \sum_{i=1}^n \frac{1 - \frac{s_i-1}{s_i+1}}{1 + \frac{s_i-1}{s_i+1}} \right) = \frac{2A}{\pi} \left( p + 1 + \sum_{i=1}^n \frac{1}{s_i} \right).$$

In addition, since  $|b_p| = 0$ , (2.1) holds.

In Figs. 3 and 4, frequency characteristic graphics are given for DPIF obtained in Theorem 1 for even and odd values of  $p$ , respectively. As in Lemma 1, again  $n$  is the significant variable that determines the number of the spikes here. According to figures, notches have a sharper structure when  $p$  takes odd values and they are smoother for even values of  $p$ .



**Figure 3.** Frequency magnitude graphic of  $Z(s)$  function obtained in Theorem 1 assuming that  $p$  parameter takes even values.



**Figure 4.** Frequency magnitude graphic of  $Z(s)$  function obtained in Theorem 1 assuming that  $p$  parameter takes odd values.

**Theorem 2** Let  $Z(s) = \frac{A}{2} + b_p(s-1)^p + b_{p+1}(s-1)^{p+1} + \dots$ ,  $p \geq 2$  be a positive real function with  $0 < \Re Z(s) \leq A$  for  $\Re s \geq 0$  that is also analytic at the point  $s = 0$  of the imaginary axis with  $Z(0) = A$ . Suppose that  $Z(s)$  has no points right half plane except  $s = 1$  and  $b_p > 0$ . Then we have the inequality

$$|Z'(0)| \geq \frac{2A}{\pi} \left( p - \frac{2b_p \ln^2 \left( \frac{\pi 2^p}{2A} b_p \right)}{2b_p \ln \left( \frac{\pi 2^p}{2A} b_p \right) + |pb_p + 2b_{p+1}|} \right) \quad (2.2)$$

and

$$|pb_p + 2b_{p+1}| \leq 2 \left| b_p \ln \left( \frac{\pi 2^p}{2A} b_p \right) \right|. \quad (2.3)$$

The equality in (2.3) occurs for the function

$$Z(s) = \begin{cases} \frac{A}{2} \left( 1 + \frac{2}{i\pi} \ln \left( \frac{1 + i \left( \frac{s-1}{s+1} \right)^p e^{\sin \left( \frac{\pi 2^p}{2A} b_p \right)}}{1 - i \left( \frac{s-1}{s+1} \right)^p e^{\sin \left( \frac{\pi 2^p}{2A} b_p \right)}} \right) \right), & p = 2, 4, \dots \\ \frac{A}{2} \left( 1 + \frac{2}{i\pi} \ln \left( \frac{1 - i \left( \frac{s-1}{s+1} \right)^p e^{\sin \left( \frac{\pi 2^p}{2A} b_p \right)}}{1 + i \left( \frac{s-1}{s+1} \right)^p e^{\sin \left( \frac{\pi 2^p}{2A} b_p \right)}} \right) \right), & p = 3, 5, \dots \end{cases}$$

where  $\ln \left( \frac{\pi 2^p}{2A} b_p \right) < 0$  and  $b_p > 0$ .

**Proof.** Let  $b_p > 0$  in the expression of the function  $Z(s)$ . Also, the function  $Z(s)$  has no points in the right half plane except  $s = 1$  and  $f(z)$  be as in the proof Theorem 1. Consider the funtion

$$m(z) = \frac{f(z)}{u(z)},$$

where  $u(z) = iz^p$  So, the maximum priciple implies that for each  $z \in E$ , we have  $|f(z)| \leq |u(z)|$ . Therefore,  $|m(z)| < 1$  for  $|z| < 1$ . Thus, we obtain

$$m(0) = \frac{\pi^{2p}}{2A} b_p. \quad (2.4)$$

Having in mind equality (2.4), we denote by  $\ln m(z)$  the analytic branch of logarithm normalized by the condition

$$\ln m(0) = \ln \left( \frac{\pi^{2p}}{2A} b_p \right) < 0.$$

The auxiliary function

$$g(z) = \frac{\ln m(z) - \ln m(0)}{\ln m(z) + \ln m(0)}$$

is analytic in  $E$ ,  $|g(z)| < 1$  for  $z \in E$ ,  $g(0) = 0$  and  $|g(-1)| = 1$  for  $-1 \in \partial E$ . Therefore, from (1.3) for  $p = 1$ , we obtain

$$\begin{aligned} \frac{2}{1 + |g'(0)|} &\leq |g'(-1)| = \frac{|2\ln m(0)|}{|\ln m(-1) + \ln m(0)|^2} \left| \frac{m'(-1)}{m(-1)} \right| \\ &= \frac{-2\ln m(0)}{\ln^2 m(0) + \arg^2 m(-1)} (|f'(-1)| - |u'(-1)|) \\ &\leq \frac{-2}{\ln m(0)} \left( \frac{A |Z'(0)|}{\pi} - p \right), \end{aligned}$$

$$g'(0) = \frac{m'(0)}{2m(0)\ln m(0)} = \frac{|pb_p + 2b_{p+1}|}{2b_p \ln \left( \frac{\pi^{2p}}{2A} b_p \right)}$$

and

$$\frac{2}{1 + \frac{|pb_p + 2b_{p+1}|}{2b_p \ln \left( \frac{\pi^{2p}}{2A} b_p \right)}} \leq \frac{-2}{\ln \left( \frac{\pi^{2p}}{2A} b_p \right)} \left( \frac{A |Z'(0)|}{\pi} - p \right).$$

Thus, we have the inequality (2.2). Similarly, the function  $g(z)$  satisfies the assumptions of the Schwarz lemma, we take

$$\begin{aligned} 1 \geq |g'(0)| &= \frac{|2\ln m(0)|}{|\ln m(0) + \ln m(0)|^2} \left| \frac{m'(0)}{m(0)} \right| \\ &= \frac{-1}{2\ln \left( \frac{\pi^{2p}}{2A} b_p \right)} \frac{|pb_p + 2b_{p+1}|}{b_p} \end{aligned}$$

and

$$|pb_p + 2b_{p+1}| \leq 2 \left| b_p \ln \left( \frac{\pi^{2p}}{2A} b_p \right) \right|.$$

Now we shall show that inequality (2.3) is sharp. Let

$$Z\left(\frac{1+z}{1-z}\right) = \frac{A}{2} \left( 1 + \frac{2}{i\pi} \ln \left( \frac{1 + iz^p e^{\frac{1+z}{1-z} \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right)}}{1 - iz^p e^{\frac{1+z}{1-z} \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right)}} \right) \right), \quad p = 2, 4, \dots, z = \frac{s-1}{s+1}.$$

After simple calculations, we take

$$e^{\frac{i\pi}{2} \left[ \frac{2}{A} Z\left(\frac{1+z}{1-z}\right) - 1 \right]} - 1 = z^p \frac{2i e^{\frac{1+z}{1-z} \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right)}}{1 - iz^p e^{\frac{1+z}{1-z} \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right)}} = z^p w(z).$$

Therefore, we have

$$w(z) = \frac{e^{\frac{i\pi}{2} \left[ \frac{2}{A} Z\left(\frac{1+z}{1-z}\right) - 1 \right]} - 1}{z^p}$$

$$= \frac{i\pi}{2} \left( \frac{b_p}{A} \frac{2^{p+1}}{(1-z)^p} + \frac{2^{p+2} b_{p+1} z}{A(1-z)^{p+1}} + \dots \right) + \frac{1}{2} z^p \left( \frac{i\pi}{2} \left( \frac{b_p}{A} \frac{2^{p+1}}{(1-z)^p} + \frac{2^{p+2} b_{p+1} z}{A(1-z)^{p+1}} + \dots \right) \right)^2 + \dots$$

and

$$|w'(0)| = \frac{\pi 2^p}{A} |p b_p + 2 b_{p+1}|.$$

In addition, let

$$w(z) = \frac{2i e^{\frac{1+z}{1-z} \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right)}}{1 - iz^p e^{\frac{1+z}{1-z} \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right)}}.$$

Taking the derivative of the function  $w(z)$ , we get

$$w'(z) = 2i \frac{\frac{2}{(1-z)^2} \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right) e^{\frac{1+z}{1-z} \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right)} \left(1 - iz^p e^{\frac{1+z}{1-z} \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right)}\right)}{\left(1 - iz^p e^{\frac{1+z}{1-z} \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right)}\right)^2}$$

$$+ i \frac{\left(pz^{p-1} e^{\frac{1+z}{1-z} \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right)} + \frac{2}{(1-z)^2} \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right) e^{\frac{1+z}{1-z} \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right)}\right) e^{\frac{1+z}{1-z} \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right)}}{\left(1 - iz^p e^{\frac{1+z}{1-z} \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right)}\right)^2}$$

and

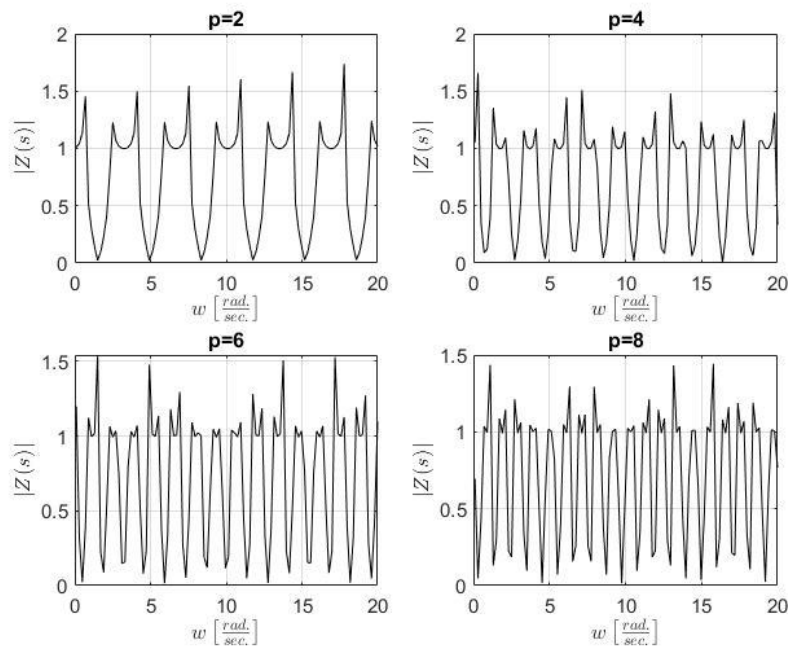
$$|w'(0)| = \frac{\pi 2^p}{A} 2 \left| b_p \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right) \right|.$$

Thus, we obtain

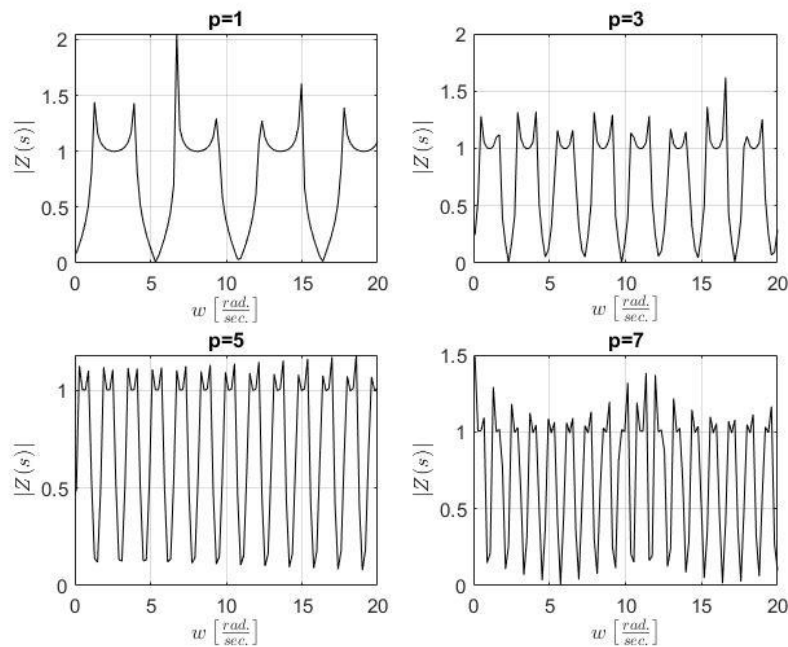
$$|p b_p + 2 b_{p+1}| = 2 \left| b_p \ln\left(\frac{\pi 2^p}{2A} b_p\right) \right|.$$

Similarly, for  $p = 3, 5, \dots$

In Figs. 5 and 6, frequency characteristic graphics of  $Z(s)$  function obtained in Theorem 2 are given for even and odd values of  $p$ , respectively. Here,  $A$  and  $b_p$  values are assumed to be equal to 1. According to Figs 5 and 6,  $|Z(s)|$  has an self-repeating structure which makes it possible to comment that the filters given here are sampled (discrete in time) analog filters since their frequency spectrum has a periodical structure.



**Figure 5.** Frequency magnitude graphics of  $Z(s)$  function obtained in Theorem 2 for even values of  $p$ .



**Figure 6.** Frequency magnitude graphics of  $Z(s)$  function obtained in Theorem 2 for odd values of  $p$ .

### 3. Conclusions

In this work, Schwarz Lemma has been used for boundary analysis of DPIFs by analyzing the derivative of DPIF at the origin. Within the manuscript, a lemma and two theorems have been presented and lower boundaries have been obtained for  $|Z'(0)|$ . Performing sharpness analysis of obtained inequalities, three DPIFs corresponding to

three generic filter structures have been obtained. According to simulation results, different filter structures can be obtained by utilizing the resulting DPIFs. Simple filter structures are determined when the DPIFs obtained in Lemma 1 and Theorem 1 are utilized. On the other hand, an oscillating DPIF is obtained in Theorem 2. Various filter structures showing distinct characteristics in frequency domain can be determined by performing analyses presented in this study.

### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

### References

- Boas, H. P., 2010. Julius and Julia: Mastering the Art of the Schwarz lemma. *The American Mathematical Monthly*, 117 (9), 770-785.
- Dineen, S., 2016. *The Schwarz Lemma*. Courier Dover Publications, USA.
- Dubinin, V. N., 2004. The Schwarz inequality on the boundary for functions regular in the disk. *Journal of Mathematical Sciences*, 122 (6), 3623-3629.
- Hazony, D., 1963. *Elements of network synthesis*. Reinhold Publishing Corporation, New York, USA.
- Kresin, G., Maz'ja, V. G., 2007. *Sharp real-part theorems*. Berlin: Springer.
- Krueger, R. J., Brown, D. P., 1969. Positive real derivatives of driving point functions. *Journal of the Franklin Institute*, 287 (1), 51-60.
- Mercer, P. R., 1997. Sharpened versions of the Schwarz lemma. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 205 (2), 508-511.
- Mercer, P. R., 2018a. Boundary Schwarz inequalities arising from Rogosinski's lemma. *Journal of Classical Analysis*, 12, 93-97.
- Mercer, P. R., 2018b. An improved Schwarz Lemma at the boundary. *Open Mathematics*, 16 (1), 1140-1144.
- Osserman, R., 2000. A sharp Schwarz inequality on the boundary. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 128 (12), 3513-3517.
- Örnek, B. N., Düzenli, T., 2018. Boundary Analysis for the Derivative of Driving Point Impedance Functions. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 65 (9), 1149-1153.
- Örnek, B. N., Düzenli, T., 2019. Schwarz lemma for driving point impedance functions and its circuit applications. *International Journal of Circuit Theory and Applications*, 47 (6), 813-824.
- Örnek, B. N. (2015). Caratheodory's inequality on the boundary. *The Pure and Applied Mathematics*, 22 (2), 169-178.
- Reza, F. M., 1962. A bound for the derivative of positive real functions. *SIAM Review*, 4 (1), 40-42.
- Van Der Pol, B., 1937. A new theorem on electrical networks. *Physica*, 4 (7), 585-589.



## AĞIRLIKLI TOPLAM MODEL YÖNTEMİ İLE STRATEJİK ÇEVRESEL DEĞERLENDİRMEİN SEKTÖREL PLANLARA ENTEGRASYONU OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI: TURİZM SEKTÖRÜ

Nermin Merve YALÇINKAYA\*

Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Sürdürülebilirlik,  
Sektörel Planlama,  
Etki Değerlendirme,  
Çok Kriterli Analizler.*

### Öz

Bu çalışmada, Turizm sektörüne SÇD'nin entegrasyonunda, ağırlıklı toplam model uygulanma olanakları incelenmiştir. Bu kapsamda, Türkiye'nin turizm sektöründeki sektörel plan kararları incelenmiş, mevcut sorunların çözümünde ve sektörel yapının güçlendirilmesinde, uygulanacak SÇD sistemine yönelik bir araştırma yapılmıştır. SÇD'nin etkin uygulanmasındaki temel şartlardan biri, çevrenin doğal ve kültürel yönden tüm bileşenlerini mümkün olduğunca değerlendirme sürecine dahil edebilmektir. Bu model, farklı başlıklar altında çok sayıda ölçütü değerlendirmeye almaya olanak sağladığından, karar verme süreçlerinde hangi konulara hassasiyetle yaklaşılması gerektiğini netleştirmektedir. Çalışmanın sonucunda, Türkiye için yasal SÇD süreçlerinin sektörel planlara etkin entegrasyonuna yönelik, ülkesel ölçekte kurumsal etkin işleyiş kapsamında analitik araçların önemi ve gerekliliğine dikkat çekilmiştir. Turizm gibi hem mekânsal hem de sosyo-ekonomik planlamanın ağırlıklı olduğu sektörlerde SÇD entegrasyonu süreçlerinde, nitelik ve etkinliği destekleyici tekniklerin geliştirilmesi ve uygulama olanaklarının artırılmasının önemi ve önceliği vurgulanmıştır.

## INVESTIGATION OF OPPORTUNITIES TO INTEGRATE STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT INTO SECTORAL PLANS USING WEIGHTED SUM MODEL METHOD: TOURISM SECTOR

### Keywords

*Sustainability,  
Sectoral Planning,  
Impact Assessment,  
Multi Criteria Analysis.*

### Abstract

In this study, the technical possibilities of applying Weighted Sum Model in the integration of into the tourism sector are examined. In this context, sectoral plan decisions in the tourism sector of Turkey are examined, and a research is conducted on the SEA system to be applied in solving existing problems and strengthening the sectoral structure. One of the main conditions for the effective implementation of the SEA is to include all components of the environment in the evaluation process as accurate as possible. It clarifies which issues should be approached sensitively in decision-making processes due to this model allows to evaluate many criteria under different concept. As a conclusion of the study, it is highlighted the importance of analytical tools for the effective integration of legal SEA processes into sectoral plans for Turkey within the scope of institutional and functional functioning on a national scale. It is concluded that techniques for the effective use of SEA to be applied in sectors within the framework of both spatial and socio-economic planning, such as tourism, should be developed and application opportunities need to be increased.

### Alıntı / Cite

Yalçinkaya, N.M., (2021). Ağırlıklı Toplam Model Yöntemi ile Stratejik Çevresel Değerlendirmenin Sektörel Planlara Entegrasyonu Olanaklarının Araştırılması: Turizm Sektörü, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1106-1120.

\* İlgili yazar / Corresponding author: nbaykan@cu.edu.tr, +90-322-338-6545



| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process  |            |
|--|----------------------------------|------------|
| N. M. Yalçinkaya, 0000-0002-0860-1498    | Başvuru Tarihi / Submission Date | 22.05.2021 |
|  | Revizyon Tarihi / Revision Date  | 03.07.2021 |
|  | Kabul Tarihi / Accepted Date     | 03.07.2021 |
|  | Yayın Tarihi / Published Date    | 20.12.2021 |

## 1. Giriş (Introduction)

Stratejik Çevresel Değerlendirme (SÇD), Bütüncül Çevre Yönetimi çerçevesinde politika, plan, program (PPP) kararlarına uygulanan etki değerlendirme sistemi olup, karar verme mekanizmaları üzerinde etkili ve süreci yönlendirici bir niteliğe sahiptir (Say ve Yücel, 2000; Yalçinkaya, 2019). SÇD süreçleri, entegre edileceği üst ölçekli sektörel kararların hazırlanmasına eş zamanlı olarak başlayan, istişare toplantıları ve değerlendirme bulgularına dayanan bir rapor hazırlanması ve mevcut bulguların karar verme sürecinde kamuoyu ile paylaşılması aşamalarını da içeren resmi, sistematik ve kapsamlı bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Sadler ve Verheem, 1996; Glasson ve ark., 1999; Say, 2004; Bozhesku and Fischer, 2011; Yücel, 2011).

SÇD, tüm etki değerlendirme sistemleri gibi "Etkileyen-Etki-Etkilenen" temel bileşenlerinin mekâna ve zamana bağlı olarak çeşitlilik göstermesiyle ilişkilendirilebilir. Ancak, SÇD diğer etki değerlendirme sistemlerinden daha geniş kapsamlı bir değerlendirme sistemi olup, ulusal ve uluslararası düzeyde farklı sektörlerle yönelik uygulama alanları giderek artmaktadır.

Sektörel alan kullanımlarının uzun vadede neden olacağı etkilerin ekonomik ve sosyal boyutunun yanı sıra çevresel boyutunun belirlenmesi sürdürülebilir kalkınma için temel bir gereksinimdir. Bu durumun temel nedeni, küresel boyutta meydana gelen nüfus artışına paralel olarak görülen ekonomik büyüme sürecinde, üretim ve atık oranlarının artmasıdır. Bu doğrultuda, çevresel konuların sektör analizi sürecine entegre edilmesi gerekmektedir. Erken aşamalarda gerçekleştirilen etki değerlendirme sistemleri ile farklı ölçeklerdeki alan kullanım planları ve sektörel planların daha uygulanabilir ve kapsamlı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir (Lamura, 1989).

Doğal kaynakların azalması ve bu kaynakların kullanımına yönelik sektörler arası rekabet nedeniyle, belirli bir sektörle ekonominin diğer alanları arasındaki ilişkilerin çevresel faktörlerle güçlendirileceği ifade edilmektedir (Karaer, 2002; Katip ve ark., 2014). Özellikle mekânsal boyutu olan sektörlerle ilişkin planlama çalışmalarına ait karar verme süreçlerine çevresel konuların entegrasyonunda etki değerlendirme sistemleri en etkili araç olup, bu sistemlerin çevreyi etkileyebilecek tüm faaliyetlere veya PPP'ye uygulanması gerekir. Bu çerçevede turizm sektörü, mekânsal boyutu olan, farklı sektörlerle ilişkili ve çok boyutlu bir sektör olarak, sektörel karar verme süreçlerine SÇD'nin entegre edilmesi sürdürülebilir kalkınma için oldukça önemlidir (Efe, 2011).

Bu çalışmada, Türkiye'de sektörel planlama sistemi çerçevesinde, SÇD'nin turizm sektörü ile ilişkili planlama düzeylerine uygulanma sürecinde yararlanılacak analitik araçlar ve uygulama olanaklarına yönelik kapsamlı bir araştırma yürütülmüştür. Türkiye'deki mevcut planlama sistemi, sektörel yapılanma ve karar verme süreçlerine yön veren aktörler göz önüne alındığında; karar verme süreçlerine entegre edilecek SÇD sürecinde yararlanılacak analitik araçların doğru seçimi somut kararların belirlenmesinde oldukça önemlidir. SÇD'nin sektörel planlara entegrasyonu sürecinde optimal bir sonuca ulaşmak amacıyla Çok Kriterli Karar Verme süreçlerine dayandırılması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, SÇD'nin entegrasyonu süreçlerinde kullanılacak bir araç olarak Ağırlıklı Toplam Model (Simple Additive Weighting) yönteminin uygulanabilirliği araştırılmasıdır. Bu yöntem ile planlanan alt sektör yatırımlarına yönelik yer ve güzergâh bağlantıları alternatifleri arasından, sürdürülebilir bir seçim yapılması hedeflenmektedir. Çalışmada turizm sektörü özelinde geliştirilen bu modelin, üst ölçekli sektörel karar verme süreçlerinde karar verici ve karar üreticiler için bir alternatif teknik oluşturması önerilmektedir.

## 2. Turizm Sektörüne Yönelik Karar Verme Süreçlerinde SÇD'nin Önemi (The Importance of SEA in Decision Making Processes of Tourism Sector)

Mekansal boyutu olan sektörel kararların Bütüncül Çevre Yönetimi üzerinde doğrudan etkili olması nedeniyle, sektörlerle ilişkin yürütülen üst ölçekli planlama çalışmalarında etki değerlendirme sistemlerinden yararlanılması çok önemlidir. Türkiye'nin planlı döneme geçiş sürecindeki stratejileri arasında, turizm sektörü büyüme hedeflerinin ve sektörel kaynak aktarımlarının öncelikli olduğu görülmektedir. 15 yıllık bir gelişme sürecini hedefleyen Birinci Kalkınma Planı (1963)'nda yer alan "İlk beş yıllık dönemde yapılacak temel enfastrüktür ve turizm yatırımları ve ticaret filomuzun gelişmesi, özellikle ikinci beş yıldan sonra görülmeyen kalemler gelirlerinde hızlı bir artış sağlayacaktır." ve "Onbeş yıl içinde dış ticaretimizde meydana gelecek değişiklikleri, ihracatın gelişmesi ve çeşitlendirilmesi, görünmeyen kalemler ve özellikle turizm gelirlerinin artması ve

ithalatımızın kompozisyonunun değişmesi şeklinde özetlenebilir.” ifadeleri bu önceliği net bir şekilde ortaya koymaktadır. Yürürlükte olan On Birinci Kalkınma Planı (2019) kapsamında yer alan turizm sektörüne ilişkin politika ve tedbirleri incelendiğinde, sektörel büyüme hedeflerinin büyüyen bir perspektifle uygulamaya aktarılmasının önemi ve önceliği görülmektedir.

ÖİKR (2014)’na göre, yükselen refah düzeyine paralel olarak seyahate ayrılan gelirin ve ulaşım olanaklarının artması ile dünyanın en hızlı büyüyen sektörlerinden biri olan turizm, bir endüstri kolu olarak kabul edilmekte olup, bu konuda ülkeler arasındaki rekabet giderek artmaktadır. Bu kapsamda turizm sektörü, Türkiye gibi turizm çeşitliliği yüksek olan ülkelerde oldukça geniş bir hacme sahiptir. T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı (2018) verilerine göre, Türkiye’de sağlık turizmi, kış turizmi, yayla turizmi, kongre turizmi, inanç turizmi, golf turizmi, agro-turizm, kırsal turizm, kuş gözlemciliği vb. farklı amaçlara yönelik turizm çeşitliliği bulunmaktadır. Sektörel perspektifte başarı gösteren ülkeler dikkate alındığında, bu ülkelerin turizme yönelik arz planlamasını Tablo 1’de görüldüğü gibi, sosyoekonomik ve fiziki planlama boyutunu kapsayan bütünsel bir planlama yaklaşımı ile gerçekleştirdikleri ifade edilebilir.

**Tablo 1.** Bütüncül Turizm Planlamasının Aşamaları (Yalçinkaya ve ark., 2018) (Stages of Hierarchical Integrated Tourism Planning)

|  |  |
|--|--|
| <b>Uluslararası Turizm Planlaması</b>    | Ülke sınırlarını aşan birden fazla ülkeyle ilgili turizm konularını kapsayan planlama türüdür. Stratejik kararları kapsar. Mekânsal açıdan da ülke idari sınırlarını aşabilir. Uluslararası ulaştırma hizmetlerini özellikle havayolu ağlarında belirli aktarma noktalarını çözümlenmeyi gerektirir.                             |
| <b>Ulusal Turizm Planlaması</b>          | Ulusal kalkınma planları çerçevesinde, ülkenin kalkınmasındaki temel sektör olarak turizm kaynaklarının belirlenmesini ve yönetimini hedefler.   |
| <b>Bölgesel Turizm Planlaması</b>        | Ulusal turizm planlamasının belirlediği makro hedefler doğrultusunda hazırlanır. Temel hedefleri; bölge planlarının hedefleri arasında yer alan bölgelerarası dengesiz kalkınmayı azaltmak, bölgenin sahip olduğu turizm potansiyelinin işletilmesi ve bölgeye ulaşımın kara, hava ve su yolu ulaşım seçenekleriyle çözümlenmesi |
| <b>Yerel Turizm Planlaması</b>           | Kentsel ölçekte ya da kırsal yerleşim ölçeğinde destinasyonların belirlenmesi ve işletilmesini kapsar. Destinasyonlar doğal yapı ya da kültürel yapı niteliğinde olabileceği gibi mekansal nitelikte de olabilir.  |
| <b>İşletme Ölçekli Turizm Planlaması</b> | Yerel düzeyde belirlenen destinasyonlarda tesis projelendirilmesi ve işletilmesine yönelik konuları kapsar. Yerel yönetimlerin destinasyonların sahip olduğu niteliklere bağlı olarak belirlediği işletme standartlarını sağlaması beklenir.   |

Yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda, sosyal, çevresel ve ekonomik dinamikler üzerinde bu derece etkili olan turizm sektörüne ilişkin belirlenen politikalar ve doğrultusundaki plan, program kararlarının ülkesel kalkınmaya büyük ölçüde yön vereceği çıkarımı yapılabilir. Bu kalkınma sürecinin, sürdürülebilir bir vizyona sahip olması temelinde, karar verme süreçlerine etki değerlendirme sistemlerinin entegrasyonu temel gereksinimler arasında yer almalıdır.

On birinci Kalkınma Planı (2019)’nda turizm sektörüne ilişkin amaç *“Değişen tüketici eğilimleri ile teknolojik gelişmeler doğrultusunda turizmin çeşitlendirilmesi ve geliştirilmesi, sezon süresinin uzatılması, hizmet kalitesinin yükseltilmesi ve daha fazla harcama eğilimi olan ziyaretçinin ülkemize çekilmesi ile konaklama süresi ve konaklama dışı harcamaların artırılması, her bir destinasyon özelinde ve odaklı anlayış çerçevesinde sektörde dönüşümün gerçekleştirilmesi ve koruma-kullanma dengesi gözetilerek ekonomik ve sosyal kalkınmaya katkı sağlanması”* olarak yer almaktadır. Plan’da yer alan politika ve tedbirleri detaylı olarak incelenmiştir. Doğrudan ya da dolaylı olarak mekânsal boyutu olan politika ve tedbirlerinin SÇD uygulanabilir nitelikte olduğu görülmüştür (Tablo 2).

Tablo 2’de görüldüğü gibi, işaretlenmiş somut politikalar ve tedbirleri, SÇD uygulanması mümkün niteliktedir. Politikalara SÇD uygulanması, hiyerarşik çerçevede üretilen ilgili alt ölçekli dokümantasyonlarda bulunan kararların (plan ve program kararları) SÇD uygulanma süreçlerinin de etkin ve hızlı yürütülmesini sağlayacaktır. Bunun yanı sıra, belirli durumlarda kurumsal işleyişin etkinliğini artırmayı vb. hedefleyen yasal çerçeve düzenlemeleri de söz konusu olabilmektedir. Bu durum, SÇD’nin yalnızca çevreyi değil, beraberinde sosyal ve ekonomik dinamikleri de optimize etmeyi hedeflediğinin bir göstergesidir.

**Tablo 2.** On Birinci Kalkınma Planı kapsamında yer alan turizm politikaları (On birinci Kalkınma Planı, 2019) (Tourism Policies in the Eleventh Development Plan)

|   |  |
|---|--|
| ★ | <b>Mevcut kaynak pazarlarımızın güçlendirilmesi, geliştirilmesi ve bunun yanı sıra yeni kaynak pazarların yaratılması yoluyla ziyaretçi sayısı artırılabacaktır.</b>   |
|   | 1. Başta uzak doğu ülkeleri olmak üzere dünyada yükselen pazar konumundaki ülkelerden ülkemiz için yeni kaynak pazarlar oluşturmaya yönelik çalışmalar yürütülecektir.   |
| ★ | 2. Ana kaynak pazarımız olan ülkelerin seçilmiş şehirlerinden konaklama kapasitesinin yüksek olduğu turistik bölgelerimize başlatılan doğrudan tarifeli uçuş seferleri ve düzenlendiği bölgelerin sayıları artırılabacaktır.   |
|   | 3. Turizmin tanıtımı ve yatırımların artırılması için özel sektörün finansman temininde ve karar süreçlerinde yer aldığı Türkiye Turizm Tanıtım ve Geliştirme Ajansı kurulacaktır.   |
| ★ | 4. Başta ana ve yükselen hedef pazarlar olmak üzere yurt dışında algı ve imaj araştırmaları yapılarak bu kapsamda yönetim planları hazırlanacaktır.  |
| ★ | 5. Artan turist sayısını karşılamak üzere yatırım sürecindeki 212.038 yatağa ilaveten Plan döneminde yatak kapasitesi 300.000 artırılabacaktır.  |
| ★ | 6. Risk ve kriz durumlarından sektörün etkilenmemesi için risk ve kriz yönetim planları hazırlanacaktır.   |
| ★ | <b>Daha fazla gelir bırakan turizm çeşitlerinin geliştirilmesi, konaklama süresinin uzatılması, konaklama dışı harcama alanlarının yaratılması ve harcama eğilimi yüksek ziyaretçilere ulaşılması yoluyla kişi başı harcama artırılabacaktır.</b>  |
| ★ | 1. Gastronomi, golf, sağlık, kruvaziyer, düğün, inanç, kongre ve alışveriş gibi daha fazla gelir bırakan turizm çeşitlerine yönelik talebin yüksek olduğu pazarlar tespit edilecek ve bu ülkelerden ziyaretçi sayısının artırılmasına ilişkin çalışmalar yürütülecektir.   |
| ★ | 2. Ortalama konaklama süresini artıracak ve turizmin yılın tamamına yayılmasını sağlayacak sağlık turizminin geliştirilmesi için tanıtım ve yatırım faaliyetleri yürütülecektir.   |
| ★ | 3. İçerdiği farklı kullanımlarla turizm çeşitliliği sunan, bütüncül planlanmış turizm kentleri hayata geçirilerek ziyaretçilerin konaklama süreleri artırılabacak, alışveriş, eğlence ve sportif faaliyetlerle konaklama dışı harcamaları artırılabacaktır.  |
| ★ | 4. Büyük ölçekli turizm yatırımlarının gerçekleştirilmesine yönelik planlama ve arazi tahsis çalışmaları yapılacak, sürdürülebilir bir anlayışla turizmin çeşitlendirilmesi ve sezonun uzatılması amacıyla turizm altyapı yatırımları gerçekleştirilecektir.   |
|   | 5. Turizm değerlerimiz destinasyon bazında gruplandırılarak tanıtılacaktır.  |
| ★ | 6. Deniz turizmine katkı sağlamak üzere, talebe ve doğal özelliklere uygun projelendirilmiş yat limanlarının yapılabilir bulunması halinde KÖİ modeli ile hayata geçirilmesi sağlanacak, Plan döneminde başlanacak yat limanı yatırımları ile yat bağlama kapasitesinde yaklaşık 4.500 yatlık kapasite artışı gerçekleştirilecektir. |
| ★ | 7. İstanbul'u kruvaziyer seyahatin başlangıç - bitiş noktası yapmak amacıyla yeni bir kruvaziyer liman yapılacaktır.   |
| ★ | 8. Harcama eğilimi yüksek ziyaretçi trafiğini artırmak üzere ana turistik destinasyonlara business class ve comfort class uygulaması yaygınlaştırılacak ve sefer sayıları artırılabacaktır.  |
| ★ | 9. Turistik tren seferleri uygulamaya alınacaktır.   |

Tablo 2. Devamı (Continued)

|   |  |
|---|--|
|   | 10. Turizm sektörüne ilişkin dağınık haldeki mevzuat günümüzün ihtiyaçlarına göre gözden geçirilmek suretiyle sektörü ilgilendiren tüm hususlara ilişkin Turizm Temel Yasası çıkarılacak; turizm hizmetlerinin çeşitlendirilmesi, yatırımların desteklenmesi, turizm işletmeciliğinin teşvik edilmesi ve sektör üzerindeki maliyetlerin azaltılması sağlanacaktır. |
| ★ | <b>Her bir destinasyon özelinde ve odaklı anlayış çerçevesinde; planlama hiyerarşisi gözetilerek yatırım planlaması dâhil turizmin gelişimi ve yönetimi bütüncül olarak ele alınacak; çevreye duyarlı ve sorumlu turizm anlayışı ile sürdürülebilir turizm uygulamaları geliştirilecektir.</b>   |
| ★ | 1. Destinasyon bazında strateji, master plan ve fiziki planlar hazırlanacak ve projeler yürütülecektir.  |
| ★ | 2. Kıyı alanlarının turizm sektörünün talepleri ile entegre bir şekilde koruma-kullanma dengesi dikkate alınarak bütünleşik yönetimi ve planlaması yapılacaktır.   |
| ★ | 3. Koruma kullanma dengesi gözetilerek turizm alanlarının taşıma kapasiteleri tespit edilecek ve alanlar buna göre yönetilecektir.   |
| ★ | 4. Turizm bölgelerindeki içme suyu, kanalizasyon, katı atık bertaraf ve atık su arıtma altyapı yatırımları gerçekleştirilecektir.  |
| ★ | 5. Sürdürülebilir turizm anlayışı çerçevesinde; çevreye duyarlı turizm tesislerinin sayısının artırılması ve niteliklerinin geliştirilmesine yönelik mevzuat düzenlemesi yapılacaktır.   |
| ★ | 6. İklim değişikliğinin turizm sektörü üzerindeki etkilerinin tespitine yönelik çalışmalar yapılacaktır.   |
|   | <b>Turizm sektöründe daha yüksek standartlarda hizmet sunumu sağlanacaktır.</b>  |
|   | 1. Kültür ve Turizm Bakanlığı ile Milli Eğitim Bakanlığı arasında imzalanan protokol çerçevesinde yürütülecek uygulamalı eğitim programı ile turizm sektörünün ihtiyacı olan nitelikli ara eleman ihtiyacı karşılanacaktır.  |
|   | 2. Turizm sektörü çalışanları için Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından düzenlenen eğitim programlarına sektörün daha fazla katılım sağlamasına yönelik çalışmalar yürütülecek ve talebi karşılayacak şekilde eğitimler verilecektir.   |
|   | 3. Nitelikli personel istihdamını kolaylaştırmak ve personelin barınma ihtiyacının daha konforlu ortamlarda karşılanması için tesislere personel lojman alanı tahsis edilecektir.  |
| ★ | 4. Renovasyon yoluyla tesislerdeki fiziki şartların iyileştirilmesine yönelik hukuki düzenlemeler yapılacak ve uygulamaya konulacaktır.  |
|   | 5. Turizm hizmetlerinde kullanılacak olan tesislerin standartlarının yükseltilmesini sağlamak üzere tesislerin belgelendirilmesine ilişkin sistem yeniden düzenlenecektir.   |
|   | <b>Başta internet tabanlı uygulamalar olmak üzere turizm sektörünün paylaşım ekonomisinden daha etkin faydalanabilmesine yönelik düzenlemeler yapılacak, sektördeki Ar-Ge faaliyetleri ile teknolojiye dayalı uygulamalar desteklenecektir.</b>  |
|   | 1. Turizmde dijitalleşme oranları ve sektörün dijitalleşme konusuna yakınlığı araştırması yapılacaktır.  |
|   | 2. Turizm sektöründe ürün geliştirme, tanıtım ve pazarlamada kullanılmasına yönelik büyük verinin toplanması ve analizi çalışması yürütülecektir.  |
|   | 3. Teknoloji destekli olarak ziyaretçi deneyimini artırıcı projeler geliştirilecektir.   |
|   | 4. Yurt dışı menşeli mobil ve internet uygulamalarına yönelik mali hususlar başta olmak üzere ülkemiz mevzuatının uyumlaştırılması sağlanacaktır.  |

**Tablo 2.** Devamı (Continued)

|   |   |
|---|---|
|   | 5. İç turizmi ölçme sistemi kurulacaktır.   |
|   | 6. Uygulama farklılıklarını ve bürokratik zorlukları ortadan kaldırmak üzere turizm yatırım süreci elektronik ortama taşınacak ve yatırımcıya iş yapma kolaylığı getirilecektir |
| ★ | SÇD uygulanabilir niteliğe sahip politika ve tedbirleri   |

Bu çalışma kapsamında yürütülen araştırma sürecinde, Türkiye’deki mevcut planlama sistemi, sektörel yapılanma ve karar verme süreçlerine yön veren aktörlere ilişkin detaylı incelemeler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen bilgiler doğrultusunda ifade edilebilir ki; turizm sektörü çerçevesinde üst politika belgelerine SÇD uygulanması, sürdürülebilir kalkınmayı çok boyutlu destekleyecek bir niteliğe sahiptir. Optimal kararlara ulaşmak ve etkinliği artırmak amacıyla, SÇD çalışmalarının Çok Kriterli Karar Verme süreçlerine dayandırılması gerekli ve önemlidir.

### 3. Karar Verme Süreçlerinde Kullanılan Analitik Araçlar (Analytical Tools Used in Decision Making Processes)

SÇD’nin ilgili karar verme süreçlerine uygulanması, kapsamı içerisinde kullanılan değerlendirme tekniklerine değişkenlik gösterebilmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda, Tablo 3’te yer alan değerlendirme tekniklerinin en sık kullanılan teknikler olduğu ifade edilebilir.

**Tablo 3.** Çalışma kapsamında incelenen bazı kaynaklara göre etki değerlendirme çalışmalarında en yaygın kullanılan değerlendirme teknikleri (Yalçinkaya, 2019) (The most commonly used environmental assessment techniques according to some sources examined in the study)

| DEĞERLENDİRME TEKNİĞİ                   | KAYNAKLAR  |
|---|--|
| Çok Kriterli Analizler                  | DETR, 2000; Say ve ark., 2011; Lesniak ve Radziejowska, 2017; Celli ve ark, 2018; Li ve ark, 2019  |
| Fayda-Maliyet Analizi                   | Carson ve ark., 1994; Carson ve Hanemann, 2005; Aktan ve Dileyici, 2006; Kaya, 2011; Ferreira ve Marques, 2015; Tonin, 2019                      |
| Karar Ağacı ve Etki Ağları              | Therivel, 2004; Crasto ve ark., 2015; Everaert ve ark., 2016; Karabadji ve ark., 2019  |
| Kolektif Uzman Görüşleri-Delphi Tekniği | Şahin, 2001; Şeker, 2014; Feuerstein ve ark, 2018; Saffari ve ark., 2019; Vreys ve ark., 2019  |
| Kontrol Listeleri                       | Partidario, 1996; Peker, 1996; CO-SEED, 2018   |
| Matrisler                               | Peker, 1996; Yücel, 2016   |
| Mekansal Analiz                         | Say ve ark., 2011; Abou-Korin, 2018; Blanco ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2018; Farjam ve Motlaq, 2019; Winde ve ark., 2019                      |
| Simülasyon Modeli                       | Vashosaz ve Hassan, 2011; Bisset, 2013; Łatuszyńska ve Wójcikiewicz, 2015  |
| Senaryo Geliştirme                      | Joseph, 1974; Schwartz, 1991; Therivel, 2004; Lacroix ve ark., 2009; Eichhorn ve ark., 2019; Svenfelt ve ark., 2019; Xexakis ve Trutnevyte, 2019 |
| Trend Analizi                           | Hirsch ve ark., 1982; Haas ve Birk, 2019; Nagar ve ark., 2019  |
| Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi           | Therivel, 2001; Güngör ve ark., 2009; Aldana ve ark., 2019; Chafer ve ark., 2019; Khoo ve ark., 2019; Santos ve ark., 2019                       |

Etki değerlendirme süreçlerinde yararlanılabilecek analitik araçlar arasında yer alan Çok Kriterli Analizler, planlama süreçlerinde, sürdürülebilirlik yönlerini daha iyi değerlendirmek ve sürecin etkinliğini artırmak için sıklıkla tercih edilmektedir. Çok Kriterli Analizler, planlama alternatiflerini belirlenen ölçütlere göre ayrı ayrı değerlendirmek; elde edilen bulguları genel bir değerlendirmeyle birleştirmek ve karşılaştırmak için kullanılan bir yöntemdir (Lesniak ve Radziejowska, 2017; Celli ve ark, 2018; Li ve ark, 2019). En fazla tercih edilen tek bir seçeneği tanımlamak üzere; seçeneklerin sıralanması, ardı sıra detaylı değerlendirilmesi ve kabul edilebilir/edilemez seçeneklerin ayırt edilmesi için kullanılabilir. Teknik, değerlendirmeyi sayısal bir puana dönüştürerek bu karmaşıklığı yönetmeye yardımcı olur. Tüm Çok Kriterli Analiz yaklaşımları, ölçüt ağırlıkları ve

performans değerlendirmelerinde ifade edilen yargıları içerir. Süreç aşamaları Tablo 4'te verildiği gibi özetlenebilir.

**Tablo 4.** Çok Kriterli Analiz Süreci (DETR, 2000; Say ve ark., 2011; Lesniak ve Radziejowska, 2017; Celli ve ark, 2018; Li ve ark, 2019) (Multi-Criteria Analysis process)

|  |   |
|--|---|
| <p><b>Değerlendirme ölçütlerinin belirlenmesi</b></p> <p><i>Önerilen alternatif seçeneklerin kilit sonuçları ilgili hedeflere veya olası etkilerine dayanarak ölçülebilir.</i></p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ölçütlerin tümüyle tamamlanmış olması, önemli bir ölçütün göz ardı edilmemesi.</li> <li>• Gereksiz olduğu düşünülen ölçütlerin çıkarılması,</li> <li>• Ölçütlerin kantitatif ya da kalitatif olarak ölçülebilir olması,</li> <li>• Herhangi bir duplikasyonun sonucu değiştirmesi nedeniyle, ölçütlerin birbirinden bağımsız olması gerekmektedir.</li> </ul>  |
| <p><b>Ölçütlerin ağırlıklandırılması</b></p> <p><i>Çok Kriterli Analiz tekniklerinin çoğu, karar verme süreçlerinde her bir ölçütün bağıl ağırlığının belirlenmesini sağlar.</i></p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ağırlıklandırma yöntemleri basit tekniklerden (göreceli ağırlıkların belirlemek için ölçütleri birbirine göre karşılaştırılması) karmaşık yöntemlere (etkilenen topluluktaki her bir ölçütün öneminin belirlenmesi için yürütülen sosyolojik araştırmalar) uzanan geniş bir kapsama sahiptir.</li> </ul>   |
| <p><b>Performans analizi (puanlama)</b></p> <p><i>Performansın puanlanmasından önce, verilen kapsamda en iyi ve en kötü performanslı oluşturanın belirlenmesi gerekir.</i></p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Her seçeneğe bir puan atayarak uzman kararları ile doğrudan değerlendirme (örneğin, 0-100 puan aralığı).</li> <li>• En kötüden en iyi performansa doğru ilerleyen kademeli sürecin tanımlandığı kritere özgü bir işleve dayalı performansın belirlenmesi.</li> <li>• Seçeneklerin birbirine karşı performansının değerlendirilmesi. Yöntemlerde, karmaşık hesaplamalar yerine performansların sırasını belirlemek için basit seçenekler bildirilir (örneğin, kriter 1 için A seçeneği en iyi, C ikinci, B ise üçüncüdür).</li> </ul> |
| <p><b>Toplam puanların elde edilmesi için her bir seçeneğin ağırlığı ile puanının çarpılması</b></p> <p><i>Her seçeneğin ilgili ölçütteki performansı, ölçütün ağırlığı ile çarpılır. Tüm ölçütlere aynı işlem uygulanır. Toplam, verilen seçenek için genel göreceli puanı verir. Tüm seçeneklerin sonuçları karşılaştırılır ve tartışılır.</i></p> |   |
| <p><b>Değişimlerdeki duyarlılığı puanlar veya ağırlığa göre analiz edilmesi</b></p> <p><i>Duyarlılık, puanlardaki veya ağırlıktaki değişikliklerin Çok Kriterli Analiz sonuçlarını nasıl etkilediğini gösterir.</i></p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bazı seçeneklerin seçilen ölçütlere göre performansı ile ilgili ciddi belirsizlikler olması durumu veya</li> <li>• Karar vericiler veya paydaşların, Çok Kriterli Analizde kullanılan ölçütlerin göreceli ağırlıkları ile ilgili ortak bir görüşe varamaması durumunda gerekli olabilir.</li> </ul>  |

Çok Kriterli Analizlerin SÇD kapsamındaki genel uygulamaları, etkilerin değerlendirilmesi ve alternatiflerin karşılaştırılması ve geliştirilmesine katkı olarak sıralanabilir. Bu tekniğin olumlu yanları; (i) tek ölçüte dayalı bir karar verme sürecinin mümkün olmaması nedeniyle, aynı anda farklı ölçütleri değerlendirir, (ii) değerlendirme sürecinde farklı paydaşların görüşlerini bir araya getirebilir, (iii) Sürecin şeffaf olması ve açık ilerlemesi (puanlar ve ağırlıkların bilinmesi) nedeniyle, denetimi kolaydır, (iv) karar vericiler arası (belirli durumlarda daha geniş bir toplulukta) iletişim sağlar.

Geniş bir çerçeveye sahip Çok Kriterli Analiz yöntemlerinden biri olan Toplam Ağırlıklı Model, çalışma prensibi yönünden ilgili çerçevede yer almakta olup, turizm sektörü planlama süreçlerinde yararlanılması uygun yöntemler arasında gösterilebilir. Bu yöntemin, planlanan sektörel yatırımlarına yönelik yer seçimi ve güzergâh bağlantıları alternatifleri arasından, sürdürülebilir bir seçim yapılması için bir veritabanı sunacağı öngörülmektedir.

#### 4. Ağırlıklı Toplam Model (Weighted Sum Model)

Ağırlıklı Toplam Model (Weighted Sum Model) yöntemi, Churchman ve Ackoff (1954) tarafından portföy seçim problemine uygulanarak literatüre kazandırılan bir matematiksel tekniktir. Bu yöntemde, seçilen konuya ilişkin ölçütler belirlenir. Belirlenen ölçütler pozitif veya negatif etkiye olabilmektedir. Her ölçütün etkisi toplanarak bir indeks oluşturulur. Elde edilen veriler öncelikle normalize (linear) edilir ve aynı birime dönüştürülür. Alternatiflerin toplam puanları (alternatif özelinde), o alternatifin farklı ölçütteki normalize edilen değeri ile ölçütlere ait ağırlıklarının çarpılmasının ardından tümünün toplanması ile elde edilir. Ağırlıklı Toplam Model yönteminde, her ölçütün toplam puana olan katkısı diğerlerinden bağımsızdır. Bu nedenle, karar vericilerin tercihi bir ölçütün değerinin diğer ölçütün değerlerinden etkilenmemesini gerektirir. Bu yöntem sürecinde ölçüt ağırlıkları, her alternatif için ölçüt değerleri çarpılıp toplanır ve final değeri elde edilir (Memariani ve ark., 2009; Ömürbek ve ark., 2016; Putra ve Punggara, 2018).

Ağırlıklı Toplam Model yöntemi iki aşamadan oluşmaktadır: (i) Karar Matrisinin Normalize Edilmesi, (ii) Alternatiflerin Tercih Değerlerinin Hesaplanması. İlk aşamada ölçütlerin türü belirlenmektedir. Bir ölçütün türü maksimizasyon ise, fayda kriterine (çalışmada olumlu ölçüt olarak belirtilmiştir) yönelik formül kullanılmaktadır. Bu aşamada, her bir ölçüt değerinin o satırdaki en büyük değere oranlamasıyla  $max_{rij}$  elde edilir. Ölçütün türü minimizasyon ise, maliyet kriteri (çalışmada olumsuz ölçüt olarak belirtilmiştir) için olan formül kullanılmaktadır. Bu aşamada, satırdaki en küçük değerin her bir ölçüt değerine oranlamasıyla  $min_{rij}$  elde edilir.

Formülde, “m” alternatif sayısını, “n” ölçüt sayısını, “i” satırı, “j” ise sütunu ifade etmektedir. Buna göre, m sayıda alternatiften oluşan, n ölçütlü bir karar verme sürecinde karar matrisi (R) ile tanımlandığı analiz süreçleri aşağıda verildiği gibidir:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ r_{31} & r_{32} & \dots & r_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} & i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \text{ fayda kriteri için} \\ \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} & i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \text{ maliyet kriteri için} \end{cases}$$

Hesaplanan tüm ölçüt değerleri pozitif olmalıdır. Tersisi durumda negatif değerler pozitif değerlere dönüştürülmelidir. Dönüşüm formülü aşağıda verildiği gibidir:

$$r_{ij} = r_{ij} + | \min r_{ij} | + 1 .$$

Her bir ölçüt ağırlığı ile daha önce hesaplanmış olan değerlerinin çarpılması sonucunda her bir alternatifin toplam tercih değerleri bulunur.

$$S_j = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij} \quad i = 1, \dots, m$$

Formülde j ölçütünün ağırlığını ve alternatif tercih değerini göstermektedir. Hesaplanan alternatif tercih değerleri, sıfırdan büyük, birden küçük ve bire eşit olmalıdır. Değerin yüksek olması alternatifinin daha fazla tercih edileceği anlamına gelmektedir. Göreli değerleri (ortalama alternatif tercih değerleri) her bir değerinin toplam alternatif değerine oranlamasıyla bulunur. Yüksek değerine sahip olan alternatif ilk sırada yer almaktadır.

$$S_j^{\%} = \frac{S_j}{\sum_{j=1}^n S_j}$$

## 5. Ağırlıklı Toplam Model Yönteminin Turizm Sektöründe Kullanılabilirliği (Usability Evaluation of the Weighted Sum Model Method in the Tourism Sector)

Ağırlıklı Toplam Model yöntemi, plan düzeyinde, turizm sektörüne ilişkin plan kararı önerilerinin mekânsal boyutu olması durumunda, karar verme süreçlerinde yararlanılabilir nitelikteki analitik araçlar arasında gösterilebilir. Öneri plan kararlarına (planlanan yatırımlar ve/veya mega projeler) yönelik yer ve güzergâh seçimi ile ilgili karar verme süreçlerine dâhil edilmesi mümkündür; (i) planlanan tesis/faaliyetin yer aldığı bölge, (ii) inşası gerekli bağlantı güzergâhları vb. alternatiflerin değerlendirilmesi.

Bu çalışmada, turizm sektörü planlama çalışmaları kapsamında mekânsal boyutu olan kararlara uygulanacak etki değerlendirme sistemi sürecinde yararlanılacak analitik bir araç olarak Ağırlıklı Toplam Model yöntemi araştırılmıştır. Verilerin analiz sürecinde, model kapsamında belirlenen alternatiflerin, Tablo 5'te verilen kriterlere göre puanlandırılması gerekir. Analitik araştırma sürecine dayalı sonuçlar, söz konusu sektörel öneriye yönelik yer ve bağlantı güzergâhlarının seçiminde en doğru kararın belirlenmesi için somut bir veri sunacaktır.

Turizm sektörünün çok boyutlu bir sektör olması göz önünde bulundurularak çalışma kapsamında geliştirilen öneride 5 ana ölçüt belirlenmiştir; (i) çevre, (ii) sosyokültürel boyut, (iii) finansal boyut, (iv) teknoloji, (v) erişilebilirlik.

**Tablo 5.** Toplam Ağırlık Model yöntemi kapsamında turizm sektörü için geliştirilen ana ve alt ölçütler (Main and sub-criteria proposed for the tourism sector within the Wighted-Sum Model)

| <b>ÇEVRESEL DİNAMİKLER</b>  |
|---|
| <i>Planlanan tesis/faaliyetin yer aldığı bölgenin ve inşası gerekli bağlantı güzergâhlarının doğal ve kültürel çevreye olumsuz etkisini belirlemek amacıyla fiziki yapı analizi yapılmalıdır. Planlanan tesis/faaliyetin kapsamına bağlı olarak bu analizler inşaat ve/veya işletme sürecine yönelik olmalıdır.</i> |
| Koruma-kullanma dengesine olumsuz etki <sup>1</sup>   |
| Doğal afet potansiyeli <sup>2</sup>   |
| Biyotop çeşitliliği üzerindeki baskı <sup>3</sup>   |
| Kişi başına düşen enerji tüketimi   |
| Klimatik konfor dengesi üzerindeki olumsuz etki <sup>4</sup>  |
| Hava kirliliği  |
| Görsel kirlilik   |
| Su kirliliği (yer altı/yer üstü)  |
| Gürültü yoğunluğu   |
| Toprak kirliliği  |
| Atık bertaraf yönetiminin sürdürülebilirlik ile çelişkili olma durumu   |
| Topografik yapının yükselti, eğim, baki yönünden çelişki oluşturması  |
| Özellikle inşaat sürecinde kullanılacak tehlikeli madde kullanımlarından kaynaklanan kaza, sızıntı vb. olayların çevresel dinamiklere olumsuz etkisi <sup>5</sup>   |
| Bağlantı güzergâhları üzerinde çevresel risk potansiyeli yüksek bölgelerin mevcudiyeti <sup>6</sup>   |
| İklimsel özellikler kapsamında tipi, sis vb. zorlu hava olaylarının yaşanma durumu  |



<sup>1</sup> Koruma alanı statüsü varlığı,tarihi ve arkeolojik sit alanı varlığı vb. araştırılmalıdır.

<sup>2</sup> Erozyon, taşkın, sis vb. çevresel risklere yönelik tahmin analizleri yapılmalıdır.

<sup>3</sup> Biyotop haritalarına erişilmeli ya da oluşturulmalıdır. Biyotopların içerdiği doğal ve kültürel unsurlara (orman varlığı, endemik türler, duyarlı yöreler vb.) ilişkin tehditler belirlenmelidir.

<sup>4</sup> Güneşlenme süresi, hakim rüzgar yönü vb. çevresel dinamiklere yönelik potansiyel araştırması yapılmalıdır.

<sup>5</sup> Alan plastiği değişimi çalışmaları vb. süreçler göz önüne alınmalıdır.

<sup>6</sup> Orman, yüksek şevli bölge, maden ocağı vb. sektörel kullanımlara yakınlık durumu incelenmelidir.

## **SOSYOKÜLTÜREL BOYUT**

Altyapı geliştirme<sup>1</sup>

Ülkesel/küresel perspektifte tanınırlığa katkısı<sup>2</sup>

Bölgede farklı hedef kitlelerin ekonomik üretkenliğine katkı

Diğer dinamikler açısından bölgesel kalkınmaya katkısı

Güzergâhın veya yerin kentteki tarihi ve kültürel dokuyu/ögeyi etkilememe durumu<sup>3</sup>

Planlanan tesis ömrünün uzun vadeli olması

Güzergâhın kent merkezi ile konumsal ilişkisi

Güzergâhın kentsel alan kullanımları ile ilişkisi

İstihdam olanakları sunma (restoran, reklamcılık, konaklama, taşımacılık vb.)

Kentteki diğer sektörel faaliyetleri teşvik durumu<sup>4</sup>

Bölgede yer alan iş merkezlerinin gelişmesine katkı<sup>5</sup>

Üretimde, üretilen mal ve hizmetler arasındaki üretim fonksiyonu bağlantısı

<sup>1</sup> Ulaşım modlarına yönelik yol ve tesisler, kanalizasyon, iletişim ve bilişim imkanları vb. yönelik hizmetlerin teşviki/iyileştirme

<sup>2</sup> Çok Kriterli Analizler, kullanıcı anketleri vb. doğrultusunda belirlenebilir.

<sup>3</sup> Mimari yapı vb. kentsel kimlik öğelerinin nasıl etkileneceği araştırılmalıdır.

<sup>4</sup> Tarım ürünü talebi, sanayi ürünü talebi vb.

<sup>5</sup> Hammadde temini, altyapı hizmetleri açısından kapasite artırımını destekleme

## **FİNANSAL BOYUT**

Kamulaştırma gerekliliği

Taşımacılıkta km başına düşen altyapı yatırımı gereksinimi<sup>1</sup>

Fiziki yapı analizine bağlı alandaki dinamiklere yönelik gerekli ödenek

Farklı pozisyonlar için kalifiyeli personel alımı

İklim yapısından kaynaklı, ekstra bakım gereksinimi<sup>2</sup>

Topografya ile uyumlaştırma maliyeti<sup>3</sup>

Alan kullanımları değişim maliyeti<sup>4</sup>

Proje alanı ve bağlantı güzergâhları için gerekli altyapı maliyeti<sup>5</sup>

---

Güzergâh uzunluğu ile ilgili üst yapı maliyeti<sup>6</sup>

---

Kalite standartları-kontrolleri için gerekli ödenek

---

<sup>1</sup> İnşa, yenileme, geliştirme vb. amacıyla

<sup>2</sup> Özellikle bağlantı güzergahlarına yönelik buzlanma riski vb. çevresel riskler

<sup>3</sup> Alan plastiğinin proje ile uyumlaştırılması için gerekli kazı-dolgu çalışmaları,

<sup>4</sup> Kıyı doldurma, kıyı-kenar çizgisi değişimi, tarım arazisi sökme, orman ürünlerini sökme zorunluluğu vb.

<sup>5</sup> Dalgakıran, istinat duvarı, tünel, tahkimat vb.

<sup>6</sup> Kaplama, temel ve alt temel tabakaları

---

## TEKNOLOJİ

---

Bilgi teknolojilerinin gereksinim duyulan bilgi altyapısı varlığı

---

Bağlantı güzergahlarındaki trafik sinyalizasyonu

---

Akıllı ulaşım sistemlerin mod özelinde geliştirilmesi

---

Bağlantı güzergahlarının yolun teknik donanımı ve malzeme kalitesi

---

Bütçenin yatırımı karşılayabilirliği

---

EDS (Elektronik Denetim Sistemi) kurulması

---

Hibrit araba için elektrikli yol ya da şarj istasyonları

---

## ERİŞİLEBİLİRLİK

---

Havaalanı, liman, otopark vb. aktarma noktalarına adil bir erişilebilirlik imkânı

---

Aktarma noktalarından ve kent merkezinden optimal sürede seyahat imkânı (güzergâh uzunluğu ile ilgili olarak)

---

Aktarma altyapısı ulaşım modları arası koordinasyon varlığı

---

Motorsuz taşıtlar için altyapı varlığı<sup>1</sup>

---

Motorsuz taşıtlar için altyapı olmaması durumunda, yerel otorite vb. kaynaklı arz imkanı

---

Akıllı ulaşım sistemlerinin varlığı

---

Topografik faktörler (eğim, yükselti farkı) yönünden güvenli ve konforlu bir altyapı hizmeti varlığı

---

Planlanan tesis-faaliyete alternatif ulaşım modu varlığı<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Yaya yolu, yayalaştırma zonu, bisiklet yolu vb.

<sup>2</sup> Hafif raylı sistem, yüksek eğimli bölgelerde ulaşım amaçlı teleferik kullanımı vb.

---

Tablo 5'te yer alan ana kriterler, Ağırlıklı Toplam Model yöntemi kapsamında, etki türlerinin niteliği gereği, olumlu (+) ya da olumsuz (-) olarak kategorize edilmiştir. Bu nedenle ana kriterlerin toplam puanlarının, genel puanlama üzerindeki etkisi değişkendir. Sosyal etki, erişilebilirlik ve teknoloji kriterlerin puanlamaya etkisi *olumlu*; çevre ve finansal boyut kriterlerinin etkisi ise *olumsuz* olarak kabul edilmiştir.

Ana kriterlerin ağırlıklandırılmasında ise, SÇD'nin çalışma prensibi göz önüne alınmıştır. Ana kriterlerin etki boyutu toplamda %100 olacak şekilde; Çevre %30, Sosyokültürel boyut %25, Finansal boyut %25, Erişilebilirlik %15, Teknoloji %5 olarak belirlenmiştir.

Ana kriterlere bağlı olan alt kriterlerin puanlama aralığı ise, etkilerin düzeyine göre 0-4 olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, puanların etki durumu;

3=*çok yüksek*,

2=*yüksek*,

1=*düşük*,

0=*etkisiz* olarak ifade edilebilir. Her bir alt kriter puanı toplanarak, ana kriterlerin genel puanı elde edilecektir. Yukarıda verilen etki yüzdelerine göre hesaplamalar sonucunda, alternatif özelinde nihai puanlar tespit edilecektir. Her bir alternatif için ayrı ayrı yürütülen analiz sürecinin objektifliği, optimal kararların alınabilmesinde oldukça önemli ve gereklidir.

Değerlendirme süreci, her bir alternatif ile ilgili edinilen somut bulgulara dayanarak, alt kriterlere ilişkin öngörülere göre puan verilmesine dayanır. Bu aşamada, sektörel planlama süreçleri mekanizmasına benzer olarak SÇD'nin yürütülmesinden sorumlu kurum tarafından farklı kurum/kuruluş ve de gerekli durumlarda gerçek ve tüzel kişilerden bilgi talep edilebilir. Bununla beraber, optimal kararın verilebilmesi için, önerilen SÇD Komisyonlarının, karar vericilerin ve karar uygulayıcıların yerel, bölgesel veya ulusal olmak üzere somut verilere hızlı ve etkin şekilde erişebilmesi, analiz sürecinde kilit rol oynamaktadır.

## 6. Sonuç ve Öneriler (Conclusion and Recommendations)

Planlama kavramının ölçek ve mekân ilişkisi, bu kavramın pratiğinde aşılması gereken öncelikli sorunlardan biri olmuştur. Günümüze kadar gerçekleştirilmiş deneyimler incelendiğinde; bu konunun kuramsal açıdan aşılması gereken bir sorun olarak algılanmadığı ya da planlamaya yata ve dikey bileşenleriyle birlikte bütüncül bir çerçevede çözülemediği görülmüştür. Dolayısıyla, planlama eyleminin gerek sosyoekonomik gerekse mekânsal hedeflere ulaşmada zaman zaman yetersiz kaldığı ifade edilebilir. Ersoy (2012)'un Friedman, (1987)'den alıntılanarak ifade ettiği gibi; planlama, kuramsal bilginin sistemli bir biçimde eyleme geçirilmesidir. Belirli bir zamansal deneyimin niceliksel özelliklerine bağlı olarak daha düz bir mantıkla, geleceğe yönelik kestirimlerden farklı olarak, planlama özgür irade ile kararların üretildiği süreç önerilerini de kapsar. Temelde bu amaçlara yönelik olarak planlama farklı enstrümanlar kullanmayı gerektirir. Bu enstrümanlar; yasal, yönetsel ya da yönetsel konuları içeren teknolojik destekleri olan süreçleri içerebilmektedir.

SÇD'nin kavramsal olarak çıkış noktası, sosyo-ekonomik ve mekânsal hedefleri içeren planlamalar için etkin bir araç olma ihtimalidir (Partidario, 1996; Buckley, 1998; Brown ve Affum, 2000; Say, 2004; Bozhesku ve Fischer, 2011; Yalçinkaya, 2019). Ancak, SÇD'nin uygulanmaya başlandığı 1990'lı yıllardan bu yana yaşanan deneyimler, SÇD'nin planlamada etkin bir araç olabilmesinin temel şartının, öncelikle sosyoekonomik ve mekânsal boyutun kuramsal temelde bütünleşmesi gerektiğini göstermiştir. Uygulama sürecindeki bütünleşme ise, daha çok yasal ve teknik esasları içermelidir. Bu amaçla da farklı teknikler her geçen yıl uygulamaya aktarılmaktadır. Planlamanın, kuramsal bilginin uygulamaya aktarıldığı bir süreç olduğu gerçeğinden yola çıkılarak, esasen sistematik aşamaları içeren teknik de bir süreç olduğu ifade edilebilir. Özellikle sektörel planlamalarda, planlamanın ekolojik hedefleri de dahil olmak üzere tüm hedeflere ulaşılmasında, SÇD enstrümanını planlama sürecine entegre etmek önemlidir. Fakat 2000'li yıllardan itibaren SÇD'in planlamaya entegre edilmesiyle birlikte etkin uygulanması için farklı teknik ve yöntemlerin geliştirilmesi de tartışılmaktadır.

Bu çalışmada turizm sektörüne SÇD'nin entegrasyonunda, Ağırlıklı Toplam Model uygulanmasının olanakları incelenmiştir. Turizm gibi hem mekânsal hem de sosyo-ekonomik planlamanın ağırlıklı olduğu sektörlerde uygulanacak SÇD'nin etkin kullanımına yönelik tekniklerin geliştirilmesi ve uygulama olanaklarının artırılması gerekmektedir. SÇD'nin etkin uygulanmasındaki temel şartlardan biri, doğal ve kültürel çevrenin tüm bileşenlerini mümkün olduğunca değerlendirme sürecine dâhil edebilmektir. Ağırlıklı Toplam Model yönteminin, farklı başlıklar altında çok sayıda ölçütü değerlendirmeye almaya olanak sağlaması, SÇD çalışmalarında yararlanılabilecek bir analitik araç olmasını desteklemektedir. Bu model, kararlar üretilirken hangi konulara hassasiyetle yaklaşılması gerektiğine yönelik kapsama sahiptir. Bu nedenle ifade edilebilir ki; önerilere yönelik farklı alternatiflerin objektif olarak karşılaştırılması için imkan sunarak, etkin ve etkili bir değerlendirme süreci sağlayacaktır.

Analiz süreçlerinin sağlıklı yürütülebilmesi amacıyla; ülke genelinde doğal, kültürel vb. verilerin sayısal olarak depolandığı, belirli aralıklarla güncellenen interaktif bir veri tabanı hizmeti sağlanmalıdır. Oluşturulacak veri tabanı ile Çok Kriterli Karar Verme süreçlerinde yararlanılan analitik araçlar için gerekli olan somut verilerin temini kolaylaşacaktır. Bu veri tabanı sistemi, salt ilgili süreçlerde yer alan karar üreticiler ve karar vericiler

tarafından belirli zaman aralığında erişime açık olabilir. Bu sisteme tanımlanmış, güncelliği olan ve aynı zamanda hızlı ve etkin ulaşılan veriler, üretilen kararların güvenilirliği adına oldukça önemli bir altyapı desteği sunacaktır.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

### Kaynaklar (References)

- Abou-Korin, A.A., 2018. Spatial Analysis of the Urban System in the Nile Valley of Egypt. *Ain Shams Engineering Journal* Volume 9, Issue 4, December 2018, pp.1819-1829.
- Aktan, C.C., Dileyici, D., 2006. Kamu Ekonomisi-1, Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- Aldana, G.E., Vialle, C., Belaud, J.P., Garcia, C.V., Sablayrolles, C., 2019. Analysis and Trends for Life Cycle Assessment of Olive Oil Production. *Resources, Conservation and Recycling* Volume 146, July 2019, pp.484-501.
- Birinci Kalkınma Planı, 1963. Birinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, (1963-1967). Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Planlar ve Programlar, Kalkınma Planları, Ankara.
- Bisset, R., 2013. Developments in EIA Methods. Etd: Wathem, P. *Environmental Impact Assessment: Theory and Practice*. Routledge.
- Blanco, I., Loisi, R.V., Schettini, E., Vox, G., 2018. Agricultural Plastic Waste Mapping Using GIS. A Case Study in Italy. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 137, October 2018, pp. 229-242.
- Bozhesku, M.G., Fischer, T.B., 2011. Benefits of and barriers to SEA follow-up Theory and Practice. *Environmental Impact Assessment Review*, 34 (2012): pp.22-30.
- Brown, A.L., Affum, J.K., 2000. Strategic Environmental Assessment in Road Network Planning. 20th Annual Meeting of the International Association for Impact Assessment IAIA'00, 19-23 June 2000, Hong Kong.
- Buckley, R., 1998. Strategic Environmental Assessment. in Porter and Fittipaldi (1998), pp. 77-86.
- Carson, R.T., Hanemann, W.M., 2005. Contingen Valuation. *Handbook of Environmental Economics*, Volume 2. Edited by K.-G. Mäler and J.R. Vincent, Elsevier B.V, pp.821-936.
- Carson, R.T., Hanemann, W.M., Kopp, R.J., Krosnick, J.A., Mitchell, R.C., Presser, S., Ruud, P.A., Smith, V.K., 1994. Prospective Interim Lost Use Value Due to DDT and PCB Contamination in the Southern California Bight, vols. 1 & 2. Report to the National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Celli, G., Chowdhury, N., Pilo, F., Soma, G.G., Troncia, M., Gianinoni, I.M., 2018. Multi-Criteria Analysis for Decision Making Applied to Active Distribution Network Planning. *Electric Power Systems Research* Volume 164, November 2018, pp.103-111.
- Chafer, M., Mauri, F.S., Sole, A., Boer, D., Cabeza, L.F., 2019. Life Cycle Assessment (LCA) of a Pneumatic Municipal Waste Collection System Compared to Traditional Truck Collection. Sensitivity Study of the Influence of the Energy Source. *Journal of Cleaner Production* Volume 231, 10 September 2019, pp.1122-1135.
- Churchman, C.W. and Ackoff, R.L. (1954) An Approximate Measure of Value. *Operations Research Society of America*, 2, 172-187.
- CO-SEED, 2018. Stratejik Çevresel Değerlendirme Raporlarının İncelenmesine Yönelik Kontrol Listesi. <http://co-seed.eu/tr/yay%20C4%B1nlar/arast%20C4%B1rmalar>, (Erişim tarihi: 25.08.2019).
- Crasto, N., Hopkinson, C., Forbes, D.L., Lesack, L., Marsh, P., Spooner, I., Sanden, J.J., 2015. A LiDAR-Based Decision-Tree Classification of Open Water Surfaces in an Arctic Delta.
- DETR, 2000. Department of the Environment, Transport and the Regions (2000) Guidance on the Methodology for Multi-Model Studies DETR, London.
- Efe, M., 2011. Region and its Boundaries as a Strategic Environmental Assessment Scale in Turkey. (Ed. N.P. Say), *Stratejik Çevresel Değerlendirme ve Planlama, TMMOB Peyzaj Mimarları Odası Yayınları* 2011/2, s.265-280.
- Eichhorn, M., Masurowski, F., Becker, R., Thran, D., 2019. Wind Energy Expansion Scenarios-A Spatial Sustainability Assessment. *Energy*, Volume 180, 1 August 2019, pp.367-375.
- Ersoy, M., 2012. Kentsel Planlama Kuramları. İmge Yayınevi
- Everaert, G., Bennetsen, E., Goethals, P.L.M., 2016. An Applicability Index for Reliable and Applicable Decision Trees in Water Quality Modelling. *Ecological Informatics*, Volume 32, March 2016, pp.1-6.
- Farjam, R., Motlaq, S.M.H., 2019. Does Urban Mixed Use Development Approach Explain Spatial Analysis of Inner City Decay? *Journal of Urban Management* Volume 8, Issue 2, August 2019, pp.245-260.
- Ferreira, S., Marques, R.C., 2015. Contingent Valuation Method Applied to Waste Management. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 99, June 2015, pp.111-117.
- Feuerstein, L., Busacker, T., Xu, J., 2018. Factors Influencing Open Access Competition in the European Long-distance Passenger Rail Transport-A Delphi Study. *Research in Transportation Economics*, Volume 69, September 2018, pp.300-309.
- Friedmann, J. 1987, *Planning In The Public Domain*, Princeton Un.Press, N.J.
- Glasson, J., Therivel, R., Chadwick, A., 1999. *Introduction to Environmental Impact Assessment* (Ed. J. Glasson). Routledge/Taylor& Francis Group, New York, 448p.
- Güngör, A., Palamutçu, S., İkiz, Y., 2009. Pamuklu Tekstiller ve Çevre: Bir Bornozun Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, s.197-205.
- Haas, J.C., Birk, S., 2019. Trends in Austrian groundwater-Climatic or Human Impact? *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Volume 22, April 2019, 100597.
- Hirsch, R.M., Slack, J.R., Smith, R.A., 1982. Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data. *Water Resources Research*, Vol.18, No.1, pp.107-121.

- Joseph, E., 1974. What is Future Time. *The Futurist*, 8(4), p.178.
- Karabadi, N.I., Khelf, I., Seridi, H., Aridhi, S., Remond, D., Dhifli, W., 2019. A Data Sampling and Attribute Selection Strategy for Improving Decision Tree Construction. *Expert Systems with Applications*, Volume 129, 1 September 2019, pp.84-96.
- Karaer, F., 2002. Sektörel Politikalar ve Çevre. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 7, Sayı 1, s.21-29.
- Katip, A., Karaer, F., Özengin, N., 2014. Otomotiv Sektörünün Çevresel Açından Değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 19, Sayı 2, s.51-66.
- Kaya, G., 2011. Koşullu Değer Belirleme Araştırmalarında Yanılgı kaynakları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 2011, Cilt: 13, Sayı: 19, ss.25-40.
- Khoo, H.H., Espinosa, R.M.E., Koh, L.S.C., Sharratt, P.N., Isoni, V., 2019. Sustainability Assessment of Biorefinery Production Chains: A Combined LCA-Supply Chain Approach. *Journal of Cleaner Production*, Volume 235, 20 October 2019, pp.1116-1137.
- Lacroix, R., Delatte, H., Hue, T., 2009. Dispersal and Survival of Male and Female *Aedes Albopictus* (Diptera: Culicidae) on Reunion Island. *J. Med. Entomol.*, 46 (5) (2009), pp. 1117-1124.
- Lamura, C., 1989. Environmental Considerations in Transport Investment. *Transport Policy and The Environment*, ECMT Ministerial Session, Paris, Kasım 23.
- Łatuszyńska, M., Strulak-Wójcikiewicz, R., 2015. Computer simulation model as a source of information in Environmental Impact Assessment. *Collegium of Economic Analysis Annals*, (36), 307-318.
- Lesniak, A., Radziejowska, A., 2017. Supporting Bidding Decision Using Multi-Criteria Analysis Methods. *Procedia Engineering* Volume 208, 2017, pp.76-81.
- Li, C., Negnevitsky, M., Wang, X., Yue, W.L., Zou, X., 2019. Multi-Criteria Analysis of Policies for Implementing Clean Energy Vehicles in China. *Energy Policy*, Volume 129, June 2019, pp.826-840.
- Memariani, A., Amini, A., Alinezhad, A., 2009. Sensitivity Analysis of Simple Additive Weighting Method (SAW): The Results of Change in the Weight of One Attribute on the Final Ranking of Alternatives. *Journal of Industrial Engineering* 4 (2009), p.13-18.
- Nagar, P.K., Sharma, M., Das, D., 2019. A New Method for Trend Analyses in PM10 and Impact of Crop Residue Burning in Delhi, Kanpur and Jaipur, India. *Urban Climate*, Volume 27, March 2019, pp.193-203.
- On birinci Kalkınma Planı, 2019. Onuncu Kalkınma Planı, (2019-2023). *Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Planlar ve Programlar, Kalkınma Planları*, Ankara.
- ÖİKR, 2014. Onuncu Kalkınma Planı, Turizm Özel İhtisas Komisyon Raporu, *Strateji ve Bütçe Başkanlığı*, Ankara.
- Ömürbek, N., Karaatlı, M., Cömert, H.G., 2016. AHP-SAW ve AHP-ELECTRE Yöntemleri ile Yapı Denetim Firmalarının Değerlendirmesi. *Yönetim Bilimleri Dergisi/Journal of Administrative Sciences*, 14 (27):171-199.
- Partidario, M.R., 1996. Strategic Environmental Assessment: Key Issues Emerging from Recent Practice. *Environmental Impact Assessment Review* Volume 16, Issue 1, January 1996, pp. 31-55.
- Peker, N., 1996. Bazı Faaliyet Tipleri için ÇED Raporlarında Kullanılabilecek Kontrol Listeleri ve Değerlendirme Matrislerinin Oluşturulması. *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı*, Adana, 212s.
- Putra, D.W.T., Punggara, A.A., 2018. Comparison Analysis of Simple Additive Weighting (SAW) and Weighed Product (WP) In Decision Support Systems. *MATEC Web of Conferences* 215, 01003.
- Sadler, B., Verheem, R., 1996. Strategic Environmental Assessment: Key Issues Emerging From Recent Practice. *Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment*, Hague.
- Saffari, A., Ataei, M., Sereshki, F., Naderi, M., 2019. Environmental impact assessment (EIA) by using the Fuzzy Delphi Folchi (FDF) method (case study: Shahrood cement plant, Iran). *Environment, Development and Sustainability*, 21(2), 817-860.
- Santos, R., Costa, A.A., Silvestre, J.D., Pyl, L., 2019. Integration of LCA and LCC Analysis Within a BIM-Based Environment. *Automation in Construction*, Volume 103, July 2019, pp.127-149.
- Say, N.P., 2004. Stratejik Çevresel Değerlendirmenin Beş Yıllık Kalkınma Planları ve Enerji Sektörü Örneğinde Araştırılması ve Bir Uygulama Modelinin Geliştirilmesi. *Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı*, Adana, 128s.
- Say, N.P., Herberg, A., Çolakkadıoğlu, D., 2011. The Requirement of Effective Public Participation for a High Quality Strategical Environmental Assessment (SEA) Practice. (Ed. N.P. Say), *Stratejik Çevresel Değerlendirme ve Planlama, TMMOB Peyzaj Mimarları Odası Yayınları* 2011/2, s.265-280.
- Say, N.P., Yücel, M., 2000. Sektörel Planlamalarda Peyzaj Mimarlarının Yeri. *Peyzaj Mimarlığı Kongresi*, 19-20 Ekim 2000, Ankara.
- Schwartz, 1991; Schwartz, P., 1991. *The Art of the Long View: Planning for the Future in an Uncertain World*. New York: Currency Doubleday.
- Svenfelt, A., Alfredsson, E.C., Bradley, K., Faure, E., Finnveden, G., Fuehrer, P., Östling, U.G., Isaksson, K., Malmaeus, M., Malmqvist, T., Skanberg, K., Stigson, P., Aretun, A., Buhr, K., Hagbert, P., Öhlund, E., 2019. Scenarios for Sustainable Futures Beyond GDP Growth 2050. *Futures*, Volume 111, August 2019, pp.1-14.
- Şahin, 2001; Şahin, A.E., 2001. Eğitim Araştırmalarında Delphi Tekniği ve Kullanımı. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 20: 215-220.
- Şeker, Ş.E., 2014. *Delfi Metodu (Delphi Method)*. MISSözlük,
- T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2018. *Adana İl Kültür Ve Turizm Müdürlüğü, Envanter Çalışması*.
- Therivel, R., 2001. *Quality of Life Capital* (Ed. P. Morris, R. Therivel). *Methods of Environmental Impact Assessment*, London: Routledge.
- Therivel, R., 2004. *Strategic Environmental Assessment in Action Earthscan*, Earthscan/James & James, London. 288 pp.
- Therivel, R., 2004. *Strategic Environmental Assessment in Action Earthscan*, Earthscan/James & James, London. 288 pp.
- Tonin, S., 2019. Estimating the Benefits of Restoration And Preservation Scenarios of Marine Biodiversity: An Application of the Contingent Valuation Method. *Environmental Science & Policy*, Volume 100, October 2019, pp.172-182.

- Vashosaz, K., Hassan, E., 2011. Application Dynamic System in environmental impact assessment method-case study: The man-made lake in Tehran. Singapore: IACSIT.
- Vreys, K., Lizin, S., Dael, M.V., Tharakan, J., Malina, R., 2019. Exploring the Future of Carbon Capture and Utilisation by Combining an International Delphi Study with Local Scenario Development. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 146, July 2019, pp.484-501.
- Winde, F., Hoffman, E., Espina, C., Schüz, J., 2019. Mapping and Modelling Human Exposure to Uraniferous Mine Waste Using a GIS-Supported Virtual Geographic Environment. *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 204, September 2019, pp.167-180.
- Xexakis, G., Trutnevyte, E., 2019. Are interactive web-tools for environmental scenario visualization worth the effort? An experimental study on the Swiss electricity supply scenarios 2035. *Environmental Modelling & Software*, Volume 119, September 2019, pp.124-134.
- Yalçinkaya, N.M. (2019). Ulaşım Sektöründe Stratejik Çevresel Değerlendirme Uygulamasının Türkiye Açısından İrdelenmesi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Adana, 339s.
- Yalçinkaya, N.M., Say, N., Tokgöz, G., 2018. Kentiçi Turizm Destinasyonlarına Ulaşılabilirliğin Değerlendirilmesi: Adana Örneği. VII. Ulusal III. Uluslararası Doğu Akdeniz Turizm Sempozyumu, 20-21 Nisan 2018, İskenderun.
- Yücel, M., 2011. Stratejik Çevresel Değerlendirme (Ed. N.P. Say). *Stratejik Çevresel Değerlendirme ve Planlama, TMMOB Peyzaj Mimarları Odası Yayınları 2011/2*, s.1-15.
- Yücel, M., 2016. Çevresel Etki Değerlendirmesi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:310, Ders Kitapları Yayın No: A-94, Adana, 310s.
- Zhang, Y., Wu, Q., Fath, B.D., 2018. Review of Spatial Analysis of Urban Carbon Metabolism. *Ecological Modelling*, Volume 371, 10 March 2018, pp.18-24.



## NATURAL RESOURCES AND ENERGY CONSUMPTION IN EDUCATION INSTITUTIONS; ARTVIN ÇORUH UNIVERSITY CASE

Kadir DOĞANŞAHİN<sup>1</sup>, Kazım Onur DEMİRARSLAN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Artvin Çoruh University, Engineering Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineering, Artvin, TURKEY

<sup>2</sup> Artvin Çoruh University, Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, Artvin, TURKEY

### Keywords

COVID19 Pandemic,  
Natural Sources,  
Educational Institutions,  
Electric Energy,  
Greenhouse Gases.

### Abstract

On March 10, 2020, formal education at universities in Turkey has been suspended by the scope of COVID19 measures. In this study, the effects of the pandemic period on natural resources and electricity consumption in educational institutions have been examined. In this study, the consumption of electricity, water, and coal consumptions are discussed. When the realized consumption during the pandemic, when formal education is suspended, and there is no student presence in the campuses, is evaluated as the base consumption values of the institution, the difference between the consumption values before the pandemic and the pandemic period can be interpreted as the consumption realized as a result of formal education activities. Consumption values per student have been calculated by dividing this consumption difference by the number of registered students. Although these values are not scientifically precise, they provide useful information in terms of making approximate consumption estimates according to the changing number of students in the upcoming semesters. The results obtained in the conducted study give an idea about the natural resources and electricity consumption per student in formal education and suggest an approach towards consumption monitoring in different institutions through the use of data from the considered periods.

## EĞİTİM KURUMLARINDA DOĞAL KAYNAKLAR VE ENERJİ TÜKETİMİ; ARTVIN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

### Anahtar Kelimeler

COVID19 Salgını,  
Doğal Kaynaklar,  
Eğitim Kurumları,  
Elektrik Enerjisi,  
Sera Gazları.

### Özet

10 Mart 2020 tarihinde Türkiye'de üniversitelerde örgün eğitime COVID19 önlemleri kapsamında ara verilmiştir. Bu çalışmada pandemi döneminin eğitim kurumlarında doğal kaynaklar ve elektrik tüketimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada elektrik, su ve kömür tüketimleri ele alınmıştır. Pandemi sürecinde, örgün eğitime ara verildiğinde ve kampüslerde öğrenci bulunmadığında gerçekleşen tüketim, kurumun temel tüketim değerleri olarak değerlendirildiğinde, pandemi öncesi tüketim değerleri ile pandemi dönemi arasındaki fark yorumlanabilir. Örgün eğitim faaliyetleri sonucunda gerçekleşen tüketim kayıtlı öğrenci sayısına bölünerek öğrenci başına tüketim değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler bilimsel olarak kesin olmasa da ilerleyen dönemlerde değişen öğrenci sayılarına göre yaklaşık tüketim tahminleri yapmak açısından faydalı bilgiler vermektedir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar, örgün eğitimde öğrenci başına düşen doğal kaynaklar ve elektrik tüketimi hakkında fikir vermekte ve ele alınan dönemlere ait veriler kullanılarak farklı kurumlarda tüketimin izlenmesine yönelik bir yaklaşım önermektedir.

### Alıntı / Cite

Doğanşahin, K., Demirarslan, K.O.,(2021). Natural Resources and Energy Consumption in Education Institutions; Artvin Çoruh University Case, Journal of Engineering and Design, 9(4), 1121-1129.

\* İlgili yazar / Corresponding author: onurdemirarslan@artvin.edu.tr, +90 466 215 10 40

| <b>Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)</b> | <b>Makale Süreci / Article Process</b>  |            |
|---|---|------------|
| K. Doğansahin, 0000-0002-6763-058X              | <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 29.06.2021 |
| K. O. Demirarslan, 0000-0002-1023-7584          | <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 27.08.2021 |
|   | <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 01.09.2021 |
|   | <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

## 1. Introduction

As a result of the growing world population, developing technology, and rising living standards, dependence on natural resources and energy use has been increasing. The term of natural resources is a definition that corresponds to all resources available in nature and all potentials that can be beneficial for humans in technological, economic, and social conditions (Zaharia and Suteu 2011). Natural resources are divided into two as renewable resources such as earth, water resources, flora, fauna, and forest, non-renewable resources such as fossil fuels and mines (Prepared et al. 2007). Natural resources may be consumed both directly as a primary source and indirectly as intermediate inputs (Ayres and Bergh 2005).

Energy is defined as the ability to do things, do things, and cause changes. Today, energy is needed in all areas of our lives. The energy demand is met from primary energy sources available in nature or secondary energy sources converted from the energy obtained from these sources. Electric energy, which is an indispensable energy type in today's world, is a secondary energy source obtained through the use of various natural resources. It is a sustainable, reliable, and environmentally friendly type of energy with the aspects such as being able to supply through conversions from various resources, ease of transmission and distribution, and not cause solid waste or gas emission during consumption. In the last two decades, global primary energy consumption increased by more than 50%, reaching a value of 162 194.44 TWh in 2019. On the other hand, Electricity consumption increased by more than 80% and reached 27004.7 TWh in 2019 (BP Statistical Review of World Energy June 2020).

Rising energy consumption, global crises in the supply of natural resources, and rapidly depleting natural resources reserves have led to an increase in economic, sustainability, and environmental concerns in many sectors on a global basis. Therefore, to limit the rise in demand for energy and natural resources, various strategies have been determined to increase efficiency in consumption (Ekins et al. 2016). To achieve success in increasing the efficiency of natural resources and energy consumption, it is very important to comprehend the behavior of consumers in the consumption of these resources. The second-highest share in global primary energy consumption in 2015 belongs to consumption realized in buildings, with 30% (Industrial consumption has a share of 31%.) (Global Status Reports 2017). Large institutions such as universities consume large amounts of energy and water daily, as they house many buildings and facilities. These consumptions are made to meet basic needs such as lighting, water supply, and air conditioning. In addition to these, the occupancy levels of buildings in institutions such as universities directly affect their energy and water usage. In addition, in the buildings belonging to institutions such as universities, the number of personnel working and the number of people served directly affects energy and water use (Oyedepo et al. 2015, Chalfoun 2014, Faremi et al. 2019). Understanding the behavior of campus buildings in energy and natural resource consumption is an important prerequisite to understanding how to improve the energy efficiency of building complexes and cities. Although energy efficiency in university campuses has attracted the attention of university administrators and experts in the field in recent years, it has not been taking sufficient attention yet (Guan et al. 2014).

Pandemics occur from time to time throughout the history of humanity and cause the loss of millions of lives and adversely affect the health and mental state of the people (Muhammed and Karataş 2020). Coronavirus disease (COVID-19) is a new epidemic that has been rapidly increasing in cases and deaths since its first definition in December 2019. Its rapid spread, fatality, and inability to treat increase the effect of the disease. The World Health Organization (WHO) identified the disease COVID-19 as "severe acute respiratory syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2)" and declared it a pandemic in February 2020 (Mizrak and Nur 2021, Islam et al. 2020). After the Turkish Ministry of Health announced the COVID-19 outbreak on March 10, 2020, the Council of Higher Education announced on March 12 that it was suspending formal education at universities. Then, within the scope of COVID-19 measures, universities decided to implement distance education with the senate's decisions, and as of May 2021, formal education has not yet begun.

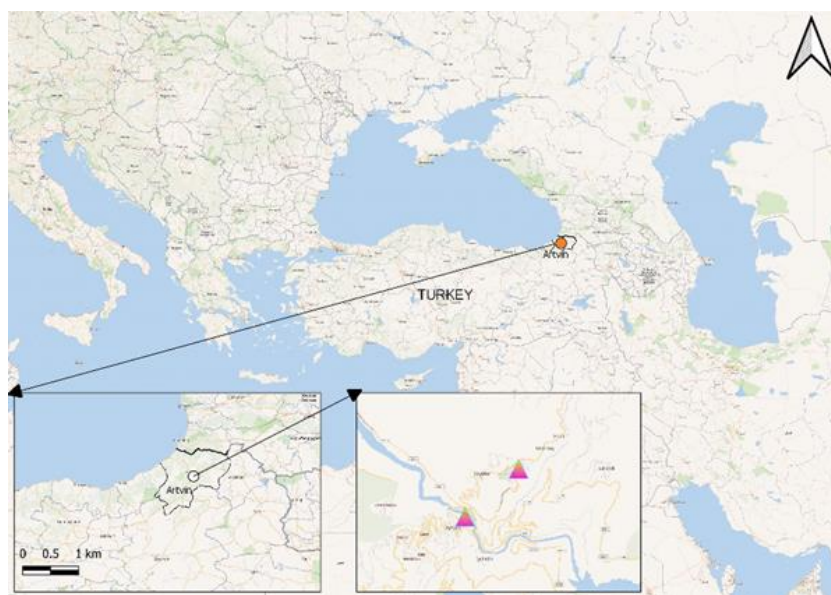
In this study, the energy and natural resource consumption in the Artvin Çoruh University, City, and Seyitler campuses, for two years has been examined. As from the suspension of formal education as a matter of pandemic, academic activities have not been able to realize in the institution buildings for more than a year. During this period, only academic and administrative staff have worked at the institution buildings. Fuel, electricity, and water consumption data for the period March 2019-March 2021 has been obtained from the authorized units within the institution. This data has been divided into two, corresponding to the one year before the suspension of education



and the one-year period during which education was carried out remotely. By comparing these two data, the effect of formal education on energy and natural resources consumption amount and behavior has been investigated. In addition to the consumption, the amount of gas emissions corresponding to the fuel and electricity consumption has been calculated through various conversions. The study, it is aimed to obtain an approximate value for the amount of consumption and greenhouse gas emitted from the fuel combustions per student by taking into account the number of students belonging to the relevant years. With this value, in the coming years, due to the changes in the number of students, the institution will be able to benefit from how consumption will be affected. Additionally, the findings of the study may be a reference to similar institutions on understanding the behaviors of the consumption of natural resources and energy.

## 2. Materials and Methods

As the study area, two campuses belonging to Artvin Coruh University have been considered. The University is located in Artvin province in the northeast of the Black Sea Region of Turkey.



**Figure 1.** Location of Artvin Çoruh University

City Campus is located at the entrance of Artvin city center. It is located on the riverside of the Coruh River, on 70 decares of land. There are four administrative buildings, four buildings for classrooms, and a library building in the city campus. Seyitler Campus, which is approximately 3 km away from Artvin city center, is built on 187 decares of land. There are a Rectorate building, two faculty buildings, a vocational school building, two social facility buildings, an administrative building, a central laboratory building, and a workshop building in Seyitler Campus.

In this study, consumption values between March 2019 and March 2021 have been examined. The number of students by the academic years is given in Table-1 as partitioned to the campuses. The beginning and end dates of the relevant academic years can also be found on the table. In addition, a total of 229 personnel, 45 of which are administrative and 184 academic, are employed in the City campus, and a total of 337 personnel, of which 173 are administrative, and 164 are academic, are employed in the Seyitler campus.

**Table 1.** Number of students in academic years

|                        | 2018-2019             | 2019-2020                 | 2020-2021             |
|------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
|                        | Academic Year         | Academic Year             | Academic Year         |
|                        | 24.09.2018-26.05.2019 | 30.09.2019-21.06.2020     | 12.10.2020-27.06.2021 |
|                        |                       | (suspended on 12.03.2020) |                       |
| <b>Seyitler Campus</b> | 2300                  | 2289                      | 2086                  |
| <b>City Campus</b>     | 4617                  | 4916                      | 4110                  |

Within the scope of the study, fuel, water, and electricity consumption data in the campuses has been obtained from the competent units within the university. The data cover the two one-year periods, as one year before and one year after the date when education has been suspended (from 1st of March 2019 to 1st of March 2020 and from 1st of March 2020 to 1st of March 2021).

### 3. Results and Discussions

Electrical energy consumption data have been analyzed separately for Seyitler and the City campus. In the Seyitler campus, electrical energy consumption is realized through external lighting and various electromechanical systems, as well as domestic use. Unlike the Seyitler campus, the city campus has Heating Ventilating and Air Conditioning (HVAC).

Electricity consumption profiles of the Seyitler campus for the terms March 2019 - February 2020 and March 2020 - February 2021 have been given in Fig. 2. The terms when students actively participated in education during the period between March 2019 and February 2020 have been shaded in the figure. It is seen that the electricity consumption behavior remained almost the same in the distance education period but decreased in amount. In Artvin Çoruh University, only two semesters, fall and spring, are offered in an academic year. In summer, there is not any educational activity. As can be seen, the difference in consumption amounts between the two periods decreased in the summer months.

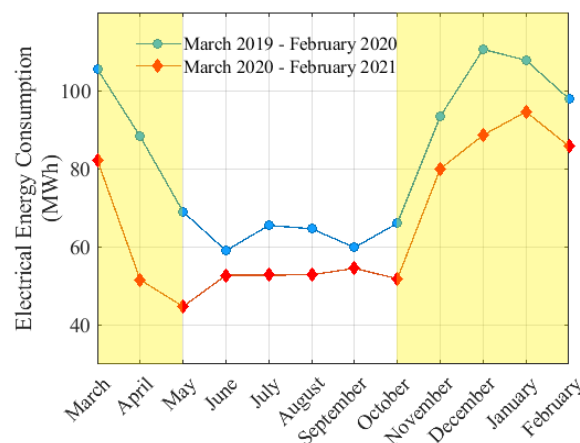


Figure 2. Monthly electrical energy consumption in Seyitler campus

Electricity consumption of the City campus in the terms are considered given in Fig. 3. As can be seen, the consumption profiles of the city campus are quite different from each other. The HVAC system plays an important role in the electrical energy consumption of the city campus. From March 2020 to February 2021, the utilization rate of the HVAC system decreased as most of the classrooms and common areas were not used.

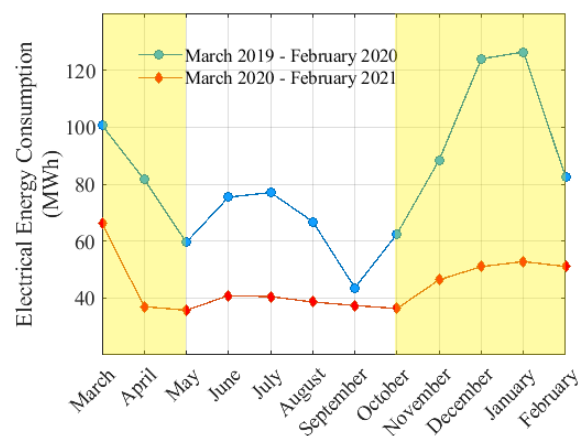


Figure 1. Monthly electrical energy consumption in City campus

In Table 2, annual electrical energy consumption and equivalent CO<sub>2</sub> emission values corresponding consumption are given. For the equivalent CO<sub>2</sub> emission calculation, the conversion coefficient obtained from a report prepared by a climate research organization for 2019 was used [Brown to Green]. In the report, the conversion factor for Turkey is defined as 0.481 kgCO<sub>2</sub>/kWh.

Between March 2020 and February 2021, only academic and administrative staff worked at the university, and formal education activities have not been performed. Considering the amount of consumption realized in the months during the academic period (October-May), it is seen that the electrical energy consumption decreased by 159 056 kWh during the pandemic. Due to the fact that training activities could not be carried out in the period of March 2020-February 2021, this difference can be taken as an approximate value for the amount of electrical energy consumption as a result of training activities. When the consumption data of the city campus has been examined with the same approach, it was calculated that the consumption in the academic period decreased by 349 261 kWh during the pandemic period. An approximate value can be obtained for the amount of electrical energy consumption per student by dividing these obtained values by the number of registered students in periods considered. As a result of the calculations based on this approach, the annual electrical energy consumption per student has been obtained as 69.31 kWh for the Seyitler campus and 74.38 kWh for the Şehir campus. The annual electrical energy consumption during the pandemic period can be taken as the base consumption of the institution, free from educational activities. Therefore, the equation given below can be used to approximately determine the annual electrical energy consumption amount for the following years.

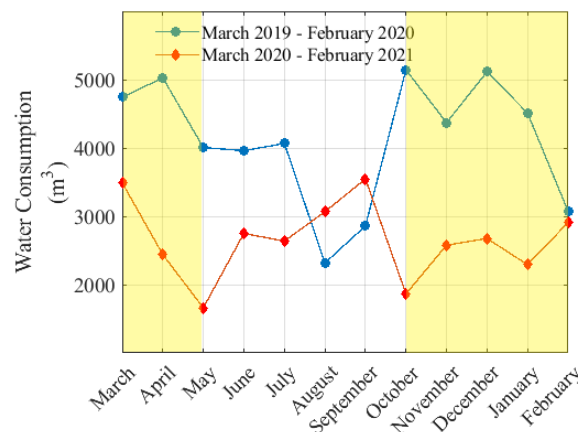
$$E_{(k)} = E_{base} + N_{reg(k)} \times E_s \quad (1)$$

where  $E_k$  is the annual energy consumption in the year  $k$ ,  $N_{reg(k)}$ , the number of registered students in the year  $k$ .  $E_{base}$  is the base annual electricity consumption value and  $E_s$  is the annual electricity consumption per student.

The equivalent CO<sub>2</sub> emissions corresponding to these values are 33.34 kgCO<sub>2</sub> and 35.78 kgCO<sub>2</sub>, respectively. In the period of March 2020-February 2021, which represents the pandemic process, 508 317 kWh less electrical energy consumption was realized compared to the previous year. The equivalent CO<sub>2</sub> emission corresponding to this value is 244 500 kg.

In Figure 4, monthly water consumption as the total in the city and Seyitler campuses are given. Except for the summer period (June-September), when education is not actively maintained, a significant decrease can be observed in water consumption. Only in February, the water consumption values are close to each other. The reason for this is that February is coming on the midterm break. When the data is evaluated, water consumption decreased by 16082 m<sup>3</sup> compared to the year before the pandemic process. Considering the number of registered students in the relevant periods, it can be concluded that water consumption per student is approximately 2.27 m<sup>3</sup>.

In the study, the amount of fuel used for heating purposes and the use of equivalent greenhouse gas emissions resulting from the use of these fuels have been examined. In the city campus, fuel oil had been using as fuel until the beginning of 2020, but after this date, natural gas has been started to be used. For this reason, it is not possible to compare fuel consumption in the city campus, and only Seyitler Campus has been taken into account. The emission factors given in the Greenhouse Gas Inventory Guidance published by EPA have been used to calculate greenhouse gas emissions (EPA 2016).



**Figure 2.** Total water consumption in City and Seyitler campuses

Equivalent CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, and N<sub>2</sub>O emissions from the amount of coal using for heating purposes in Seyitler campus are calculated as pre-pandemic and pandemic periods and are given in Fig. 5-7.

The equation used in emission calculations is given in Equation 2 (EPA 2016).

$$\text{Emissions} = \text{Fuel} \times \text{EF}_1 \quad (2)$$

Where;

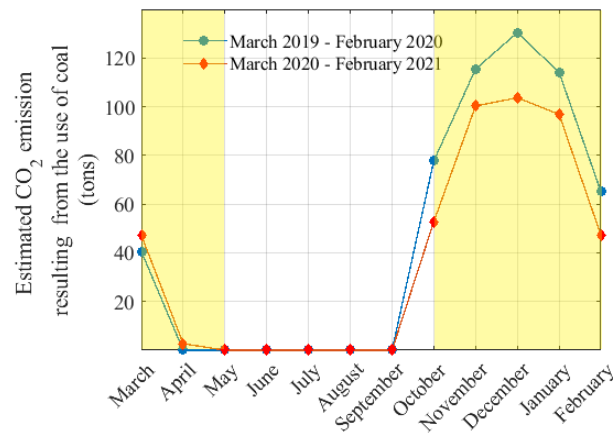
- Emissions = Mass of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, or N<sub>2</sub>O emitted  
 Fuel = Mass or volume of fuel combusted  
 EF<sub>1</sub> = CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, or N<sub>2</sub>O emission factor per mass or volume unit

Compared to the period before the pandemic, coal consumption decreased by 17%. When the equivalent emissions are examined, it can be clearly understood that the value of equivalent emissions before the pandemic is higher than those in the pandemic period.

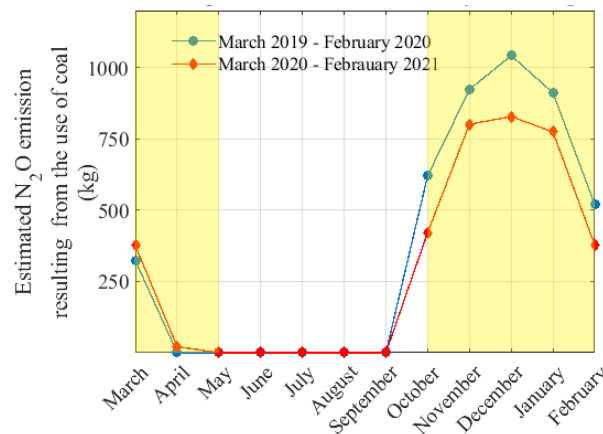
When the equivalent amounts of CO<sub>2</sub> emissions are examined, it has been calculated as 543 348 kgCO<sub>2</sub> between March 2019 and February 2020, which is taken as the basis for the pre-pandemic period and 450 684 kgCO<sub>2</sub> during the pandemic period. The equivalent CO<sub>2</sub> emission calculated for the pandemic period has been 92 664 kg less than the pre-pandemic period. Considering these values, the equivalent CO<sub>2</sub> emission per student has been calculated as 40.5 kg.

**Table 2.** Electrical energy consumption and equivalent CO<sub>2</sub> emission in an academic year

|  |                   | March 2019      | March 2020    |        |
|--|-------------------|-----------------|---------------|--------|
| Unit   |                   | -               | -             |        |
|  |                   | February 2020   | February 2021 |        |
| <b>Electrical energy consumption</b>   | kWh               | Seyitler Campus | 738523        | 579467 |
|  |                   | City Campus     | 725650        | 376389 |
|  |                   | Total           | 1464173       | 995856 |
| <b>Decrease in electrical energy consumption</b>   | kWh               | Seyitler Campus | 159056        |        |
|  |                   | City Campus     | 349261        |        |
|  |                   | Total           | 508317        |        |
| <b>The equivalent of decreasing electrical energy amount per student</b>                             | kWh               | Seyitler Campus | 69.31         |        |
|  |                   | City Campus     | 74.38         |        |
| <b>Equivalent CO<sub>2</sub> emission from electrical energy consumption</b>                         | kgCO <sub>2</sub> | Seyitler Campus | 355230        | 278724 |
|  |                   | City Campus     | 349038        | 181043 |
|  |                   | Total           | 704267        | 459767 |
| <b>Decrease on equivalent CO<sub>2</sub> emission</b>  | kgCO <sub>2</sub> | Seyitler Campus | 76506         |        |
|  |                   | City Campus     | 167995        |        |
|  |                   | Total           | 244500        |        |
| <b>Equivalent CO<sub>2</sub> emission per student corresponding to electrical energy consumption</b> | kgCO <sub>2</sub> | Seyitler Campus | 33.34         |        |
|  |                   | City Campus     | 35.78         |        |

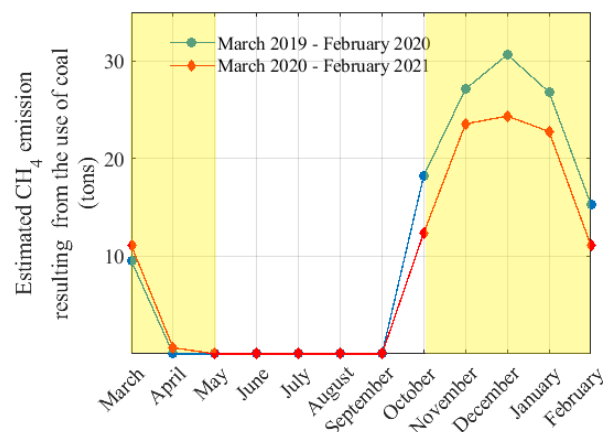


**Figure 3.** Equivalent CO<sub>2</sub> emission from heating purpose coal use in Seyitler campuses



**Figure 4.** Equivalent N<sub>2</sub>O emission from heating purpose coal use in Seyitler campuses

Regarding the equivalent N<sub>2</sub>O emission, 127 686 kg N<sub>2</sub>O values have been obtained for the pre-pandemic period and 105 910 kg N<sub>2</sub>O values for the pandemic period. The reduction in the equivalent N<sub>2</sub>O emission value has been calculated as 21776 kg. Based on this value, the equivalent N<sub>2</sub>O emission amount per student is 9.52 kg N<sub>2</sub>O.



**Figure 5.** Equivalent CH<sub>4</sub> emission from heating purpose coal use in Seyitler campuses

When the equivalent CH<sub>4</sub> emissions corresponding to the amount of coal use for heating purposes in the Seyitler campus are examined, the highest values are belong to the December months and have been calculated as 30645 kgCH<sub>4</sub> before the pandemic and 24359 kgCH<sub>4</sub> during the pandemic period. The reduction in equivalent CH<sub>4</sub> emission has been calculated as 740 kg. The equivalent CH<sub>4</sub> emission per student is 0.32 kg.

#### 4. Conclusion (Sonuç)

The first coronavirus case in Turkey was detected on March 11, 2020, when this disease was declared a pandemic by the WHO. From this date, the government has implemented various measures to prevent the rapid spread of the disease. Within the scope of these measures, education in Higher Education institutions was suspended on 12 March 2020, and as of May 2021, formal education has not been started yet. During the while, more than a year, only administrative and academic staff have worked in higher education institutions. This process, due to the pandemic, has provided an important opportunity to get an idea about the share of educational activities in institutions on energy and natural resources consumption.

Based on this idea, March 2019 - February 2020 to represent the pre-pandemic period and March 2020 - February 2021 for the pandemic period have been taken as a basis. Electricity, water, and fuel for heating purposes consumption in these periods have been examined. During the pandemic period, the consumption amounts per student have been calculated by dividing the decreased amounts compared to the consumption in the pre-pandemic period by the number of registered students in the period they belong to. Although the values obtained are not of a quality that can be taken as a definite coefficient, they can provide an idea in terms of how much annual consumption will be affected according to the number of students in the following years. The annual electrical energy consumption for the period of March 2018 - February 2019 has been calculated by the base consumption amounts and the annual electrical energy consumption values per student defined from the study performed by taking into account the consumption data only for the periods' March 2019 - February 2020 and March 2020 - February 2021. In the calculations, the number of registered students for the relevant period has been considered. Between the consumption calculated over the proposed approach in the study and the actual consumption, it was 5.4% for the Seyitler campus and 5.3% for the City campus. The values obtained within the scope of the study will benefit the authorities in the planning studies, monitoring of consumption, efficiency, and savings studies to be carried out within the institution.

#### Acknowledgment

This study was supported by Artvin Çoruh University. We are thankful to Artvin Çoruh University for share to their data.

#### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

#### References (Kaynaklar)

- Ayres, R.U. and van den Bergh, J.C.J.M. 2005. A Theory of Economic Growth with Material/Energy Resources and Dematerialization: Interaction of Three Growth Mechanisms, *Ecological Economics*, 55, 96-118.
- Bernard, L. 2020. BP statistical review of world energy 2020, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>, (05.05.2021).
- Brown to Green 2019. Berlin: Climate Transparency, 2019. <https://www.climate-transparency.org/g20-climate-performance/g20report2019>, (05.05.2021).
- Ekins, P. Hughes, N. Brigenzu, S. Arden Clark, C. Fischer-Kowalski, M. Graedel, T. Hajer, M. Hashimoto, S. et al. 2016. Resource Efficiency: Potential and Economic Implications. Report of the International Resource Panel, United Nations Environment Program (UNEP), Paris, [https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/resour\(05.05.2021\)ce\\_efficiency\\_report\\_march\\_2017\\_web\\_res.pdf](https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/resour(05.05.2021)ce_efficiency_report_march_2017_web_res.pdf), (05.05.2021).
- EPA 2016, U.S. EPA Center for Corporate Climate Leadership, Greenhouse Gas Inventory Guidance Direct Emissions from Stationary Combustion Sources, [https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/stationaryemission\\_s\\_3\\_2016.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/stationaryemission_s_3_2016.pdf) (27.05.2021).
- Global Status Report 2017. UN Environment, [https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188\\_GABC\\_en%20%28web%29.pdf](https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188_GABC_en%20%28web%29.pdf), (05.05.2021).
- Islam, A. Khan, F. Imtiaz, S. and Ahmed, S. 2020. Journal of Loss Prevention in the Process Industries How can process safety and a risk management approach guide pandemic risk management? *J. Loss Prev. Process Ind.* 68, 104310. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104310>.
- Mizrak, B. and Nur, E. 2021. The experiences of pregnant women during the COVID-19 pandemic in Turkey : A qualitative study. *Women and Birth*, 34, 162-169. <https://doi.org/10.1016/j.wombi.2020.09.022>.
- Muhammed, A. Karataş, K. 2020. Psychological Effects of COVID-19 Pandemic on Society and Its Reflections on Education. *Turkish Stud.* 15, 1-13. <https://doi.org/10.7827/TurkishStudies.44336>.

- OECD, 2008. Natural Resources of Natural Resources of. Nat. Resour. Pro-Poor Growth Econ. Polit. OECD, 29-33, [https://read.oecd-ilibrary.org/development/natural-resources-and-pro-poor-growth\\_9789264060258-en?\\_ga=2.242112577.257257097.1624964232-1010423968.1624964232#page3](https://read.oecd-ilibrary.org/development/natural-resources-and-pro-poor-growth_9789264060258-en?_ga=2.242112577.257257097.1624964232-1010423968.1624964232#page3), (05.05.2021).
- Oyedepo, S.O. Leramo, R.O. Adekeye, T. Kilanko, O. Babalola, O.P. Balogun, A.O. Akhibi, M.O. 2015. A Study on Energy Demand and Consumption in Covenant University, Ota, Nigeria. *Int. Conf. African Dev. Issues*, 203-211.
- Yılmaz İnce, E. Kabul, A. and Diler, İ. 2020. Distance education in higher education in the COVID-19 pandemic process: A case of Isparta Applied Sciences University. *International Journal of Technology in Education and Science*, 4(4), 343-351.
- Zaharia, C., Suteu, D., 2011. The Natural Resources and Sustainable Development. *Cercetări Agronomice în Moldova*, XLIV, 1(145), 93-101.



## CLASSIFICATION OF APPLE LEAF DISEASES USING CONVOLUTION NEURAL NETWORK APPROACH

Halit ÇETİNER\*

Isparta University of Applied Science, Vocational School of Technical Sciences, Computer Technology, Isparta, Turkey

### Keywords

*Convolutional Neural Network, Image Processing, Apple leaf, SMOTE, Pre Trained Network.*

### Abstract

It is difficult to constantly control apple trees in farmland. In case of a disease on tree leaves, the risk of disease transmission to other leaves is high. It is necessary to prevent further deterioration of the plant by performing automatic detection of the disease in the early period. If the disease detection is delayed, the planned production cannot be realized. It is too late if diseases are detected by a farmer or agronomist. In addition, as the agricultural lands grow, the number of experts needed increases accordingly. For these reasons, leaf images of apple trees are grouped into 4 different classes: apple peel, leaf rust, healthy apple and multiple disease states. In the proposed method, noise removal in the images, detection of the relevant area and histogram equalization on the YUV color space are performed. Due to the unbalanced class distribution in the data set used, data augmentation was applied for the minority classes with the SMOTE method. Afterwards, features are extracted using pre-trained network models DenseNet121, DenseNet201, InceptionResNetV2, InceptionV3, ResNet50V2. Extracted features were classified with a CNN-based method developed with an accuracy of 99%.

## KONVOLÜSYON SİNİR AĞI YAKLAŞIMI KULLANARAK ELMA YAPRAĞI HASTALIKLARININ SINIFLANDIRILMASI

### Anahtar Kelimeler

*Konvolüsyonel Sinir Ağı, Görüntü İşleme, Elma Yaprağı, SMOTE, Önceden Eğitilmiş Ağ*

### Öz

Tarım arazilerindeki elma ağaçlarını sürekli olarak kontrol etmek zordur. Ağaç yapraklarında oluşan bir hastalık durumunda diğer yapraklara hastalığın bulaş riski yüksektir. Erken dönemde hastalığın otomatik tespitini gerçekleştirerek bitkinin daha fazla bozulmasını önlemek gereklidir. Eğer hastalık tespitinde geç kalınırsa planlanan üretim gerçekleştirilememektedir. Bir çiftçi ya da tarım uzmanı tarafından hastalıkların tespit edilmesi durumunda geç kalınmaktadır. Buna ek olarak tarım arazileri büyüdükçe ihtiyaç duyulan uzman sayısı da ona göre artış göstermektedir. Bu sebeplerden dolayı elma ağaçlarına ait yaprak görüntülerini kullanarak ağaç yaprakları elma kabuğu, yaprak pası, sağlıklı elma ve birden fazla hastalık durumları olmak üzere 4 farklı sınıfa gruplandırılmıştır. Öne sürülen yöntemde görüntülerde gürültülerin temizlenmesi, ilgili alanın tespiti ve YUV renk uzayı üzerinde histogram eşitleme gerçekleştirilmiştir. Kullanılan veri setinde sınıf dağılımlarının dengesiz olmasından dolayı SMOTE yöntemi ile azınlık olarak kalan sınıflar için veri büyütmesi uygulanmıştır. Sonrasında DenseNet121, DenseNet201, InceptionResNetV2, InceptionV3, ResNet50V2 önceden eğitilmiş ağ modelleri kullanılarak öznelikler çıkartılmıştır. Çıkartılan öznelikler geliştirilen CNN tabanlı bir yöntemle 99% doğruluk oranında sınıflandırılma gerçekleştirilmiştir.

### Alıntı / Cite

Çetiner, H., (2021). Classification of Apple Leaf Diseases Using Convolution Neural Network Approach, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(4), 1130-1140.

\* İlgili yazar / Corresponding author: halitcetiner@isparta.edu.tr, +90-246-214-6935



| <b>Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)</b> | <b>Makale Süreci / Article Process</b>  |            |
|---|---|------------|
| H. Çetiner, 0000-0001-7794-2555                 | <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 09.08.2021 |
|   | <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 09.09.2021 |
|   | <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 12.09.2021 |
|   | <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

## 1. Introduction

Due to different environmental factors, fruit production undergoes great changes. The decrease in production as a result of various effects causes the balance in the agricultural industry to deteriorate. Apple is a durable fruit that can be grown in many different cities in Turkey, especially in Kayseri and Isparta and can be preserved for a long time. On the world scale, it is the most produced fruit type after banana and watermelon in 2018. More than approximately 86 million tons were produced (Sottocornola et al., 2021). These figures are underestimated relative to the potential apple yield. Among the main reasons for this are the fact that the farmers engaged in agricultural production do not use technology in production, and that quality planting materials are not purchased due to infections, insect pests and economic restrictions. It is seen that more than half of Chinese producers use the internet in order to increase efficiency in apple production. It has been determined that the productivity in apple production using the Internet has increased by at least 30% (Zhu et al., 2021). It is seen that the Chinese government supports the agricultural information model called Internet Plus Agriculture Model in order to provide rural and agricultural development (Han et al., 2021; Ni et al., 2021). It is noted that with these uses, the vacant agricultural lands are evaluated, there is a great increase in land rentals and as a result of these, there is an increase in the number of labor force (Deng et al., 2019; Hou et al., 2019).

Apples can be processed industrially in different functional forms such as juice and pulp. However, it is seen as a source of bioactive components that enhance the immune system (Duralija et al., 2021). In addition to the many benefits of apple fruit on humans, it is prone to diseases caused by different microorganisms or bacteria. In addition to increasing employment opportunities, agricultural products that provide food and income lose 42% of the world's total by various microorganisms every year (Tahir et al., 2021). Fertilizing trees at certain times is seen as an important step in order to protect them from diseases. If the leaves change despite the fertilization process, the system can help the farmer to diagnose. In this way, it is desired to prevent the farmer from experiencing too much loss. Farmers who do not use any technique or technology miss the appropriate time to protect trees from diseases. Incorrect or untimely treatment ensures the rapid spread of leaf diseases. Insect damage and diseases are increasing, especially because pathogen-type viruses multiply in a short time. In addition to these, environmental damages and costs increase due to excessive or insufficient use of chemicals in case of possible misdiagnosis (Thapa et al., 2020).

Diagnosing the disease with the classical methods we have seen from our ancestors increases the processing time. Even in today's conditions, the diagnosis of the disease is often made by a specialist supervisor. In agricultural lands with thousands of trees, this situation requires a lot of experts. As a result, the lack of automatic systems inevitably leads to a decrease in fruit quality. When the planned number of products cannot be produced, great losses are experienced in terms of economy and time. Today, with the development of technology, it is seen that auxiliary tools have been created for farmers. Recently, pre-network-based methods and image processing algorithms are frequently used in the classification and automatic detection of leaf diseases of various plants (Gargade & Khandekar, 2019; Gobalakrishnan et al., 2020; Shrivastava, 2021; Tahir et al., 2021). When the studies are looked back, it is seen that mostly classical machine learning algorithm methods are used (Annabel et al., 2019; Gobalakrishnan et al., 2020; Shrivastava, 2021). It has been determined that there are different efforts to classify different diseases that occur in various plants in order to provide convenience to the farmers and to support the country's economy. In one of them; Sujatha et al. mention that they use machine learning-based methods to diagnose foliar diseases of different citrus plants such as lemons (Sujatha et al., 2021). In another, an automated system has been proposed for diagnosing foliar diseases of maize and potato plants (Aurangzeb et al., 2020). In another study, Yun et al. tried to classify the leaf images of the cucumber plant with probability-based neural networks (Shi et al., 2015). Iqbal et al. examines the process steps of existing studies in the literature that classify diseases in citrus plants such as oranges and lemons. As a result of the investigations, Iqbal et al. are reported that studies on the diagnosis and classification of diseases in plants are at the initial stage (Iqbal et al., 2018). Looking at the current studies, it tries to determine the texture, size, color status and shape of the fruit or leaf where deterioration occurs. In addition, it diagnoses the disease by segmenting the stem, leaves and fruit. In order to obtain stable results in classical image processing methods, there should be a large number of training examples (Khan et al., 2020). Such methods can also have various problems such as light scattering, brightness, contrast irregularities, similarities between the defective lesion area and the normal area. Recently, these problems have been dealt with effectively with pre-trained neural network methods created with thousands of classes in very different categories to overcome all these problems.

The main contribution to this article study is given below in articles:

- A useful tool has been developed for farmers. Performance analyzes of pre-trained deep neural networks popular in the literature in recent years have been made.
- As a result of the analysis, the system, which will be based on pre-trained feature extraction, image processing and convolution neural networks (CNN), is expected to relieve the farmer in some issues.
- Attributes were obtained from pre-processed plant disease images with the help of DenseNet121, DenseNet201, InceptionResNetV2, InceptionV3, ResNet50V2 pre-trained network models. Performance levels were measured to determine which of the methods used was good at identifying the type of leaf disease.
- With a proposed basic CNN structure model, a structure model was created to predict test images. In this way, when a new test image is given to the system created, the type of apple leaf disease is estimated.
- It will support the increase of apple production in agricultural lands with the spread of early diagnosis in the agricultural sector.

The next sections of the article are planned as follows. In the Related Studies section, articles that are close to our work in the previous literature were examined. In the section called Proposed Method, the steps of the developed algorithm are mentioned. In the Results and Discussion section, the experimental results using the proposed model are explained by comparing them with the studies using the same data set. The study was concluded in the section titled Conclusions.

## 2. Related Work

When existing studies in the literature were analyzed, plant diseases were determined by using attributes such as color, texture, shape and shape of plant lesions (Prashar et al., 2017; Singh & Misra, 2017; Tiwari et al., 2020). Inspired by these studies, some preprocessing was done on leaf images before they were given as input to deep learning algorithms. The main purpose of preprocessing is to reduce the image size and perform basic operations in the ROI region. Different color spaces were examined by researching the color spaces in the ROI region. Distribution was adjusted using histogram equalization in regions where unbalanced color distributions were detected. Liang et al. classified leaf disease with a RESNET-based deep learning method (Liang et al., 2019). Zhang et al. created a neural network with three different convolutions using RGB color channels. Classified vegetable leaf diseases using this neural network model (Zhang et al., 2019). Türkoğlu et al. developed a neural network that classifies the features obtained by using some layers of pre-trained network models such as DenseNet201, GoogleNet, AlexNet, using the LSTM method (Turkoglu et al., 2019). Performance analyzes of the methods used were used for apple disease classification. Wang et al. created a structure that automatically predicts the severity of the disease in order to measure the yield loss due to the disease (Wang et al., 2017). He states that this structure provides the best results with the VGG16 pre-trained network model. According to Dubey et al. worked to classify apple diseases using different image attributes such as shape, texture, and color (Dubey & Jalal, 2016). With the help of the K-means algorithm, the lesion area was determined. Afterwards, he defined and classified the statistical features that define that region. Ferentinos developed a CNN model to group a dataset of healthy and diseased images of different plants (Ferentinos, 2018). Ferentinos mentions the difficulty of observing the signs of plant diseases optically. Even by agronomists and plant pathologists, it is often mentioned that they fail to determine the type, type of some diseases. It is emphasized that it will provide great convenience to expert agricultural engineers who make automatic detection and diagnosis of plant diseases by optical methods (Mohanty et al., 2016). When the studies are examined, it is stated that it is difficult to detect and classify leaf diseases classically by agricultural engineers and plant pathologists working in the field.

## 3. Proposed Method

### 3.1. Material

In this study, an apple leaf dataset with varying levels of illumination angle and surface and noisy features was used. The dataset used includes one healthy class and three different apple leaf disease classes. A total of 3642 leaf images were used. This data set was created in order to prevent yield loss due to different problems such as stress in apple orchards in the USA. It is reported that the generated data set is complex. It is an unequal data set that includes different types of diseases. They are not data sets with the same backgrounds taken in special environments. There are non-homogeneous leaf background images. Images were taken regularly at different times of the day to increase the difficulties in the lighting situation. Five percent of the data set has both crusting disease and rust disease (Thapa et al., 2020). The features mentioned in the dataset affect the detection accuracy of the leaf disease analysis. In the data set used, there were 516 apple leaf images in the healthy class, 91 in the multiple diseases (MD) class, 622 in the rust class, and 592 in the scab class. There are 1821 educational leaf images in total. There are also the same number of test images. The Healthy class shown in Figure 1 does not have

any signs of disease. It represents healthy leaves consisting of pure green without spots and markings. Likewise, MD is a disease group that has both crusting and rusting disease at the same time. Rust is a group of diseases caused by rust fungus with yellow shapes on the leaf. The last group of diseases, Scab, is a group of diseases consisting of fungus with brown wounds and scars.



Figure 1. Sample images from the classes in the dataset and their total number

### 3.2. Proposed Feature Extraction Steps (PFEM)

Deep learning is defined as a cluster under the domain of machine learning that enables learning by extracting important attributes from complex or normal datasets with minimal preprocessing. Compared to classical machine learning methods, deep learning methods can be used without any preprocessing. However, in this study, preprocessing applications were deemed necessary due to structures that may affect the classification result such as noise in the images. The feature extraction step, which exists in classical machine learning algorithms, can be optionally performed in deep learning algorithms. In both algorithms, the steps of image sizing, noise removal, edge detection, histogram equalization, ROI region determination are common.

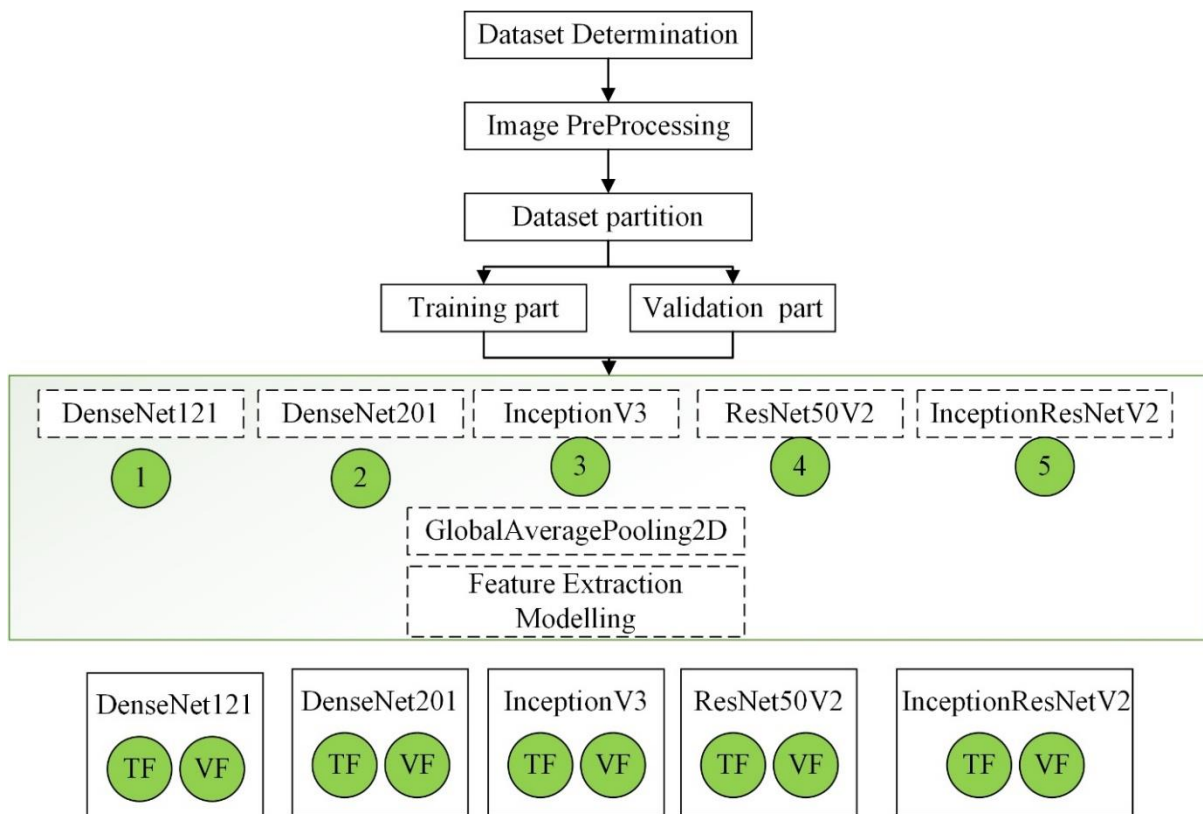


Figure 2. Proposed Feature Extraction Steps (PFEM)

$$\hat{u}_i(p) = \frac{1}{C(p)} \sum_{q \in B(p,r)} u_i(q)w(p, q), \quad C(p) = \sum_{q \in B(p,r)} w(p, q), \tag{1}$$

$$d^2(B(p, f), B(q, f)) = \frac{1}{3(2f+1)^2} \sum_{i=1}^3 \sum_{j \in B(0, f)} (u_i(p + j) - u_i(q + j))^2 \tag{2}$$

The steps shown in Figure 2 illustrate the proposed feature extraction model (PFEM) steps. In the Dataset Determination step, a data set with an non-uniform background, varying lighting status, and more than one disease was determined by looking at the degree of difficulty. The second step of PFEM is the image preprocessing step. This step consists of the combination of different functions in itself. In the preprocessing step, all of the training images were resized according to the size (224,224.3). The specified sizing will provide ease of processing during input to pre-trained network models. Afterwards, a method that provides noise filtering over the color averages of different neighborhoods of the image is used. This method is explained in Equations 1 and 2. In Equation 1,  $u = (u_1, u_2, u_3)$  shows the color channels in order to remove the noise in a color image. The  $i$  value represents 1,2,3 values,  $p$  represents a specific pixel value. The pixel dimensions of  $(2r + 1) \times (2r + 1)$  represent the central neighbors in  $p, B(p, r)$ . The value of  $w(p, q)$  in the central color regions of  $(2f + 1) \times (2f + 1)$  in Equation 2 depends on the squared Euclidean distance named  $d^2(B(p, f), B(q, f))$ . In Figure 2, the neighborhood-based noise removal result of an image in the MD class in the data set is shown. After the noise removal step, edge detection was performed. In edge detection (Hoang & Nguyễn Quốc, 2018), the prewitt algorithm was preferred because of its success in the literature. It can detect edges using a certain threshold value even in gray level and noisy images. In Equation 3,  $P_x$  indicates the operator applied on the horizontal axis, while  $P_y$  indicates the operator applied on the vertical axis. Then, the gradient of the edge values obtained in both directions is calculated. The gradient formula is shown in Equation 4. YUV color space is preferred over RGB color space to better handle challenges such as light differences mentioned in the image. At the beginning of the study, all data set images were converted to red, green, blue channels, Y, U, V channels by histogram equalization according to the color distribution status. The minimum and maximum color range values of each color channel were determined.



Figure 3. Denoised image

These ranges are given in Table 1. In Figure 4, the color distribution in the U and V channels collapsed to the right or left is seen. Histogram equalization was performed after the region of uneven color distribution and the region of ROI that should be of interest were determined.

$$P_x = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad P_y = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{3}$$

$$P = \sqrt{(P_x)^2 + (P_y)^2} \tag{4}$$

Figure 5 shows the result of histogram equalization. All the steps in the preprocessing step were applied to the training images.

Table 1. YUV color channel distributions of all classes

| Color Channel | Minimum | Maximum |
|---------------|---------|---------|
| Y             | 67.12   | 162.32  |
| U             | 87.38   | 130.98  |
| V             | 94.19   | 142.55  |

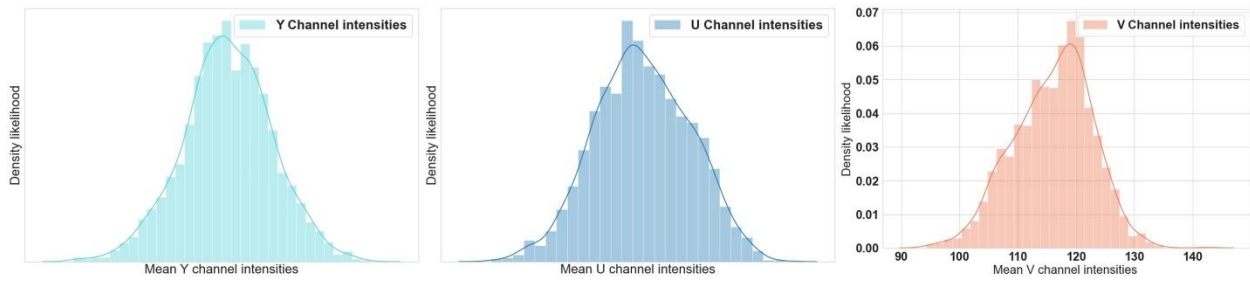


Figure 4. Uneven color distribution



Figure 5. Histogram Equalized ROI Image YUV

In the last part of the preprocessing stage, the data were given as input to the Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) method to eliminate the irregularities in the data distributions between the classes. This technique is a method of oversampling the minority classes to match the other classes. It increases the number of data samples by using Euclidean distance with nearest neighbor methodology (Ishaq et al., 2021). Since the data is sampled based on the original data, it becomes similar to the original data. As a result of this process, 2488 pre-processed images in the YUV color space (2488,224,224.3) and a set of labels indicating which class each image in (2488.4) are included in were created. The final version of the created data set is shown in Figure 6. While Healthy, MD, Rust, Scab are 516, 91, 622, 592, respectively, in the figure on the left side of Figure 6, the sample number on the right side is 622.

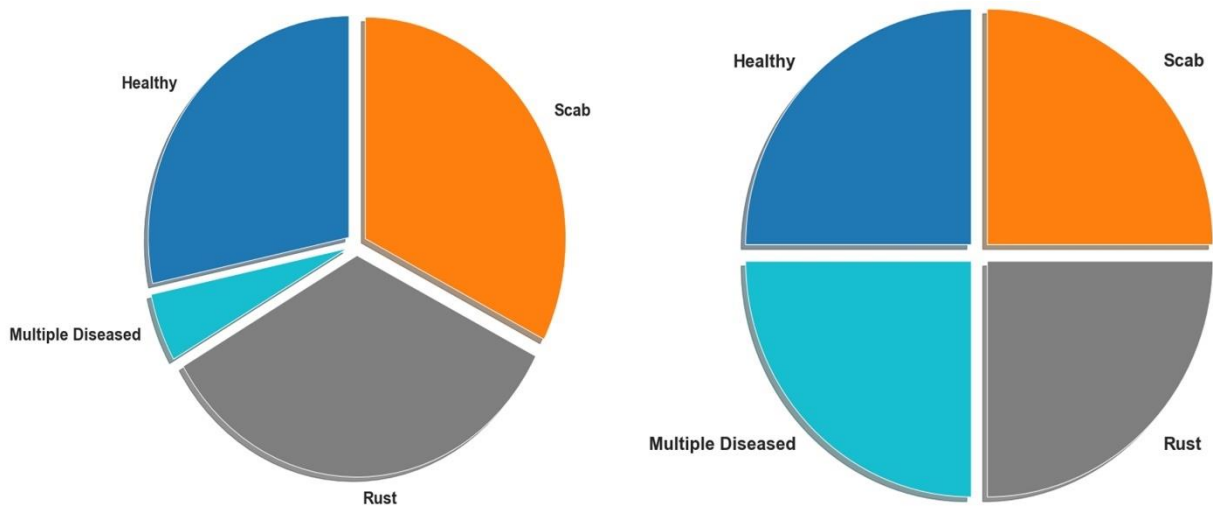


Figure 6. Data distribution before and after the smote process

After the preprocessing step, Data partition operation is performed. 90% of the training dataset was used as training data and 10% as validation data. The determination of these ratios was carried out by experimental studies. In determining these rates, attention was paid to ensure that the training and validation accuracy rates were high and the loss values were low.

The next step consists of feature extraction and classification steps. Two different deep learning models are configured to perform the specified steps. In both models, different CNN structures are used. In classical methods, unsuccessful results can be obtained when the image differences that need to be processed are large. Convolutional neural networks, on the other hand, can be more successful because they can model by filtering the entire image on a pixel basis and combine this information with deep networks. While performing this process, it is carried out in a structure consisting of multiple layers. The first layer involves detecting the edge regions of an image and creating templates. The next layer takes simpler shapes from the image while using the templates for the foundation. In this way, it creates more templates than forms of different objects with various scales, positions, and illuminations. All templates are mapped to the input images in the final layers. The output obtained as a result of operations in the layers is the weighted average of all output values (Gollapudi, 2019). CNNs basically consist of three types of layers. These layers are the convolution layer, which has the task of filtering in order of use, the feature size-reducing pooling layer, and the fully connected layer that transforms it into a flat vector. These CNN structures have a three-dimensional layer adjustment in height, width and depth compared to classical neural networks. The neurons of the hidden layer in classical neural networks are connected only to a certain part of the neurons of the other layers. It is not connected to every neuron. The output obtained as a result of the operations is converted into a single vector. Unlike the hidden layers in classical neural networks, the hidden layers in CNN assist in feature extraction, along with the filters, the circulating convolution layer, and the repository layers that allow the maximum or average values to be taken in data reduction. Convolution layers are the layer that can combine multiple operations and create a feature map with matrix multiplications. The term stride refers to the pixel distance of each filter used. The resulting matrix was transformed into a nonlinear structure by passing through the ReLU activation function. The pooling layer is the layer that connects to the convolution layer, usually for data reduction purposes. This layer is similar to the feature selection step in classical neural networks. It provides parameter reduction, size reduction and overfitting to reduce training time. The maximum pooling technique, which selects the maximum value from among the values in each window, is the most widely used. Optimizes image feature size by making sure relevant key features are extracted from the image. The classification task is performed in the fully connected layer. Multidimensional data needs to be converted to one-dimensional form. It is fully interconnected with all the activations in the previous layers like normal neural networks.

### 3.3. CNN based feature classification model

Structures that have been pre-trained on a large data set and whose weights and architectures are preserved are called pre-trained networks. In these architectures, changes to be made in structures such as input, classification and full connected layer can be used in different datasets apart from the dataset in which the architecture is trained. Feature extraction can be performed when using a different data set than pre-trained networks. For this, it includes running all layers of the network on the new image, together with the layers that need to be changed in the pre-trained networks.

In this here;

- A pre-trained network is taken. The output layer is removed. The input layer is fine-tuned according to the data set used in this article.
- Added classifier with recommended CNN architecture to classify features of pre-trained network.
- Then, with these fine-tuning, the generated model is created with validation as well as training data.
- Finally, when untrained images are given to the model, recognition can be done easily.

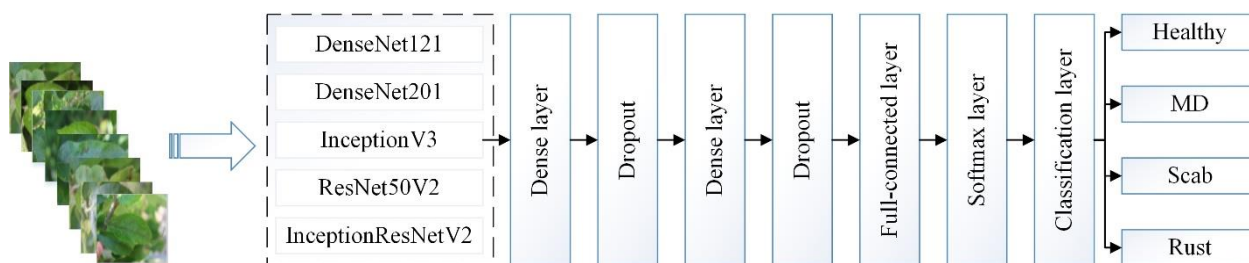
CNN-based feature extraction model and classification model are shown in Figure 2 and Figure 7, respectively. In Figure 2, two different feature matrices named TF (Training Feature) and VF (Validation Feature) were obtained with each pre-trained architectural structure used in the classification PFEM building model. The models of TF and VF matrices obtained from each pre-trained network are used in the proposed CNN-based classification model. The pre-trained DenseNet121, DenseNet201, InceptionV3, ResNet50V2 and InceptionResNetV2 CNN algorithms used in this article generally include input layer, pooling layer, convolution layer with different filters, fully connected layer, dropout, ReLU activation layer and classification layers.

The input layer is the structure where the images in the data set are given to the network after different preprocessing. In this layer, the input size needs to be set beforehand. Throughout this study, the inputs (224,224) are set in width and height dimension. YUV color channel is used as color channel. Basically, images are preprocessed without providing input. The convolution layer is the basic layer that creates the feature matrix obtained by using different filters in the image. This layer transforms certain filters on the image. Filters can be defined in different sizes. Examples of these most commonly used dimensions are 3x3, 5x5, 7x7, 9x9 or 11x11. The Rectified linear units (ReLU) layer is actually the activation layer. The activation layer generally comes after the filtering operations in the image. It is used in linear and nonlinear transformation operations. It brings the actual data into a range and format that the network can understand. The pooling layer is then connected to the convolution layer, which consists of filtering operations and ReLU activation. It tries to reduce the image size without touching the memory. The full connected layer is used before the classification layer by connecting with previous neurons. It is in full connection with the feature extraction neurons before this layer. The reduction layer deletes some neurons in the network to avoid over-learning. Some randomly selected neurons can be neglected. The classification layer, as the name suggests, provides class labels based on classification inputs. It uses the softmax function to obtain class labels. The detailed properties of the pre-trained networks providing feature extraction in this study are given in Table 2.

**Table 2.** Network details used in feature extraction

| Comparison model  | Size (MB) | Parameter  | Depth | Input Size | Reference              |
|-------------------|-----------|------------|-------|------------|------------------------|
| DenseNet121       | 33        | 8.062.504  | 121   | 224,224    | (Huang et al., 2017)   |
| DenseNet201       | 77        | 20.242.984 | 201   | 224,224    | (Huang et al., 2017)   |
| InceptionV3       | 92        | 23.851.784 | 159   | 224,224    | (Szegedy et al., 2016) |
| ResNet50V2        | 98        | 25.613.800 | -     | 224,224    | (He et al., 2016)      |
| InceptionResNetV2 | 215       | 55.873.736 | 572   | 224,224    | (Szegedy et al., 2017) |

In Figure 7, after the leaf images pass through the PFEM steps, feature extraction is performed with the help of pre-trained networks. The first part with the leaf strings in Figure 7 represents the part of the PFEM steps up to the preprocessing stage. DenseNet121, DenseNet201, InceptionV3, ResNet50V2 and InceptionResNetV2 are given separately to the CNN classification model, and two different matrices, TV and VF, obtained separately from each of them, are given to the CNN model. With the full connected layer, each neuron is connected with the entire feature map. These links determine class scores based on the Softmax activation function. Classification layer is specialized for classifier task.



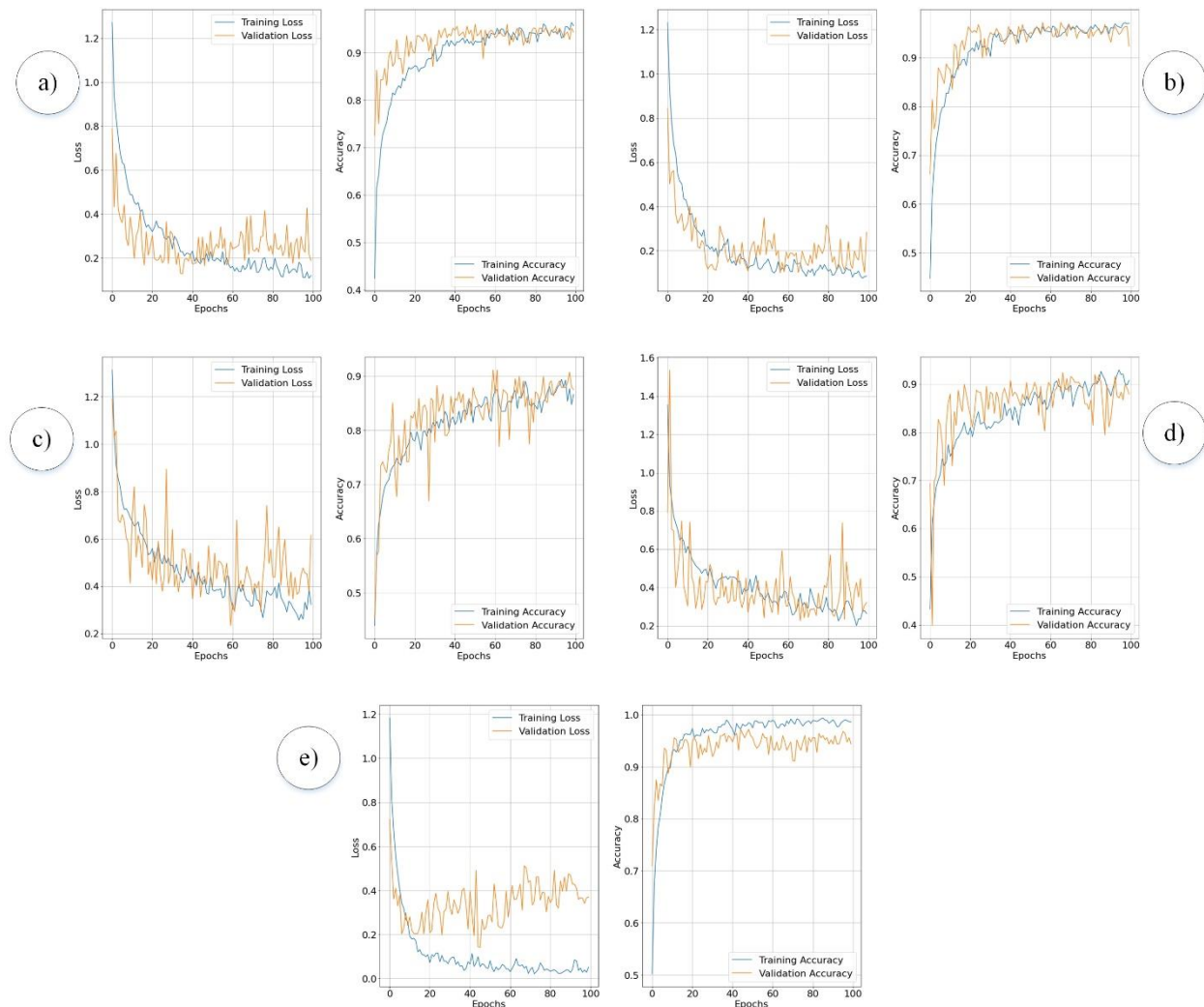
**Figure 7.** The proposed CNN-based feature classification model (PCNN)

#### 4. Results and Discussion

All values such as epoch values are adjusted to be the same for all pre-trained networks used. As observed in Table 4, the proposed CNN algorithm from the features obtained with the ResNet50V2 network, according to the specified adjustments, gave the highest accuracy value as a result of the classification.

**Table 3.** Classification results

| PFEM Model        | Training Accuracy | Validation Accuracy | F1 Score | Precision |
|-------------------|-------------------|---------------------|----------|-----------|
| DenseNet121       | 0.96              | 0.95                | 0.95     | 0.96      |
| DenseNet201       | 0.97              | 0.98                | 0.97     | 0.98      |
| InceptionV3       | 0.93              | 0.92                | 0.92     | 0.91      |
| ResNet50V2        | 0.99              | 0.97                | 0.97     | 0.96      |
| InceptionResNetV2 | 0.89              | 0.91                | 0.90     | 0.91      |



**Figure 8.** Training and validation losses and accuracies of the proposed CNN algorithm: According to the pre-trained network order used in the PFEM step; a) DenseNet121 plots, b) DenseNet201 plots, c) InceptionResNetV2 plots, d) InceptionV3 plots, e) ResNet50V2 plots.

In the network settings, 100 epochs and 32 batch sizes have been adjusted. Figure 8 shows the loss and accuracy graphs of the training and validation obtained with each of the trained networks used in the PFEM method with the proposed CNN method. A comparison table was prepared with the models developed using the dataset published in 2020, which was used within the scope of this study. Looking at the prepared Table 4, accuracy was compared with two different studies published after the publication of the data set. The proposed approach yielded better accuracy than either of the two different studies. Bansal et al. (Bansal et al., 2021) reports in his study that he created a method using DenseNet121, EfficientNetB7 and EfficientNet NoisyStudent models. Using the specified pre-trained algorithms, it tried to detect plant disease quickly. Divakar et al. (Divakar et al., 2021) performed classification with the EfficientNetB7 method on a balanced data set obtained using the SMOTE method. He mentions that although different pre-trained models are used in the method, the most successful results are obtained in the EfficientNetB7 method. Both of these comparison methods used the data set used in this article. In this sense, the comparison chart given in Table 4 shows that the proposed method to classify leaf diseases is successful.



**Table 4.** Comparison results with studies in the literature using the same dataset

| Model                  | Year | Method                              | Accuracy |
|------------------------|------|-------------------------------------|----------|
| (Bansal et al., 2021)  | 2021 | Deep Convolutional Neural Network   | 0.96     |
| (Divakar et al., 2021) | 2021 | Smote-DL                            | 0.91     |
| Proposed model         | 2021 | Convolution neural network approach | 0.99     |

## 5. Conclusions

Within the scope of this study, both validation and training features were extracted with the help of DenseNet121, DenseNet201, InceptionV3, ResNet50V2 and InceptionResNetV2 networks by preprocessing apple leaf diseases. A new classifier has been developed by giving the extracted feature values as input to the proposed CNN algorithm. As a result of the study, the accuracy results obtained from the ResNet50V2 network are higher than other network models. As a matter of fact, although the training period does not take long because the data set is small, the biggest disadvantage of pre-trained networks is the need for advanced computers. At this point, the operation cost can be reduced by selecting the best ones by feature extraction method from the extracted features.

## Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

## References

- Annabel, L. S. P., Annapoorani, T., & Deepalakshmi, P. (2019). Machine Learning for Plant Leaf Disease Detection and Classification – A Review. 2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), 538–542. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2019.8698004>
- Aurangzeb, K., Akmal, F., Khan, M. A., Sharif, M., & Javed, M. Y. (2020). Advanced Machine Learning Algorithm Based System for Crops Leaf Diseases Recognition. 2020 6th Conference on Data Science and Machine Learning Applications (CDMA), 146–151. <https://doi.org/10.1109/CDMA47397.2020.00031>
- Bansal, P., Kumar, R., & Kumar, S. (2021). Disease Detection in Apple Leaves Using Deep Convolutional Neural Network. In *Agriculture* (Vol. 11, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/agriculture11070617>
- Deng, X., Xu, D., Zeng, M., & Qi, Y. (2019). Does Internet use help reduce rural cropland abandonment? Evidence from China. *Land Use Policy*, 89, 104243. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104243>
- Divakar, S., Bhattacharjee, A., & Priyadarshini, R. (2021). Smote-DL: A Deep Learning Based Plant Disease Detection Method. 2021 6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT), 1–6. <https://doi.org/10.1109/I2CT51068.2021.9417920>
- Dubey, S. R., & Jalal, A. S. (2016). Apple disease classification using color, texture and shape features from images. *Signal, Image and Video Processing*, 10(5), 819–826. <https://doi.org/10.1007/s11760-015-0821-1>
- Duralija, B., Putnik, P., Brdar, D., Bebek Markovinović, A., Zavadlav, S., Pateiro, M., Domínguez, R., Lorenzo, J. M., & Bursać Kovačević, D. (2021). The Perspective of Croatian Old Apple Cultivars in Extensive Farming for the Production of Functional Foods. In *Foods* (Vol. 10, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/foods10040708>
- Ferentinos, K. P. (2018). Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, 311–318. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.009>
- Gargade, A., & Khandekar, S. A. (2019). A Review: Custard Apple Leaf Parameter Analysis and Leaf Disease Detection using Digital Image Processing. 2019 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), 267–271. <https://doi.org/10.1109/ICCMC.2019.8819867>
- Gobalakrishnan, N., Pradeep, K., Raman, C. J., Ali, L. J., & Gopinath, M. P. (2020). A Systematic Review on Image Processing and Machine Learning Techniques for Detecting Plant Diseases. 2020 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), 465–468. <https://doi.org/10.1109/ICCSP48568.2020.9182046>
- Gollapudi, S. (2019). Learn Computer Vision Using OpenCV. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4261-2>
- Han, H., Xiong, J., & Zhao, K. (2021). Digital inclusion in social media marketing adoption: the role of product suitability in the agriculture sector. *Information Systems and E-Business Management*. <https://doi.org/10.1007/s10257-021-00522-7>
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 770–778.
- Hoang, N.-D., & Nguyễn Quốc, L. (2018). Metaheuristic Optimized Edge Detection for Recognition of Concrete Wall Cracks: A Comparative Study on the Performances of Roberts, Prewitt, Canny, and Sobel Algorithms. *Advances in Civil Engineering*, 2018, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2018/7163580>
- Hou, J., Huo, X., & Yin, R. (2019). Does computer usage change farmers' production and consumption? Evidence from China. *China Agricultural Economic Review*, 11(2), 387–410. <https://doi.org/10.1108/CAER-09-2016-0149>
- Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., & Weinberger, K. Q. (2017). Densely connected convolutional networks. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 4700–4708.
- Iqbal, Z., Khan, M. A., Sharif, M., Shah, J. H., ur Rehman, M. H., & Javed, K. (2018). An automated detection and classification of citrus plant diseases using image processing techniques: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 12–32.

- <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.032>
- Ishaq, A., Sadiq, S., Umer, M., Ullah, S., Mirjalili, S., Rupapara, V., & Nappi, M. (2021). Improving the Prediction of Heart Failure Patients' Survival Using SMOTE and Effective Data Mining Techniques. *IEEE Access*, 9, 39707–39716. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3064084>
- Khan, M. A., Akram, T., Sharif, M., & Saba, T. (2020). Fruits diseases classification: exploiting a hierarchical framework for deep features fusion and selection. *Multimedia Tools and Applications*, 79(35), 25763–25783. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09244-3>
- Liang, Q., Xiang, S., Hu, Y., Coppola, G., Zhang, D., & Sun, W. (2019). PD2SE-Net: Computer-assisted plant disease diagnosis and severity estimation network. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 518–529. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.034>
- Mohanty, S. P., Hughes, D. P., & Salathé, M. (2016). Using Deep Learning for Image-Based Plant Disease Detection. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1419. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01419>
- Ni, A., Huang, L., & Xiong, F. (2021). A new perspective of innovation-driven agricultural sustainable development: a case of China. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 667, 12096. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/667/1/012096>
- Prashar, K., Talwar, R., & Kant, C. (2017). Robust Automatic Cotton Crop Disease Recognition (ACDR) Method using the Hybrid Feature Descriptor with SVM.
- Shi, Y., Wang, X. F., Zhang, S. W., & Zhang, C. L. (2015). PNN based crop disease recognition with leaf image features and meteorological data. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8, 60–68. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20150804.1719>
- Shrivastava, G. (2021). Review on Emerging Trends in Detection of Plant Diseases using Image Processing with Machine Learning. *International Journal of Computer Applications*, 174. <https://doi.org/10.5120/ijca2021920990>
- Singh, V., & Misra, A. K. (2017). Detection of plant leaf diseases using image segmentation and soft computing techniques. *Information Processing in Agriculture*, 4(1), 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.10.005>
- Sottocornola, G., Stella, F., & Zanker, M. (2021). Counterfactual Contextual Multi-Armed Bandit: a Real-World Application to Diagnose Apple Diseases.
- Sujatha, R., Chatterjee, J. M., Jhanjhi, N. Z., & Brohi, S. N. (2021). Performance of deep learning vs machine learning in plant leaf disease detection. *Microprocessors and Microsystems*, 80, 103615. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103615>
- Szegedy, C., Ioffe, S., Vanhoucke, V., & Alemi, A. A. (2017). Inception-v4, inception-resnet and the impact of residual connections on learning. Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence.
- Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z. B. (2016). Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.308>
- Tahir, M. Bin, Khan, M. A., Javed, K., Kadry, S., Zhang, Y.-D., Akram, T., & Nazir, M. (2021). Recognition of Apple Leaf Diseases using Deep Learning and Variances-Controlled Features Reduction. *Microprocessors and Microsystems*, 104027. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2021.104027>
- Thapa, R., Zhang, K., Snavely, N., Belongie, S., & Khan, A. (2020). The Plant Pathology Challenge 2020 data set to classify foliar disease of apples. *Applications in Plant Sciences*, 8(9), e11390. <https://doi.org/10.1002/aps3.11390>
- Tiwari, D., Ashish, M., Gangwar, N., Sharma, A., Patel, S., & Bhardwaj, S. (2020). Potato Leaf Diseases Detection Using Deep Learning. <https://doi.org/10.1109/ICICCS48265.2020.9121067>
- Turkoglu, M., Hanbay, D., & Sengur, A. (2019). Multi-model LSTM-based convolutional neural networks for detection of apple diseases and pests. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01591-w>
- Wang, G., Sun, Y., & Wang, J. (2017). Automatic Image-Based Plant Disease Severity Estimation Using Deep Learning. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2017, 2917536. <https://doi.org/10.1155/2017/2917536>
- Zhang, S., Huang, W., & Zhang, C. (2019). Three-channel convolutional neural networks for vegetable leaf disease recognition. *Cognitive Systems Research*, 53, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2018.04.006>
- Zhu, X., Hu, R., Zhang, C., & Shi, G. (2021). Does Internet use improve technical efficiency? Evidence from apple production in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 166, 120662. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120662>



## BEST WORST METODU İLE İNŞAAT SEKTÖRÜNDE RİSK DEĞERLENDİRMESİNE YENİ BİR YAKLAŞIM

Necip Fazil KARAKURT\*<sup>1</sup>, İhsan HEKİMOĞLU<sup>2</sup>, Ali GUNERİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Çorlu, Tekirdağ

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul

### Anahtar Kelimeler

*Best Worst Metod,  
İnşaat Sanayi,  
Risk Önceliklendirme,  
Risk Değerlendirme.*

### Öz

İnşaat sektörü, Türkiye’de iş kazalarının ölüm veya ciddi yaralanmalarla sonuçlandığı bir sektördür. Bu nedenle üzerine yoğunlaşılması ve hızlı bir şekilde tedbir alınması gereken İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) risk faktörleri oldukça fazla sayıdadır. Makalede daha önce İSG literatüründe kullanılmamış yeni bir yaklaşım ile İnşaat sektörü İSG risk faktörleri önceliklendirilmiştir. İnşaat sektörü literatüründe yer alan farklı kaynaklar incelenerek elde edilmiş 15 farklı risk faktörünün önceliklendirme çalışması yapılmıştır. Bu önceliklendirme yapılırken, yeni yaygınlaşmakta olan Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Best Worst Metod kullanılmıştır. İnternet üzerinden yapılan anket yoluyla uzman görüşleri toplanmış, bu görüşler neticesinde risk faktörlerinin birbirleri açısından önem derecelerini gösteren ikili karşılaştırma vektörleri belirlenmiştir. Bu ikili karşılaştırma vektörlerinin makalede verilen doğrusal programlama modelinde çözülmesi neticesinde, faktör ağırlıkları elde edilmiştir. Toplam 51 katılımcının bulunduğu anket çalışmasında 37 adet anket tutarsız bulunması nedeniyle çalışmanın kapsamından çıkartılmıştır. Tutarlı anket sonuçları farklı ortalama alma yöntemleri ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yüksekte düşme, yüksekte malzeme düşmesi, ağır kaldırma ve toza maruz kalma faktörleri en önemli risk faktörleri olarak belirlenmiştir.

## A NOVEL RISK ASSESSMENT APPROACH ON CONSTRUCTION INDUSTRY USING BEST WORST METHOD

### Keywords

*Best Worst Method,  
Construction Industry,  
Risk Prioritization,  
Risk Assessment.*

### Abstract

Construction is an industry where most of the work accidents end up with death or severe injury. Therefore there are lots of risk factors need to be focused and taken measure. In this paper, a novel method is used to prioritize risk factors and find out the most important ones to deal with. In this paper, 15 risk factors are collected from academic papers concerning construction industry. The risk factors are prioritized by a brand new multiple criteria decision (MCDM) technique, Best-Worst method. The method, as other MCDM techniques, is based on getting pairwise importance level of factors from decision maker. Decision makers filled out the questionnaire on the internet due to severe pandemic. Pairwise comparison vector results are used in linear programming model that results in factor weights after being solved. Result of 51 participants has been analyzed in order to sort inconsistent answers out. By excluding inconsistent answers, falling down from height, material drop from height, lifting heavy and being exposed to dust are found to be most important factors when different kind of average methods are taken into consideration for multiple decision makers.

### Alıntı / Cite

Karakurt, N.F., Hekimoglu, I., Guneri, (2021). Best Worst Metodu ile İnşaat Sektöründe Risk Değerlendirmesine Yeni Bir Yaklaşım, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1141-1154.

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process         |            |
|--|---|------------|
| N.F. Karakurt, 0000-0003-2284-6800       | <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 20.07.2020 |
| İ. Hekimoğlu, 0000-0003-1945-4304        | <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 22.08.2021 |
| A. Guneri, 0000-0003-2525-7278           | <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 01.09.2021 |
|  | <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

## 1. Giriş (Introduction)

İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) alanında yapılan çalışmalar belirli bir birikim oluşturmuş olup bu birikimin yeni çalışmalarla sürekli kendini yenilemesi ve geliştirmesi gerekmektedir (Uzun, 2012). Bu alanda yapılan çalışmalarda risklerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılan pek çok yöntem vardır. Risk değerlendirme yöntemi ve veri toplama araçlarını tasarlarlarken, tasarımı ve uygulamayı gerçekleştiren çalışanların yüksek bir eğitim düzeyine sahip olması, çalışılan yöntemin güvenilir sonuçlara ulaşabilmesi için önemli bir faktör olmaktadır. Riskleri ve önem derecelerini belirlemek adına yapılan akademik çalışmalar, ne kadar kolay anlaşılır olursa, risklerin ve önem derecelerinin belirlenmesi de o kadar kolay olacaktır. Bu nedenle sürekli yeni risk değerlendirme yöntemlerinin ortaya konması ve sahada denenerek geçerliliğinin test edilmesi gerekmektedir.

Risk yönetimi, birçok teknik değerlendirmeyi ve teknik yardım gerektiren araçları sürece dahil ederek, daha güçlü şekilde ifade edilebilen, şeffaf ve hesap verebilir bir anlayışla, alınan kararları yönetebilmeyi sağlar. İSG risk yönetimi, bir kuruma faaliyetlerle ilgili tehlikeleri daha iyi anlama, öngörme, iç ve dış koşullardaki değişikliklere hızlı ve etkili şekilde cevap verebilme yeteneği kazandırır (Özkılıç, 2005). İSG risklerinin yönetilmesi, bir kuruma doğrudan yarar sağlanması için rehberlik eder. İSG risklerinin yönetilmesi;

- İş kazaları ve meslek hastalıklarının azalmasını sağlar,
- Kaynakların etkin kullanımını sağlar, bu da tasarruf anlamına gelir,
- Yöneticilerin daha anlamlı bilgilere ulaşarak, daha iyi kararlar almalarına yardım eder,
- İSG kanunları ile entegrasyonu kolaylaştırır (Özkılıç, 2005).

Risk değerlendirmesi tehlikenin yarattığı riski ve bu tehlikeye karşı alınan önlemlerin bu riskleri kabul edilebilir seviyelere çekip çekmediğinin incelenmesi olarak tanımlanabilir. (Laitinen vd., 2012). Risk değerlendirmesine yönelik ilk bilimsel çalışmalar 1950'li yıllara dayanmaktadır. Bu amaçla kullanılan analiz yöntemleri, kullanım yerlerine göre yıllar içinde gelişim göstermiştir. Bu kapsamdaki çalışmalar, kazaların sınırlandırılmasından, alternatif risk değerlendirme metodlarının geliştirilmesine kadar, geniş bir aralıkta değişmektedir. Makin ve Winder (2008) riskleri yönetim kolaylığı için ana gruplara ayırarak incelemiştir. Bu gruplar yönetim, fiziksel çevre ve bunun gibi riskle ilgili konulardan oluşmaktadır.

Çalışmada risk analizinde en sık kullanılan yöntemler ana başlıklarıyla açıklanmış, daha düşük sıklıkta kullanılan yöntemler ise isimleri hatırlatılarak listelenmiştir. Bu çalışmada yeni geliştirilen bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi olan Best Worst Metot (BWM) ele alınmıştır. Bu metot daha önce farklı amaçlar için kullanılmış olsa da yöntemin risk değerlendirme amacıyla kullanıldığı yeterli sayıda çalışmaya rastlanmamıştır. BWM'nin amacı, uygulama adımları ve avantajları açıklanmış, metodun kullanıldığı literatür kapsamlı şekilde araştırılarak, metodun kullanıldığı sektörler ve kullanım amaçları detaylı olarak ortaya konmuştur. BWM'nin risk değerlendirme amacıyla kullanıldığı bir uygulama çalışması yapmaktaki amaç, bu metodun İSG alanında risklerin önem derecelerinin belirlenmesinde kullanılabilirliğini göstermektir. Araştırmada elde edilen sonuçlar bilimsel olarak ortaya konmuş ve bu yeni yaklaşımın akademik çevrelerde daha fazla benimsenmesini sağlamak amaçlanmıştır. BWM ile bir uygulama çalışması yapmak ve sonuçlarını ortaya koymak amacıyla inşaat sektörü tercih edilmiştir. Bu amaçla bir anket düzenlemiş ve inşaat sektörü profesyonelleri, iş sağlığı ve güvenliği uzmanları, iş sağlığı ve güvenliği doktora programı öğrencilerinden oluşan bir örneklem grubuna sunulmuştur. Sonuçta en yüksek risk faktörlerinin hangileri olduğu, BWM ile analiz edilerek elde edilen bulgular çalışmanın ilerleyen bölümlerinde ortaya konmuştur.

Gerçekleşme ihtimali olan ancak gerçekleşeceği zaman ve gerçekleştiğinde ortaya çıkacak sonucun şiddeti net olarak bilinmeyen olaylara risk denilir. Riskler değerlendirilirken öncelikli olarak tehlikeler tanımlanmalıdır. Bu tehlikelere ilişkin risk değerlendirmesi yapılarak bunların kontrol altına alınmasına yönelik tedbirler belirlenmelidir. Sonrasında bu tedbirlerin uygulamaya alınması ile birlikte süreç izlenmelidir (Selçuk ve Selim, 2018). Risk analizlerinde risklerin önlenmesi konusunda iki ana yaklaşım mevcuttur. Bunlar reaktif ve proaktif yaklaşımlardır. Reaktif yaklaşımda müdahale olay sonrasında gelir ve olayın tekrar yaşanmasına yönelik tedbirler alınması sağlanır. Proaktif yaklaşımda ise bunun tam tersi olarak olay yaşanmadan, herhangi bir iş kazası ve can kaybı olmadan önlemler alınmaya başlanır (Özkılıç, 2007). Risk analizi için nitel ve nicel yöntemler bulunmaktadır. Nitel yöntemlerde riskler sayısal olarak puanlandırılmaz, bunun yerine sözel ifadelerle riskin boyutu ve etkisi nitelendirilmeye çalışılır (Topal, 2017). Risk analiz yöntemlerinin en bilinenleri; Neden Sonuç

Analizi, HTA-Hata Ağacı Analizi, What if-Olursa Ne Olur Analizi, Neden Sonuç Analizi, HAZOP-Tehlike ve İşletilebilme Yöntemi, PHA-Ön Tehlike Analizi ve HTA-Hiyerarşik Görev Analizidir. Nicel yöntemlerde sözel ifadeler yerine riskler nümerik değerlerle ifade edilir. Bu değerler çoğunlukla olasılık yardımıyla elde edilir (Topal, 2017). En bilinen yöntemler; FMEA- Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi, L Tipi ve X Matris ve Fine-Kinney Risk Analizidir. Bahsi geçen yöntemlerin dışında, Çok Kriterli Karar Verme teknikleri de risk analizinde kullanılmaktadır.

Çalışma şu şekilde organize edilmiştir; Bölüm 2'de BWM'nin kullanım alanları hakkında kapsamlı literatür taraması yer almaktadır. Kullanılan yöntemin özellikleri ve uygulama adımları Bölüm 3'te verilmiş olup uygulanan anketin ve BWM yaklaşımının detaylı sonuçları Bölüm 4 ile verilmiştir. Bölüm 5 ile çalışmada elde edilen sonuçlar, çalışmanın çıktıları ve kısıtları ele alınmıştır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

BWM, 2015 yılında Jafar Rezeai tarafından en iyi alternatifi seçmek için, bir dizi kriter açısından bir dizi alternatif değerlendirilmesi problemine çözüm olarak önerilmiştir (Rezeai, 2015). Daha sonraki yıllarda, Kara ve Fırat (2018) yaptıkları çalışmada tedarikçi risk değerlendirmesi için BWM ile birlikte kümeleme analizi uygulamışlardır. Farklı risk faktörleri uzman görüşleri ile ağırlıklandırılmış ve önem derecelerine göre sıralanmıştır. Chang vd. (2019) yaptıkları çalışmada BWM ve TOPSIS yöntemleriyle FMEA çalışması yapmışlardır. Elde edilen model geleneksel yöntemin birçok zayıf noktasına çözüm sunmuştur. Norouzi ve Namin (2019) yaptıkları çalışmada inşaat sektöründeki proje risklerini önceliklendirmişlerdir. Çalışmada iki aşamalı bir yaklaşım (TOPSIS ve BWM) önermişlerdir. Çakır ve Can (2019) yaptıkları çalışmada konaklama işletmelerinin dış kaynak seçiminde önemli ölçütlerin BWM'ye dayalı ARAS yöntemiyle belirlenmesini amaçlamışlardır. Çalışma neticesinde konaklama işletmesinin çamaşır yıkama fabrikası seçiminde göz önünde bulundurduğu fiyat, iş birliği, kalite, teslimat ve hijyen olmak üzere 5 ana kriter ve söz konusu ana kriterler altında 16 alt kriter belirlenmiştir. Çakır ve İncioğlu (2019) çalışmasında gayrimenkul satın almada, doğrudan yabancı yatırımcı için etkin rol oynayan faktörleri (beklentileri) belirlemiştir. Bu faktörlerin önem düzeylerini BWM ile analiz etmiştir. Yavuz vd. (2015) yaptıkları çalışmada Türkiye'de çiftçilerin tarım yapmaktaki amaçlarını ve karar verme süreçlerini BWM ile incelemişlerdir. Azak vd. (2016) yaptıkları çalışmada domates tüketicilerinin dikkate aldığı kriterlerin belirlenmesi amacıyla BWM kullanmışlardır. Ahmad vd. (2017) yaptıkları çalışmada petrol ve doğalgaz sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin sağlanmasına veya bozulmasına sebep olan etkenleri anlama konusunda yetersiz kaldığını belirlemiş ve bu faktörlerin tedarik zinciri yönetimi faaliyetlerine etkilerini altı dış kuvvete odaklandığını bunlarında ekonomik istikrar, siyasi istikrar, paydaş baskısı, rekabet, enerji geçişi ve düzenlemeler olduğunu tespit etmiştir. Bu faktörler içinde hangisinin daha fazla hangisinin daha az önemli olduğu ise BWM kullanılarak belirlenmiştir.

BWM kullanılarak yapılan çalışmalar, tedarikçi değerlendirme, hata türleri analizi, satın alma kriterlerinin değerlendirilmesi, tüketicilerin satın alma davranışlarının analizi gibi, genellikle İSG dışındaki alanlardadır. Çalışma yapılan sektörler incelendiğinde ise turizm, gayrimenkul, tarım, enerji gibi inşaat sektörü dışında kalan sektörler olduğu görülecektir. Ancak bu çalışmada BWM, hem bir İSG çalışması olan risklerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılması, hem de İSG alanında önemli bir sektör olan inşaat sektöründe gerçekleştirilmesi nedeniyle, bugüne kadar yapılan akademik çalışmalardan farklı bir nitelik göstermektedir. Ayrıca verilerin elde edildiği örneklemin, İSG alanında çalışan, sektör tecrübesi olan ve bu alanda akademik eğitim gören katılımcılardan oluşan, bilinçli ve yetkin bir grubu barındırması sebebiyle, çalışma tamamlandığında elde edilen sonuçların güvenilirliği daha yüksek olması beklenebilir. Ayrıca yapılan çalışmada, risklerin analizi için kullanılan veri toplama anketinde yer alan soruların, literatürde yer alan risk faktörlerinin toplamından oluşan meslek hastalığı, kaza tehlikesi ve yanma/kimyasal tehlike gibi risk gruplarını içermesi nedeniyle, çalışma sektörde karşılaşılan risk faktörleri üzerinde, kapsayıcı olma özelliğine de sahiptir. Çalışma sonunda yapılan analizlerde, tutarlılığı düşük yanıtların veri havuzundan çıkarılması, bu şüpheli verilerin sonuçlar üzerinde yanıltıcı etkisi olmamasını sağlamış ve sonuçların güvenilirliğini arttırmıştır. Bu çalışma sayesinde inşaat sektöründeki olası riskler içerisinde en önemli olanları ortaya konacak ve uzmanların bu alanlara odaklanarak riskleri daha hızlı ve etkili şekilde bertaraf etmeleri sağlanacaktır.

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

ÇKKV, sayısal olarak modellemenin zor olduğu durumlarda, kriterlerin ağırlıklandırılması ve alternatifler arasında seçimin yapılması amaçlarıyla kullanılmaktadır. Son yıllarda risk değerlendirme tekniklerine bir alternatif yöntem olarak da kullanılmaktadır. Risk faktörlerinin gruplandırılması ve her bir faktörün-grubun ağırlıklarının belirlenmesi için uzman görüşlerinin alınması şeklinde çalışmalar mevcuttur. Uzman görüşleri ile risk faktörlerinin birbirleri ile kıyaslanarak önem derecelerinin belirlenmesi, risklerin hangisine öncelikli olarak yoğunlaşılması gerektiğini gösterecektir.

BWM, Jafar Rezaei (Delft Teknoloji Üniversitesi) tarafından 2015 yılında tanıtılmış bir ÇKKV tekniğidir. Diğer ÇKKV yöntemlerine göre çok daha pratik ve uygulanması oldukça basittir. Karar vericinin (uzman) daha az soruya yanıt vermesi beklenmektedir. Özellikle büyük problemlerde kolaylık sağlamaktadır. Karar verici, anketin başında iki uç (en iyi-en kötü) kriteri belirler, böylece hangi aralıkta puanlar vereceği fikri aklında başlangıçta oluşmuş olur.

Çok Kriterli Karar Verme problemlerinde, en iyi seçeneği belirlemek için, belli başlı kriterler açısından bir dizi seçenek değerlendirilir. BWM'de en iyi (en çok istenen veya en önemli) ile ve en kötü (en az istenen veya en az önemli) kriterler ilk aşamada karar verici tarafından belirlenir. Ardından bu en iyi ve en kötü olarak belirlenen iki kriterin her biri ile diğer kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır. Daha sonra, farklı kriterlerin görece ağırlıklarını tespit edebilmek için bir matematiksel model ortaya konur ve çözülür. Alternatiflerin farklı kriterlere göre ağırlıkları aynı işlem kullanılarak bulunur. Alternatiflerin nihai puanları, en iyi alternatifin seçildiği temelde farklı kriter ve alternatif kümelerinden ağırlıkların toplanmasıyla elde edilir (Rezaei, 2015).

### 3.1. BWM'nin Avantajları ve Farkları (Differences and Advantages of BWM)

Karar verici daha az sayıda soruya yanıt verdiği için veri ve zamanın etkin kullanımı anlamında BWM iyi bir alternatiftir. Ayrıca daha az soru daha az kafa karışıklığı yaratarak tutarlılık anlamında daha iyi sonuçlar alınmasına neden olabilir. Zıttı düşünme stratejisi de oluşacak olası tutarsızlığı hafifletmektedir. İkili karşılaştırma tabanlı yöntemlerde, ya tek bir vektör (örneğin Swing ve SMART ailesi) ya da tam bir matris (örneğin AHP) kullandığımız yöntemler bulunmaktadır. Tek vektör, zaman açısından avantajlı olurken tüm tutarlılığın kontrolünün sağlanması açısından dezavantajlıdır. Tam matris ise zaman açısından dezavantajlı olup tutarlılık kontrolü açısından daha avantajlıdır. BWM, bu iki uç noktanın arasında bir noktada bulunduğundan iki tarafın da dezavantajını azaltarak avantajını kullanma olanağı sağlar. BWM ile iki uç nokta (en iyi ve en kötü kriter) belirlenerek analiz yapıldığından, arada kalan kriterle ayırım daha iyi yapılmış olmakta ve bu nedenle çalışmada önyargı oluşmamış olmaktadır (Azak vd., 2016).

BWM diğer Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerine kıyasla daha az ikili karşılaştırma gerektirmesi bakımından avantajlıdır. Ayrıca BWM'nin diğer Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri ile birleştirilebilme özelliği nedeniyle alternatif yöntemlerden ayrılır. BWM'nin karşılaştırma matrislerinde sadece sayıların kullanılması nedeniyle, metot daha kolay işlem yapabilme avantajı sağlar. Ayrıca metotta türetilen son ağırlıklar, daha tutarlı karşılaştırmalar sağlaması nedeniyle güvenilir özelliktedir (Rezaei, 2015). Ahmad vd. (2017) çalışmasında BWM ile elde edilen sonuçların, diğer ikili karşılaştırma matrisleri kullanılarak elde edilen sonuçlara nazaran daha tutarlı olduğunu ortaya koymuş ve daha az ikili karşılaştırma gerektirdiği için daha avantajlı olduğunu belirtmiştir. Firmaların Ar-Ge performanslarının değerlendirilmesi konulu bir çalışmada, BWM mevcut yöntemlerle karşılaştırıldığında, daha az veri gerektirmesi ve tam bir ikili karşılaştırma verisine ihtiyaç duymaması gibi özellikleri nedeniyle tercih edilmiştir (Salimi ve Rezaei, 2016). Mevcut ÇKKV yöntemlerinde, tam bir ikili karşılaştırma matrisi yapabilmek için gereken çalışmalar çok uzun sürmektedir. Ayrıca bilgi eksikliği ve konsantrasyon sağlamada güçlükler gibi çeşitli sorunlar nedeniyle elde edilen sonuçlarda tutarsızlıklarla karşılaşmaktadır. BWM bu sorunlara çözüm olarak ortaya çıkmıştır.

BWM'nin diğer metotlara göre birtakım farkları da mevcuttur. Örneğin bu metotta daha az karşılaştırma verisi kullanılır. Ayrıca BWM ikili karşılaştırmaların türündeki tutarsızlıkları giderir (Rezaei, 2015). BWM anlaşılması ve uygulaması kolay bir yöntemdir. Bu değerlendiricinin yapılan çalışmanın güvenilirliğini arttırmak amacıyla yapacağı kontrol etme ve gözden geçirebilmeyi kolay ve mümkün kılması nedeniyle de ekstra bir rahatlık sağlar (Rezaei vd., 2018).

### 3.2. BWM'nin Uygulama Adımları (Steps of BWM)

Işıldar (2019) çalışmasında BWM'nin aşamalarını şu şekilde ifade etmiştir. Öncelikle karar kriterleri oluşturulur, ardından bunlar arasında en iyisi ve en kötüsü belirlenir. Sonrasında Likert ölçeği kullanarak, en iyi kriterin diğerlerine ve diğerlerinin en kötü kritere olan önem dereceleri uzman tarafından belirlenir. Sonrasında bu önem derecesi vektörleri doğrusal programlama (DP) modeline alınarak optimum kriter ağırlıkları belirlenir. Temel durumda beş adımda BWM uygulanır;

Öncelikle belirlenen kriter seti içerisindeki en önemli ve en önemsiz kriterler belirlenir (1).

Bu kriterlere göre ikili karşılaştırmalar (Likert Ölçeği) yapılarak kriterlerin birbirine olan önem derecelerini belirlenir (2).

En önemlinin diğerlerine olan önem derecesi ( $A_B$ ) ve diğerlerinin en önemsiz olan önem derecesi ( $A_W$ ) vektörleri belirlenir (3).

W ağırlık değerlerini 3.adımdaki önem derecelerine uygun şekilde optimize edecek bir doğrusal programlama modeli kurularak çözülür (4).

W karar değişkenlerinin (faktörlerin/kriterlerin ağırlıkları) elde edilmesi amacıyla Eşitlik (1-5) ile verilen doğrusal model çözülür (5).

Modelde yer alan terimler;

$\varepsilon^L$  : Tutarlılık Oranı

$W_B$  : En iyi kriterin ağırlığı

$W_W$  : En kötü kriterin ağırlığı

$A_{Bj}$  : En önemli kriterin j kriterine göre önemi

$A_{jW}$  : J kriterinin en önemsiz kriterine göre önemi

|  |                |
|--|----------------|
| $\min \varepsilon^L$                   | (1)            |
| s.t:                                   |                |
| $ W_B - A_{Bj}W_j  \leq \varepsilon^L$ | tüm j için (2) |
| $ W_j - A_{jW}W_W  \leq \varepsilon^L$ | tüm j için (3) |
| $\sum_j W_j = 1$                       | (4)            |
| $W_j \geq 0$                           | tüm j için (5) |

Doğrusal model incelendiğinde; (1) numaralı eşitlikte amaç fonksiyonu (2-5) numaralı eşitliklerde ise modelin kısıtları görülmektedir. Amaç fonksiyonunda tutarlılık oranı minimize edilmektedir. Kısıtlardan (2) ve (3) numaralı eşitlikler sırasıyla en iyi ve en kötü kriterin ağırlığı ile diğer kriterlerin ağırlık ve önem derecesinin çarpımı ile elde edilen terimin arasındaki farkın tutarlılık oranından küçük olmasını sağlamaktadır. Tutarlılık oranı amaç fonksiyonu ile minimize edildiğinden (2) ve (3) numaralı kısıtlardaki bu farklar da minimize edilecek ve böylelikle verilen önem dereceleri ile uyumlu şekilde ağırlıklar elde edilecektir. (4) numaralı kısıt tüm faktör ağırlıklarının toplamının bire eşit olmasını ve (5) numaralı kısıt tüm ağırlıkların sıfırdan büyük olmasını sağlamaktadır.

### 3.3. Çalışmanın Uygulama Alanı (Application Area of Study)

İnşaat sektörü, gelişmekte olan ülke ekonomilerinde önemli bir yer tutmaktadır. Hem artan şehirleşme nedeniyle oluşan altyapı yatırım ihtiyacı, hem de birçok alt sektörle ilişkili olması nedeniyle en önemli sektörler arasında yer alır. Ancak yapısı gereği, hem emek yoğun bir sektördür ve yüksek sayıda çalışana sahiptir; hem de iş kazası yaşanma riski yüksektir. İnşaat sanayi, İSG yönünden en tehlikeli sektörlerden birisidir (Ceylan, 2014). Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığına ait tehlike sınıflarını derecelendiren yönetmeliğinde inşaat sektörü 'Çok Tehlikeli İşler' sınıfında yer alır (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2009). İnşaat sektörünü bu kadar tehlikeli hale getiren risklerin daha detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. İnşaat sektöründe çalışanların sağlık kontrollerinin zor olması, proje esaslı süregelen faaliyetlerde çalışanların İSG konularına odaklanmamaları ve çalışanların belirli bir süre sonra bitecek olan bir işin tehlikeleri ve sağlığa olan olumsuz etkileri ile ilgilenmemesi çarpıcıdır (Duman ve Etiler, 2013).

İnşaat sektörü kaza sayısı ve kaza sonucu oluşan etkinin büyüklüğü açısından diğer sektörlerden ayrılmaktadır. Bu nedenle inşaat sektöründe risklerin elimine edilmesi büyük önem arz etmektedir. Türkiye'de iş kazalarının %1,6'sı ölümlü sonuçlanmakta iken inşaat sektöründe bu oran %4,7'dir. Ülkede yaşanan kazaların yaklaşık %9'u inşaat sektöründe gerçekleşmektedir. Bu orana rağmen ülkedeki ölümlü kazaların %26'sının inşaat sektöründe gerçekleşmiş olması, kazaların ne denli ciddi boyutlarda olduğunu göstermektedir (Toktaş ve Can, 2018). Bu da inşaat sektörünün yeni risk değerlendirme metodlarının uygulanması için isabetli bir sektör olduğu sonucunu doğurur.

İnşaat sektöründe yapılan işin niteliğinin fiziksel olarak yoğun olması ve çalışma saatlerinin uzun olması sebebiyle çok sayıda iş kazası meydana gelmektedir. Çalışan profilinin diğer sektörlerle göre daha eğitimsiz olması da buna neden olan bir diğer sebeptir (Uzun, 2012).

Farklı çalışma zorluk ve dinamikleri olması nedeniyle inşaat şantiyeleri, İSG kazalarıyla en çok karşılaşılacak yerlerden birisidir (Toktaş ve Can, 2018). Ayrıca inşaat sektörü, risk yönetimi ve değerlendirmesi konusunda diğer sektörlerle göre daha tecrübeli ve birikimlidir. Yöntem, yüksek risk grubu (4.derece) içinde yer aldığı için, inşaat sektöründe uygulanmıştır. Tablo 1 ile verilen ve literatürde daha önceden kullanılmış olan risk faktörleri, farklı kaynaklardan derlenerek oluşturulmuştur. Toplamda 15 adet risk faktörü, çalışmada hesaplama ve anket kolaylığı

sağlaması açısından üç ana gruba ayrılmıştır. Yüksek sayıda faktör adedi, ikili karşılaştırma matrisini büyüteğinden gruplama yoluna gidilmiştir. Gruplar ve risk faktörleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Literatürden derlenen inşaat sektörü risk faktörleri (Construction risk factors retrieved from other articles)

| Ana Risk Faktörü                  | Alt Risk Faktörü                                    | Kaynak   |
|-----------------------------------|---|--|
| <b>Meslek Hastalığı Tehlikesi</b> | Toza Maruz Kalma                                    | (Ceylan ve Başhelvacı, 2011)   |
|                                   | Ağır Kaldırma                                       | (Ceylan ve Başhelvacı, 2011)   |
|                                   | Gürültü   | (Ceylan ve Başhelvacı, 2011)   |
|                                   | Sıcakta/Soğukta Çalışma                             | (Ceylan ve Başhelvacı, 2011)   |
| <b>Kaza Tehlikesi</b>             | Yüksekten Malzeme Düşmesi                           | (Ceylan ve Başhelvacı, 2011), (Tam vd., 2004)                            |
|                                   | Yüksekten Düşme                                     | (Ceylan ve Başhelvacı, 2011), (Tam vd., 2004), (Bilir ve Gürcanlı, 2015) |
|                                   | Kazı Alanında Göçük                                 | (Bilir ve Gürcanlı, 2015), (Akay vd., 2018)                              |
|                                   | Yapı Makinesi/Aracı Kazaları                        | (Bilir ve Gürcanlı, 2015), (Tam vd., 2004), (Ebrat ve Ghodsi, 2014)      |
|                                   | Duvar/Yapı Çökmesi                                  | (Bilir ve Gürcanlı, 2015)  |
|                                   | Elle Taşıma Nedenli Kazalar                         | (Bilir ve Gürcanlı, 2015)  |
|                                   | El Aleti Nedenli Kazalar                            | (Bilir ve Gürcanlı, 2015), (Tam vd., 2004)                               |
| <b>Yanma/Kimyasal Tehlike</b>     | Kimyasallara maruz kalma (Epoksi, Poliüretan, Harç) | (Gül vd., 2014)  |
|                                   | Yangın, Patlama                                     | (Aminbakhsh vd., 2013)   |
|                                   | Elektrik Çarpması, Yıldırım Düşmesi                 | (Aminbakhsh vd., 2013), (Bilir ve Gürcanlı, 2015)                        |
|                                   | Zehirlenme, Nefessiz kalma (Asbest, Metan, Boya)    | (Tam vd., 2004), (Zou ve Zhang, 2009)                                    |

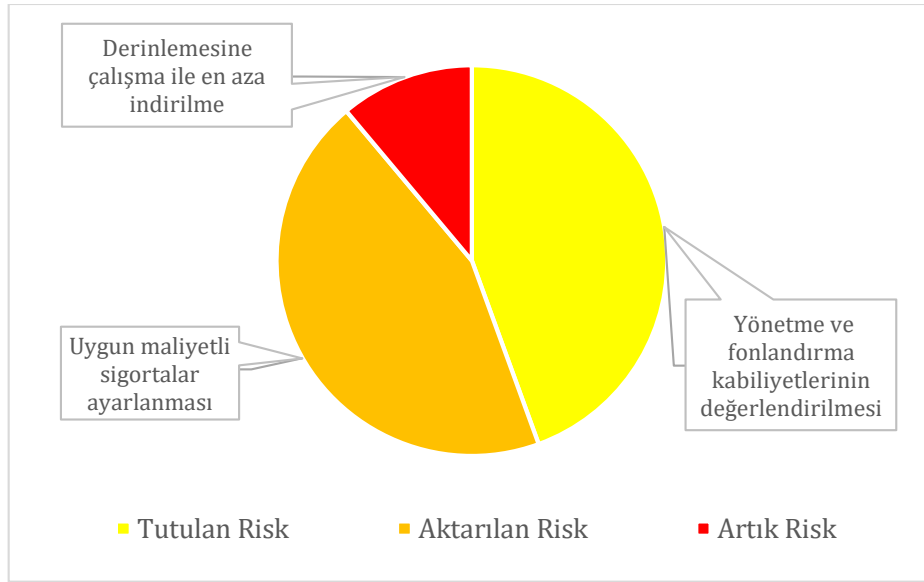
Uğur (2006) çalışmasında inşaat sektörünün finansal, teknik veya fiziksel olabilecek kayıp veya kazançlar barındıran çeşitli riskleri barındırdığını söylemiş, bu görüşünü aşağıdaki Tablo 2 ile örneklendirmiştir.

**Tablo 2.** İnşaat sektöründe risk grupları (Uğur, 2006) (Risk groups for construction industry)

| Olay  | Riskin Türü                      |                               |
|---|----------------------------------|-------------------------------|
|   | Sözleşmede yer alan ağır şartlar | Spekülatif Risk               |
| Proje sırasında meydana gelen aşırı derecede soğuk hava şartları                      | Saf Risk                         | Şirket Riski / Proje Riski    |
| Arsa fiyatlarında ciddi artışa neden olan enflasyon                                   | Spekülatif Risk                  | Piyasa Riski / Endüstri Riski |
| Ulusal çapta tüm inşaat işçilerini kapsayan bir grev                                  | Saf Risk                         | Piyasa Riski / Endüstri Riski |
| Ekonomik bir kira oranı ile spekülatif bir yapı için kiracı bulmakta zorluk yaşanması | Spekülatif Risk                  | Şirket Riski                  |
| Yapısal bir hatanın bina surveyörü tarafından tespit edilmemesi                       | Spekülatif Risk                  | Şirket Riski / Bireysel Risk  |
| İş sahasında yaşanan bir kaza sonucu meydana gelen yaralanma                          | Saf Risk                         | Bireysel Risk                 |

İnşaat sektörü sadece İSG yönetimi risk yönetimi sürecinde o kadar ileri seviyededir ki, risklerin bir kısmını sigortalayarak başka bir kuruma aktarır, bir kısmını üstlenir ve yönetir, bir kısmını ise derinlemesine çalışmalarla en aza indirmeye çalışır. Uğur (2006) çalışmasında bu durumu aşağıdaki şekilde (Şekil 1) göstermiştir. Bu nedenle inşaat sektörü yeni bir risk değerlendirme metodunun uygulanması için elverişli bir sektör olduğu söylenebilir.





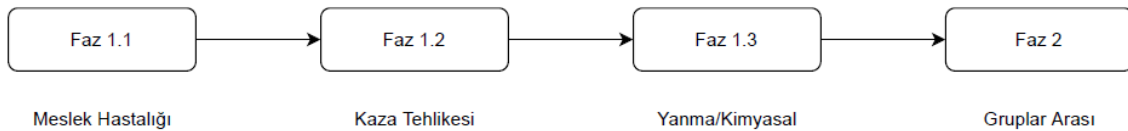
Şekil 1. Bir inşaat projesinde izlenecek risk tepkisi yaklaşımı (Uğur, 2006) (Risk response approach for a construction project)

#### 4. Uygulama ve Bulgular (Application and Findings)

Ağırlıklandırılacak toplam kriter adedi 15 olduğundan sağlıklı sonuç almak ve ankette basitleştirme amacıyla kriterler belirli alt gruplara bölünmüştür. Bu gruplar, faktörlerin alındığı kaynaklar (Tablo 1) dikkate alınarak belirlenmiş olup üçe ayrılmıştır; Meslek hastalığı tehlikesi risk grubu (Toza maruz kalma, ağır kaldırma, gürültü, sıcakta/soğukta çalışma), Kaza tehlikesi risk grubu (Yüksekten malzeme düşmesi, yüksekten düşme, kazı alanında göçük, yapı makinesi/aracı kazaları, duvar/yapı çökmesi, elle taşıma nedenli kazalar, el aleti nedenli kazalar) ve Yanma/Kimyasal tehlike risk grubu (Kimyasallara maruz kalma, yangın/patlama, elektrik çarpması/yıldırım düşmesi, zehirlenme/nefesiz kalma) olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda öncelikle grup içi kıyaslama sonra da gruplar arası ağırlıkların bulunması amacıyla anket gerçekleştirilmiştir. Grup içi ve gruplar arası ağırlıklar birbirleri ile çarpılarak kriterlerin global ağırlıkları belirlenmiştir.

##### 4.1. Anket Tasarımı ve Uygulaması (Questionnaire Design and Application)

Dört farklı aşamada uzman görüşlerinin alınması için anket gerçekleştirilmiştir. Anketi oluşturan dört faz ve bu fazlara ait sıralama Şekil 2 ile verilmiştir. Buna göre ankette sırasıyla meslek hastalığı, kaza tehlikesi, yanma/kimyasal tehlike alt risk grupları arasında önem dereceleri belirlenmesine yönelik sorular sorulmuştur. Sonrasında ana risk grupları arasındaki önem derecelerine yönelik sorular sorulmuştur. Faz 1'de soruların yanıtları ile meslek hastalığı, kaza tehlikesi ve yanma/kimyasal tehlike risk gruplarının kendi içerisinde ağırlıklandırma yapılmıştır. Faz 2 aşamasında ise gruplarının birbirlerine göre olan ağırlıkları hesaplanmıştır.



Şekil 2. Yapılan anketin aşamaları (Questionnaire phases)

Alanında uzman kişilerin görüşlerinin ve fikirlerinin alınması amacıyla düzenlenen online ankete 140 kişi katılmış olup bunların 51 tanesi anketi tamamlamıştır. Her bir fazda uzmana, ikisi en önemli ve en önemsiz kriterin belirlenmesi ikisi de en iyiye ve en kötüye göre önem seviyelerinin belirlenmesine yönelik olmak üzere 4 soru yöneltilmiştir. Bunun yanında uzmana mesleği, İSG ve inşaat sanayi tecrübesi gibi tanımlayıcı sorular sorulmuştur. Bu soruya verilen yanıtlar katılımcıların sonuçlarının ortalaması alınırken dikkate alınmıştır. Tanımlayıcı sorulara verilen yanıtlar Tablo 3 ve 4 ile gösterilmiştir. Tablo 3'te uzmanların İSG alanında, Tablo 4'te ise inşaat sanayinde tecrübe sahibi olma durumları verilmiştir. Buna göre anketi tamamlayan 51 kişinin İSG ve inşaat sektöründeki tecrübeleri yüksektir. İki soruda da 1-10 yıl arası tecrübe sahibi olan katılımcılar %70 seviyeleri ile çoğunluktadır.

10-25 yıl arası tecrübe sahibi olanların oranı ise İSG alanı için %20 olurken, inşaat sektörü tecrübesinde bu oran %18,37 olarak belirlenmiştir.

**Tablo 3.** İSG alanında tecrübe sahibi olma yanıtları (HSE experience answers)

|                | Yanıt Sayısı | Yüzdeler Dilim |
|----------------|--------------|----------------|
| Evet 25+ yıl   | 1            | 1,96           |
| Evet 10-25 yıl | 10           | 19,61          |
| Evet 1-10 yıl  | 36           | 70,59          |
| Hayır          | 4            | 7,84           |

**Tablo 4.** İnşaat sektöründe tecrübe sahibi olma yanıtları (Construction experience answers)

|                | Yanıt Sayısı | Yüzdeler Dilim |
|----------------|--------------|----------------|
| Evet 25+ yıl   | 0            | 0              |
| Evet 10-25 yıl | 9            | 18             |
| Evet 1-10 yıl  | 35           | 69             |
| Hayır          | 7            | 14             |

Faz 1.1’de sorulan en önemli ve en az önemli faktör sorularına verilen yanıtların sonuçları Tablo 5 ile verilmiştir. Uzmanların %50,98’i en önemli risk faktörü nedir sorusuna ‘toza maruz kalma’ olarak yanıt vermiş olup en düşük öneme sahip faktör sorusuna da %56,86 ile ‘sıcak/soğukta çalışma’ yanıtını vermişlerdir.

**Tablo 5.** Faz 1.1 En yüksek/düşük öneme sahip risk faktörü yanıtları (Phase 1.1 Most/least important factor answers)

|   | Toza Maruz Kalma (%) | Ağır Kaldırma (%) | Gürültü (%) | Sıcak Soğukta Çalışma (%) |
|---|----------------------|-------------------|-------------|---------------------------|
| <b>En yüksek öneme sahip risk faktörü</b> | 50,98                | 45,10             | 1,96        | 1,96                      |
| <b>En düşük öneme sahip risk faktörü</b>  | 11,76                | 7,84              | 23,53       | 56,86                     |

**Tablo 6.** Faz 1.2 En Yüksek/düşük öneme sahip risk faktörü yanıtları (Phase 1.2 Most/least important factor answers)

|   | Yüksekten Malzeme Düşmesi (%) | Yüksekten Düşme (%) | Kazı Alanında Göçük (%) | Yapı Makinesi/Aracı Kazaları (%) | Duvar/Yapı Çökmesi (%) | Elle Taşıma Nedenli Kazalar (%) | El Aleti Nedenli Kazalar (%) |
|---|-------------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| <b>En yüksek öneme sahip risk faktörü</b> | 3,92                          | 88,24               | 1,96                    | 0,00                             | 1,96                   | 1,96                            | 1,96                         |
| <b>En düşük öneme sahip risk faktörü</b>  | 3,92                          | 0,00                | 1,96                    | 3,92                             | 9,80                   | 54,90                           | 25,49                        |

Tablo 6’ya göre Faz 1.2’de en önemli risk faktörü %88 ile ‘yüksekten düşme’ olarak belirlenmiş olup, en düşük öneme sahip faktör %54,9 ile ‘elle taşıma nedenli kazalar’ olmuştur. Faz 1.2’de özellikle en yüksek öneme sahip faktörün belirlenmesinde önemli derecede bir fikir birliği oluşmuştur.

**Tablo 7.** Faz 1.3 En Yüksek/düşük öneme sahip risk faktörü yanıtları (Phase 1.3 Most/least important factor answers)

|                                    | Kimyasallara Maruz Kalma (%) | Yangın, Patlama (%) | Elektrik Çarpması, Yıldırım Düşmesi (%) | Zehirlenme, Nefessiz Kalma (%) |
|------------------------------------|------------------------------|---------------------|---|--------------------------------|
| En yüksek öneme sahip risk faktörü | 13,73                        | 45,10               | 23,53                                   | 17,65                          |
| En düşük öneme sahip risk faktörü  | 47,06                        | 7,84                | 21,57                                   | 23,53                          |

Tablo 7 incelendiğinde, en önemli risk faktörü %45,10 ile 'yangın, patlama' olarak belirlenmiş olup en düşük öneme sahip faktör %47,06 ile 'kimyasallara maruz kalma' olmuştur. Son aşama Faz 2'de yapılan anketin ilk iki sorusunun yanıtları Tablo 8 ile verilmiştir. Buna göre, en önemli risk grubu 'kaza tehlikesi' olarak belirlenmiş olup en düşük öneme sahip grup 'meslek hastalığı tehlikesi' olmuştur.

**Tablo 8.** Faz 2 En Yüksek/düşük öneme sahip risk grubu yanıtları (Phase 2 Most/least important risk group answers)

|                                    | Meslek Hastalığı Tehlikesi (%) | Kaza Tehlikesi (%) | Yanma/Kimyasal Tehlike (%) |
|------------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------------------|
| En yüksek öneme sahip risk faktörü | 9,80                           | 84,31              | 5,88                       |
| En düşük öneme sahip risk faktörü  | 60,78                          | 11,76              | 27,45                      |

#### 4.2. Anket Sonuçlarının Model Yardımıyla Çözülmesi

Her bir uzman ve faz için doldurulan ankete göre risk faktörlerinin ağırlıkları belirlenmiştir. Bunun için Eşitlik (1-5) ile verilen doğrusal programlama modeli her bir uzman ve faz için Excel ortamında çözülmüştür. Modelin çözümü ile amaç fonksiyonu (tutarlılık oranı) ve karar değişkenleri (ağırlıklar) elde edilmiştir. Faz 1.1, 1.2 ve 1.3 ile elde edilen ağırlıklar Faz 2 ağırlıkları ile çarpılarak global faktör ağırlıkları bulunmuştur. Ankete katılan 51 katılımcının sonuçlarının aritmetik ortalaması ile elde edilen faktör ağırlıkları Tablo 9 ile verilmiştir. Faktör ağırlıkları incelendiğinde en önemli risk faktörü 'yüksekten düşme' ( $w=0,1014$ ), sonraki en önemli faktör 'yangın, patlama' ( $w=0,0962$ ) olarak bulunmuştur.

**Tablo 9.** Tüm katılımcıların aritmetik ortalaması (Arithmetic mean of participants)

| Risk Faktörü              | Ağırlık |
|---------------------------|---------|
| Toza Maruz Kalma          | 0,083   |
| Ağır Kaldırma             | 0,087   |
| Gürültü                   | 0,062   |
| Sıcakta/Soğukta Çalışma   | 0,067   |
| Malzeme Düşmesi           | 0,063   |
| Yüksekten Düşme           | 0,103   |
| Kazıda Göçük              | 0,050   |
| Yapı Aracı/Mak.           | 0,050   |
| Duvar Çökmesi             | 0,052   |
| Elle Taşıma               | 0,044   |
| El Aleti Nedenli          | 0,038   |
| Kimy. Maruziyet           | 0,068   |
| Yangın, Patlama           | 0,097   |
| Elektrik, Yıldırım        | 0,069   |
| Zehirlenme/Nefessizlik    | 0,068   |
| Ortalama Tutarlılık Oranı | 0,616   |

Anketler çevrimiçi ortamda gerçekleştiğinden katılımcıların soruları doğru anlamasını sağlayacak anketör, anket süresince mevcut bulunmamıştır. Buna bağlı olarak soruların anlaşılabilmesi kaynaklı bazı anketlerde tutarsızlık oluşmuştur. BWM metodolojisi uygulanırken anket soruları iki yönlü sorulduğundan (aynı soru farklı soru cümlesiyle tekrar sorulduğundan) yer yer bu anketlerde tutarsızlık oluşmaktadır. İlk aşamada verilen yanıtlar ile ikinci aşamada verilen yanıtlar birbiri ile uyumlu olmalıdır. Bu uyumsuzluğa ya anket sırasında anketörün müdahalesi ile ya da sonuçlar elde edildikten sonra bu sonuçların elenmesi yoluyla müdahale edilmektedir.

Tutarlılık oranı düşük olan anketlerin tutarlılığı yüksek kabul edilmektedir. Literatürde bazı çalışmalarda sıfıra yakın tutarlılık oranı tercih edilirken kabul gören diğer yaklaşım, eşik değeri yardımıyla tutarsızlığın belirlenmesidir. Bu nedenle 4 numaralı BWM adımının uygulanmasından önce tutarsız bulunan anketler, anket havuzundan çıkartılmıştır. Çalışmada tutarlılık kontrolü için Liang vd. (2019) tarafından yayımlanan makalede önerilen eşik değerleri dikkate alınmıştır. Bahsedilen makalede doğrusal modelin kriter sayısına ve kullanılan Likert ölçeğindeki en yüksek değere göre bir eşik değeri önerilmektedir. Tutarlılık oranı sıfıra yakın değerler tercih edildiğinden Tablo 10 ile verilen eşik değerlerinin altında kalan uzman görüşleri tutarlı olarak değerlendirilmiştir. Tutarsız anketlerin dışarıda bırakılmasıyla yanıltıcı sonuçlar içermeye ihtimali bulunan uzman görüşleri dikkate alınmamıştır.

**Tablo 10.** Tutarlılık eşik değerleri (Consistency threshold values)

| ABW \ Kriter Sayısı | 3      | 4      | 7      |
|---------------------|--------|--------|--------|
| 3                   | 0,2087 | 0,2087 | 0,2087 |
| 4                   | 0,1581 | 0,2352 | 0,3102 |
| 5                   | 0,2111 | 0,2848 | 0,3479 |
| 6                   | 0,2164 | 0,2922 | 0,4061 |
| 7                   | 0,209  | 0,3313 | 0,4035 |
| 8                   | 0,2267 | 0,3409 | 0,4379 |
| 9                   | 0,2122 | 0,3653 | 0,4445 |

Verilen tutarlılık eşik değerlerine göre anketlerin tüm fazlarındaki tutarlılık seviyeleri incelenmiştir. Buna göre herhangi bir fazda tutarsızlık tespit edilen 37 adet anket çalışmanın kapsamından çıkartılmış ve geriye kalan 14 anketin sonuçları üzerinden çalışma yürütülmüştür. Buna göre tutarlı olarak belirlenen anket sonuçları Tablo 11 ile verilmiştir. Buradaki anket tutarlılık oranlarının sıfıra daha yakın olduğu görülmektedir. Tutarlılık oranının sıfıra yakın olması güvenilir BWM sonucu için istenen bir durumdur.

**Tablo 11.** Anket sonuçları (Questionnaire results)

| Risk Faktörü            | Global Ağırlık |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |  |
|-------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
| Toza Maruz Kalma        | 0,014          | 0,095        | 0,077        | 0,091        | 0,027        | 0,091        | 0,107        | 0,018        | 0,070        | 0,008        | 0,076        | 0,379        | 0,100        | 0,042        |  |
| Ağır Kaldırma           | 0,059          | 0,127        | 0,046        | 0,047        | 0,117        | 0,049        | 0,155        | 0,047        | 0,034        | 0,084        | 0,030        | 0,108        | 0,050        | 0,020        |  |
| Gürültü                 | 0,012          | 0,127        | 0,046        | 0,019        | 0,020        | 0,028        | 0,052        | 0,018        | 0,012        | 0,023        | 0,045        | 0,072        | 0,017        | 0,015        |  |
| Sıcakta/Soğukta Çalışma | 0,005          | 0,063        | 0,031        | 0,010        | 0,012        | 0,033        | 0,020        | 0,007        | 0,027        | 0,084        | 0,015        | 0,041        | 0,033        | 0,006        |  |
| Malzeme Düşmesi         | 0,060          | 0,055        | 0,093        | 0,109        | 0,126        | 0,071        | 0,047        | 0,099        | 0,153        | 0,096        | 0,113        | 0,022        | 0,066        | 0,046        |  |
| Yüksekten Düşme         | 0,246          | 0,111        | 0,093        | 0,205        | 0,314        | 0,119        | 0,099        | 0,231        | 0,153        | 0,136        | 0,191        | 0,054        | 0,123        | 0,061        |  |
| Kazıda Göçük            | 0,099          | 0,100        | 0,050        | 0,036        | 0,075        | 0,095        | 0,035        | 0,033        | 0,046        | 0,028        | 0,076        | 0,016        | 0,066        | 0,138        |  |
| Yapı Aracı/Makinesi Kz. | 0,149          | 0,111        | 0,050        | 0,073        | 0,075        | 0,071        | 0,035        | 0,066        | 0,061        | 0,047        | 0,057        | 0,022        | 0,044        | 0,061        |  |
| Duvar Çökmesi           | 0,099          | 0,100        | 0,050        | 0,054        | 0,075        | 0,071        | 0,035        | 0,132        | 0,031        | 0,010        | 0,045        | 0,013        | 0,066        | 0,184        |  |
| Elle Taşıma             | 0,022          | 0,041        | 0,029        | 0,021        | 0,028        | 0,048        | 0,071        | 0,057        | 0,092        | 0,136        | 0,022        | 0,006        | 0,014        | 0,015        |  |
| El Aleti Nedenli        | 0,037          | 0,012        | 0,034        | 0,044        | 0,054        | 0,024        | 0,011        | 0,079        | 0,092        | 0,047        | 0,038        | 0,011        | 0,019        | 0,037        |  |
| Kimyasallara Maruziyet  | 0,014          | 0,015        | 0,053        | 0,087        | 0,044        | 0,043        | 0,129        | 0,040        | 0,054        | 0,075        | 0,050        | 0,062        | 0,037        | 0,019        |  |
| Yangın, Patlama         | 0,028          | 0,012        | 0,133        | 0,019        | 0,017        | 0,086        | 0,161        | 0,098        | 0,098        | 0,075        | 0,136        | 0,037        | 0,194        | 0,182        |  |
| Elektrik, Yıldırım      | 0,098          | 0,021        | 0,133        | 0,143        | 0,005        | 0,086        | 0,011        | 0,060        | 0,022        | 0,075        | 0,075        | 0,016        | 0,102        | 0,124        |  |
| Zehirlenme/Nefessizlik  | 0,056          | 0,010        | 0,080        | 0,043        | 0,010        | 0,086        | 0,032        | 0,015        | 0,054        | 0,075        | 0,030        | 0,142        | 0,068        | 0,050        |  |
| <b>Tutarlılık Oranı</b> | <b>0,088</b>   | <b>0,112</b> | <b>0,040</b> | <b>0,047</b> | <b>0,109</b> | <b>0,046</b> | <b>0,116</b> | <b>0,192</b> | <b>0,055</b> | <b>0,059</b> | <b>0,062</b> | <b>0,128</b> | <b>0,012</b> | <b>0,168</b> |  |

BWM tek bir uzmandan görüş alınması için geliştirilmiş metottur. Bununla birlikte eğer birden fazla uzman görüşlerinin toplam sonucu alınmak istenirse bunun için geometrik veya aritmetik ortalama gibi yöntemler ilk akla gelen yöntemlerdir (Mohammadi ve Rezaei, 2019). Çalışmada birden fazla uzman görüşü birlikte değerlendirilmek istendiğinden bu amaçla aritmetik ortalama, geometrik ortalama ve ağırlıklı aritmetik ortalama yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin birlikte kullanılmasının nedeni farklı ortalama alma yöntemlerinin sonuçları hangi boyutta etkileyeceğinin incelenmek istenmesidir. Görüşleri alınan 14 uzmanın risk faktörü ağırlıklarının aritmetik ve geometrik ortalama sonuçları Tablo 12 ile verilmiştir.

**Tablo 12.** Tutarlı anketlerin ortalamaları (Consistent results' mean)

| Risk Faktörü            | Aritmetik Ortalama Ağırlığı | Geometrik Ortalama Ağırlığı |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Toza Maruz Kalma        | 0,0855                      | 0,0564                      |
| Ağır Kaldırma           | 0,0695                      | 0,0591                      |
| Gürültü                 | 0,0361                      | 0,0277                      |
| Sıcakta/Soğukta Çalışma | 0,0277                      | 0,0200                      |
| Malzeme Düşmesi         | 0,0825                      | 0,0741                      |
| Yüksekten Düşme         | 0,1526                      | 0,1357                      |
| Kazıda Göçük            | 0,0639                      | 0,0548                      |
| Yapı Aracı/Mak.         | 0,0659                      | 0,0597                      |
| Duvar Çökmesi           | 0,0691                      | 0,0534                      |
| Elle Taşıma             | 0,0429                      | 0,0317                      |
| El Aleti Nedenli        | 0,0384                      | 0,0314                      |
| Kimyasallara Maruziyet  | 0,0517                      | 0,0435                      |
| Yangın, Patlama         | 0,0912                      | 0,0654                      |
| Elektrik, Yıldırım      | 0,0693                      | 0,0470                      |
| Zehirlenme/Nefessizlik  | 0,0537                      | 0,0419                      |

Buna göre aritmetik ve geometrik ortalama sonuçlarına göre faktör ağırlıkları yakın seviyelerde bulunmuştur. En önemli ve en önemsiz faktör, geometrik ve aritmetik ortalama yöntemlerinin ikisinde de sırasıyla yüksekten düşme ve sıcakta/soğukta çalışma olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın tutarlı anket sonuçları ağırlıklı aritmetik ortalama ile incelenmiştir. Ağırlıklı aritmetik ortalama için uzmanlara belirli bir ağırlık ataması yapılmıştır. Elde edilen sonuçta konu ile ilgili tecrübesi yüksek uzmanların ortalamaya olan etkisi yükseltmek istendiğinden uzmanların sektördeki tecrübe süresine göre Tablo 13'teki gibi ağırlıklar oluşturulmuştur. Bu şekilde İSG ve İnşaat sektörü tecrübesi daha yüksek olan uzmanların ağırlıkları diğerlerinden yüksek kabul edilmiş ve yorumlarının sonuç üzerindeki etkisi artırılmıştır.

**Tablo 13.** Uzmanların tecrübelerine göre ağırlıkları (Weights of experts corresponding to experience)

| İSG Tecrübesi    | İnşaat Sektörü Tecrübesi |                |                 |                  |
|------------------|--------------------------|----------------|-----------------|------------------|
|                  | Tecrübesiz               | 1-10 yıl arası | 10-25 yıl arası | 25'ten fazla yıl |
| Tecrübesiz       | 1                        | 2              | 3               | 4                |
| 1-10 yıl arası   | 2                        | 3              | 4               | 5                |
| 10-25 yıl arası  | 3                        | 4              | 5               | 6                |
| 25'ten fazla yıl | 4                        | 5              | 6               | 7                |

Her bir uzman için tecrübe ağırlığı ile elde edilen faktör ağırlıkları çarpılarak ortalama alınmıştır. Ağırlıklandırma ile elde edilen ağırlıklı aritmetik ortalama sonuçları Tablo 14 ile verilmiştir.

Bu durumda en önemli faktör 'yüksekten düşme' olurken 'toza maruz kalma' faktörü ardından gelen ikinci önemli faktör olmuştur. Toplamda üç farklı ortalama alma yöntemiyle sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntemler aritmetik ortalama, geometrik ortalama ve ağırlıklı aritmetik ortalama yöntemleridir. Kullanılan her bir ortalama alma yöntemi ile elde edilen ağırlıklara bakılarak her bir faktör önemliden önemsiz doğru sıralanmıştır. Elde edilen sonuç Tablo 15 ile verilmiştir.

**Tablo 14.** Ağırlıklı aritmetik ortalama sonuçları (Weighted arithmetic mean results)

| Risk Faktörü               | Ağırlıklı Aritmetik Ortalama |
|----------------------------|------------------------------|
| Toza Maruz Kalma           | 0,1123                       |
| Ağır Kaldırma              | 0,0783                       |
| Gürültü                    | 0,0436                       |
| Sıcakta/Soğukta Çalışma    | 0,0317                       |
| Malzeme Düşmesi            | 0,0808                       |
| Yüksekten Düşme            | 0,1481                       |
| Kazıda Göçük               | 0,0529                       |
| Yapı Aracı/Makinesi Kazası | 0,0605                       |
| Duvar Çökmesi              | 0,0555                       |
| Elle Taşıma                | 0,0456                       |
| El Aleti Nedenli           | 0,0362                       |
| Kimyasallara Maruziyet     | 0,0583                       |
| Yangın, Patlama            | 0,0784                       |
| Elektrik, Yıldırım         | 0,0592                       |
| Zehirlenme/Nefessizlik     | 0,0588                       |

**Tablo 15.** Faktörlerinin önem sıralaması (Risk factor priorities)

|    | Aritmetik Ortalama Sıralaması | Geometrik Ortalama Sıralaması | Ağırlıklı Aritmetik Ortalama Sıralaması |
|----|-------------------------------|-------------------------------|---|
| 1  | Yüksekten Düşme               | Yüksekten Düşme               | Yüksekten Düşme                         |
| 2  | Yangın/Patlama                | Malzeme Düşmesi               | Toza Maruz Kalma                        |
| 3  | Toza Maruz Kalma              | Yangın/Patlama                | Yangın/Patlama                          |
| 4  | Malzeme Düşmesi               | Yapı Aracı/Makinesi Kazaları  | Malzeme Düşmesi                         |
| 5  | Ağır Kaldırma                 | Ağır Kaldırma                 | Duvar Çökmesi                           |
| 6  | Elektrik, Yıldırım Düşmesi    | Toza Maruz Kalma              | Ağır Kaldırma                           |
| 7  | Duvar Çökmesi                 | Kazıda Göçük                  | Elektrik, Yıldırım Düşmesi              |
| 8  | Yapı Aracı/Makinesi Kazaları  | Duvar Çökmesi                 | Kazıda Göçük                            |
| 9  | Kazıda Göçük                  | Elektrik, Yıldırım Düşmesi    | Yapı Aracı/Makinesi Kazaları            |
| 10 | Zehirlenme/Nefessizlik        | Kimyasallara Maruziyet        | Zehirlenme/Nefessizlik                  |
| 11 | Kimyasallara Maruziyet        | Zehirlenme/Nefessizlik        | Kimyasallara Maruziyet                  |
| 12 | Elle Taşıma Nedenli Kazalar   | Elle Taşıma Nedenli Kazalar   | Elle Taşıma Nedenli Kazalar             |
| 13 | El Aleti Nedenli Kazalar      | El Aleti Nedenli Kazalar      | Gürültü                                 |
| 14 | Gürültü                       | Gürültü                       | El Aleti Nedenli Kazalar                |
| 15 | Sıcakta/Soğukta Çalışma       | Sıcakta/Soğukta Çalışma       | Sıcakta/Soğukta Çalışma                 |

Buna göre en önemli üç faktör, Aritmetik ortalamaya göre; yüksekten düşme, yangın/patlama ve toza maruz kalma şeklindedir. Geometrik ortalamaya göre; yüksekten düşme, yüksekten malzeme düşmesi ve yangın/patlama şeklindedir. Ağırlıklı aritmetik ortalamaya göre; yüksekten düşme, toza maruz kalma ve yangın/patlama şeklindedir. Her üç ortalama alma yönteminde de yüksekten düşme en önemli faktör olarak belirlenmiştir. Burada uzmanlar kaza yaşandığında yaşanacak can kaybı ya da sakat kalma gibi sonuçları dikkate alarak yüksekten düşme risk faktörünün iş sahasında öncelikli olarak tedbir alınması gereken risk olarak belirlemişlerdir. Bir diğer önemli nokta, meslek hastalığı alt risk faktörleri en önemli üç faktör arasına girememiştir. Bunun nedeni uzmanlar tarafından Faz 2'de meslek hastalığı risk grubunun diğer risk gruplarından daha önemsiz olarak belirlenmiş olmasıdır.

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

Çalışmada sekiz farklı kaynaktan derlenerek oluşturulmuş olan 15 inşaat sektörü risk faktörü uzman görüşleri ile değerlendirilmiştir. Literatürde yeni çalışmaya başlanan Çok Kriterli Karar Verme yöntemi olan BWM yaklaşımıyla 15 adet İSG risk faktörünün önem dereceleri belirlenerek ağırlıkları hesaplanmıştır. Literatürde kullanılan ÇKKV yöntemlerindeki uzmanlarla yüz yüze görüşme tekniğinden farklı bir yaklaşım kullanılmıştır. Dünyanın yaşadığı ağır pandemi koşulları nedeniyle anketler online olarak hazırlanmış olup, İSG uzmanlarından oluşan gruplar ile paylaşarak mümkün olduğunca fazla sayıda katılımcıya ulaşılmaya çalışılmıştır. Uzman görüşleri ile faktörlerinin birbirine olan önem derecelerinden oluşan ikili karşılaştırma vektörleri elde edilmiştir. Belirlenecek faktör ağırlıklarının, mümkün olduğunca, önem dereceleriyle uyumlu olmasını sağlayan doğrusal programlama modeli çözümlenerek, ilk aşamada 51 adet uzmanın faktörlere verdikleri önem derecelerinden yola çıkarak faktör ağırlıkları bulunmuştur. Sonrasında tutarsız olan yanıtlar, sonuçlar üzerinde yanıtıcı etkisi olması nedeniyle çıkartılmıştır. Geriye kalan 14 uzman görüşünün sonuçları, üç farklı ortalama alma yöntemiyle (Aritmetik Ortalama, Geometrik Ortalama, Ağırlıklı Aritmetik Ortalama) değerlendirilmiştir. Buna göre, uzman yanıtlarının sonuçlarında, her üç ortalama alma yöntemine göre de, yüksekten düşme en yüksek ağırlığa (öneme) sahip risk faktörü olarak bulunmuştur. Bunu takip eden faktörler, yangın/patlama, yüksekten malzeme düşmesi ve toza maruz kalma olarak belirlenmiştir.

Larsson ve Field'in (2002) elde ettiği bulguya göre Yüksekten Düşme ve Yüksekten Malzeme Düşmesi faktörleri "en riskli" faktörler olarak tanımlanmıştır. Bilir ve Güranlı'ya (2015) göre Yüksekten İnsan Düşmesi faktörü aşırı riskli faktör olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, yayınlanan bu çalışmanın sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. İnşaat sektöründeki İSG risk faktörlerinin BWM yaklaşımıyla incelenmesi, daha önceki çalışmalarda yapılmadığından, çalışma literatürde özgün bir yere sahiptir. İnşaat sektörü, Türkiye'de iş kazalarının ölüm veya ciddi yaralanmalarla sonuçlandığı bir sektördür. Bu nedenle üzerine yoğunlaşılması ve hızlı bir şekilde tedbir alınması gereken İSG risk faktörleri oldukça fazladır. BWM ile İSG risk faktörleri çalışmada olduğu gibi önceliklendirilmiştir.

Çalışmanın en önemli kısıtı, yüz yüze gerçekleştirilmesi gereken uzman görüşlerinin alınması aşamasının pandemi koşulları nedeniyle online ortamda anket paylaşımı ile yapılmasıdır. Bu yöntemle çok fazla sayıda uzmana ulaşılmıştır ancak anketlerdeki sorular uzmanlarca yeterince anlaşılmadığından yanıtların bir kısmında tutarsızlık oluşmuştur. Toplam dönüş alınan 51 uzmanın, yalnızca 14 tanesi tutarlı olarak tespit edilip değerlendirmeye alınmıştır. Çalışmada birden fazla uzmanla anket yapıldığından, elde edilen sonuç aritmetik veya geometrik ortalama yöntemleri ile ele alınmıştır. Ancak bu ortalama alma yöntemleri bazen uç noktalara karşı hassas olabilmektedir. Bu problemin önüne geçmek için ilerleyen çalışmalarda geçtiğimiz yıl önerilen yeni bir BWM varyasyonu olan Bayes BWM ile bu çalışma geliştirilmelidir. İlerleyen çalışmalarda araştırmacılar farklı sektörlerdeki İSG risklerini BWM ile inceleyip sonuçları diğer ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırabilirler.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

### Kaynaklar (References)

- Ahmad, W.N.K., Rezaei, J., Sadaghiani, S., Tavasszy, L.A., 2017. Evaluation of the external forces affecting the sustainability of oil and gas supply chain using Best Worst Method. *Journal of Cleaner Production*, 153, 242-252.
- Akay, A.O., Demir, M., Akgul, M., 2018. Assessment of risk factors in forest road design and construction activities with fuzzy analytic hierarchy process approach in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190 (9).
- Alba, E., Dorronsoro, B., 2005. The Exploration/Exploitation Tradeoff in Dynamic Cellular Genetic Algorithms. *IEEE, Transactions on Evolutionary Computation*, 9, 26-142.
- Altınel, İ.K., Öncan, T., 2005. A New Enhancement of the Clarke and Wright Savings Heuristic for the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Journal of the Operational Research Society*, 56 (8), 954-961.
- Aminbakhsh, S., Gunduz, M., Sonmez, R., 2013. Safety Risk Assessment Using Analytic Hierarchy Process (AHP) during Planning and Budgeting of Construction Projects. *Journal of Safety Research*, 46, 99-105.
- Azak, Ş., Miran, B., Şimşek, B., 2016. Alternatif Üretim Teknikleriyle Üretilmiş Domateste Tüketicilerin Dikkate Aldığı Özelliklerin Karşılaştırmalı Analizi. 12. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, 363-372, Isparta.
- Bilir, S., Güranlı, E., 2015. İnşaatlarda Yeni Bir Risk Değerlendirme Yöntemi: HRNS. 5. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, 157-166, İzmir.
- Çakır, E., Can, M., 2019. Best-Worst Yöntemine Dayalı ARAS Yöntemi ile Dış Kaynak Kullanım Tercihinin Belirlenmesi: Turizm Sektöründe Bir Uygulama. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23 (3), 1273-1300.
- Çakır, E., İncioğlu, C., 2019. Türkiye Gayrimenkul Sektöründe Yabancı Yatırımcıların Beklentilerinin Best-Worst Yöntemiyle Değerlendirilmesi. *International Conference on Applied Economics and Finance (ICOAEF VI 2019) & Extended with Social Sciences*, 185-187, Balıkesir.

- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2009. "İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin Tehlike Sınıfları Tebliği". Resmi Gazete, 27320.
- Ceylan, H., 2014. Türkiye'de inşaat sektöründe meydana gelen iş kazalarının analizi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 6 (1), 1-6.
- Ceylan, H., Başhelvacı, V.S., 2011. Risk Değerlendirme Tablosu Yöntemi İle Risk Analizi: Bir Uygulama. *International Journal of Engineering Research and Development*, 3 (2), 25-33.
- Chang, T.L., Chen, K., Liou, J., 2019. A Novel FMEA Model Based on Rough BWM and Rough TOPSIS-AL for Risk Assessment. *Mathematics*, 7 (10), 874.
- Duman, E., Etiler, N., 2013. İnşaat Sektörü ve İşçi Sağlığı. *Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, 13 (48), 30-38.
- Ebrat, M., Ghodsi, R., 2014. Construction project risk assessment by using adaptive-network-based fuzzy inference system: An empirical study. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18 (5), 1213-1227.
- Goldberg, D., 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Reading, Boston: MA: Addison-Wesley Professional.
- Gül, M., Güneri, A.F., Selvi, A.E., 2014. Bulanik Karar Verme Yaklaşımları Kullanılarak Matris (L-Matris) Metodu Bazlı Risk Değerlendirmesi, Uluslararası İş Güvenliği Sempozyumu, İstanbul.
- Hinton, T.G., 2010. The Vehicle Routing Problem including a range of Novel Techniques for its Solution. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Bristol Üniversitesi, İngiltere.
- İşıldar, A., 2019. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Katı Atık Bertaraf Yöntemi Seçimi, Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Türkiye.
- Jaszkiewicz, A., Ishibuchi, H., Zhang, Q., 2012. Multiobjective Memetic Algorithms. F. Neri, C. Cotta, P. Moscato (Edt.), *Handbook of Memetic Algorithms*, içinde (s. 201-217). Berlin: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Kara, M.E., Firat, O., 2018. Supplier Risk Assessment Based on Best-Worst Method and K-Means Clustering: A Case Study. *Sustainability*, 10 (4), 1066.
- Laitinen, H., Vuorinen, M., Simola, A., 2012. İmalat Sanayinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetimi, MESS yayınları, İstanbul.
- Larsson, T.J., Field, B., 2002. The distribution of occupational injury risk in the Victorian construction industry. *Safety Science*, 40, 439-456.
- Liang, F., Brunelli, M., Rezaei, J., 2020. Consistency issues in the best worst method: Measurements and thresholds. *Omega*, 102175.
- Makin A.M., Winder C., 2008. A New Conceptual Framework to Improve the Application of Occupational Health and Safety Management Systems, *Safety Science*, 46, 935-948.
- Mohammadi, M., Rezaei, J., 2019. Bayesian best-worst method: A probabilistic group decision making model. *Omega*, 96, 102075.
- Norouzi, A., Namin, H.G., 2019. A Hybrid Fuzzy TOPSIS – Best Worst Method for Risk Prioritization in Megaprojects. *Civil Engineering Journal*, 5 (6), 1257-1272.
- Özkiliç, Ö., 2005. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi ve Risk Değerlendirme Metodolojileri. Tisk Yayınları, İstanbul.
- Özkiliç, Ö., 2007. İş Sağlığı, Güvenliği ve Çevresel Etki Risk Değerlendirmesi, Tisk Yayınları, İstanbul.
- Rezaei, J., 2015. Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method. *Omega*, 53, 49-57.
- Rezaei, J., Roekel, W. S., Tavasszy, L., 2018. Measuring the Relative Importance of the Logistics Performance Index Indicators Using Best Worst Method. *Transport Policy*, 68, 158-169.
- Salimi, N., Rezaei, J., 2016. Measuring efficiency of university-industry Ph. D. projects using best worst method. *Scientometrics*, 109 (3), 1911-1938.
- Selçuk, S., Selim, H., 2018. Mücevherat Sektöründe Kullanılan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Analiz Yöntemlerinden L Tipi Matris Yöntemi. *Journal of Technologies and Applied Sciences*, 1 (1), 21-27.
- Tam, C.M., Zeng, S.X., Deng, Z.M., 2004. Identifying elements of poor construction safety management in China. *Safety Science*, 42 (7), 569-586.
- Toktaş, P., Can, G.F., 2018. Şantiyelerin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Risk Düzeylerine Göre Kemira-M Yöntemi ile Sıralanması. *Ergonomi*, 1 (3), 123-136.
- Topal, İ., 2017. Risk Değerlendirme Metotları, Retrieved June, 2020, from [http://www.dataakademi.com.tr/wpcontent/uploads/2017/02/12\\_RD\\_METOTLARI.pdf](http://www.dataakademi.com.tr/wpcontent/uploads/2017/02/12_RD_METOTLARI.pdf).
- Uğur, L. O., 2006. İnşaat sektöründe riskler ve risk yönetimi. Türkiye Müteahhitler Birliği Yayını, Ankara.
- Uzun, İ.M., 2012. İnşaatlarda Yapı Makinaları Kullanımında İş Güvenliği Risk Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Yavuz, G.G., Miran, B., Özudoğru, T., 2015. Cereals producers' Agricultural aims and their tendencies to sustain agricultural production in Turkey. *International Conference on Eurasian Economies*.
- Zhang, H., Liu, B., 2009. A New Genetic Algorithm for Order-Picking of Irregular Warehouse. *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, 1, 121-124.
- Zou, P.X., Zhang, G., 2009. Comparative study on the perception of construction safety risks in China and Australia. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135 (7), 620-62.





## BULANIK MANTIK MODELLEMESİ İLE TAŞINMAZ DEĞERLEMeye FARKLI BİR BAKIŞ

Yeşim ESEN\*<sup>1</sup>, Hanifi TOKGÖZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İzmir Çiğli Belediyesi, İmar ve Şehircilik Müdürlüğü, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Taşınmaz Değerleme,  
Bulanık Mantık,  
Çoklu Regresyon,  
Stepwise Regresyonu.

### Öz

Bu çalışmada taşınmaz değerlemede bulanık mantık modellemesinin uygulanabilirliğinin ve hazırlanan veri setindeki değişkenlerin azaltılmasının yöntem üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmaktadır. Araştırma sahası olarak İzmir ili muhtelif ilçelerinde 120 tane bağımsız bölümün değerlendirme raporu kullanılmıştır. Değişkenler seçilirken, zaman ve ekonomik açıdan kazanım sağlanması, bürokratik işlemlerin en aza indirilmesi göz önünde bulundurulmuştur. Bu kapsamda değişkenlere nitelik azaltma işlemi uygulanmış olup, en az değişken ile istatistiksel olarak en başarılı veri setine ulaşılmıştır. Yapılan istatistiksel analizler taşınmaz değerlendirilmede, bulanık mantık modellemesinin daha hızlı ve düşük hata payı ile tahminde bulunduğunu göstermektedir. Çalışmanın bulguları bir bütün olarak değerlendirildiğinde; nitelik azaltma işlemi kullanılarak, bulanık mantık modellemesinin taşınmaz değerlendirilmede alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

## A DIFFERENT PERSPECTIVE TO REAL ESTATE VALUATION WITH FUZZY LOGIC MODELING

### Keywords

Real Estate Valuation,  
Fuzzy Logic,  
Multiple Regression,  
Stepwise Regression.

### Abstract

The aim of the study is to investigate the feasibility of fuzzy logic modeling in real estate valuation and the effects of reducing the variables in the prepared data set. The data set is consisted of 120 valuation reports prepared for buildings located in various districts of Izmir. In the selection of variables for the model, saving time and economic sources, minimizing bureaucratic procedures are taken in consideration. In this context, a quality reduction process was applied to the variables and statistically the most accurate model with minimum variables was tested. Statistical analyzes showed that, fuzzy logic modeling predicts the value of real estates faster and with lower margin of error. The results of the study indicated that quality reduction with fuzzy logic modeling can be an alternative method in real estate valuation processes.

### Alıntı / Cite

Esen Y., Tokgoz, H., (2021). Bulanık Mantık Modellemesi ile Taşınmaz Değerlemeye Farklı Bir Bakış, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1155-1165.

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

Y. Esen, 0000-0001-9154-3235  
H. Tokgöz, 0000-0002-4826-7973

### Makale Süreci / Article Process

|   |            |
|---|------------|
| <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 08.02.2021 |
| <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 05.07.2021 |
| <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 26.07.2021 |
| <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

### 1. Giriş (Introduction)

Taşınmaz değerlendirme gerek genel ekonomik dinamikler gerekse kentsel dönüşüm ve kamulaştırma süreçleri bakımından önem taşıyan konulardan biridir. Bu çok boyutlu kavram, farklı değerlendirme yöntemlerinden değerlendirme sürecinin aşamalarına, sürece bilgi teknolojilerinin entegrasyonundan değerlendirme uzmanlarının rolüne kadar geniş bir yelpaze de çalışılmaktadır (Köktürk, 2009). Değerleme çalışmaları yapılırken kullanılan farklı yöntemler, aynı

\* İlgili yazar / Corresponding author: yesimtoprak@gmail.com, +90-232-520-6000/1651

taşınmazla ait farklı değer sonuçlarını karşımıza çıkarabilmektedir. Her kurum kendi menfaatini düşünerek kendine has yöntemler kullanıp ve yine taşınmazın kendilerini ilgilendiren özelliklerini ön plana çıkartarak değerlendirme yapmaktadır (Eren vd., 1999; Nişancı, 2005). Taşınmaz değerlemesinde kullanılan değişkenler ve bu değişkenlerin hangisinin daha önemli olduğu bilinmediğinden bilimsel bir yöntemin kullanılması ile taşınmazların gerçek değeri daha isabetli belirlenebilir. Taşınmaz değerlendirme Almanya, Hollanda, İsviçre, İngiltere gibi ülkelerde bir sisteme oturtulmuş olsa da ülkemizde bu konuda bir takım yasal boşlukların bulunması bu süreci zorlaştırmaktadır (Yomralıoğlu vd. 2011). Bu konuda ülkemizde değişkenlere ilişkin mevzuatta birçok kanun, tüzük, yönetmelik, genelgeler ve tebliğler bulunmaktadır. Bazı mevzuatlardaki uygulama için taşınmaz türlerine göre değeri etkileyen değişkenler belirlenmemiş, bazılarında tür ayırımı dikkate alınmamıştır (Yalpır ve Bünyan Ünel, 2016). Bu durum, ülkemizde de taşınmaz değerlendirme konusunun diğer ülkelerdeki gibi somut bir hale getirilmesi için bazı çalışmaların başlamasını sağlamıştır (Tabar ve Şişman, 2020). Bu çalışmalarla ilgili literatürde alternatif yöntemler öne sürülmektedir. Öne sürülen bu metotlar içerisinde günümüz teknolojisinin varmış olduğu son nokta; makinelerle insan davranışlarını anlayabilen ve uygulayabilen özelliklerin kazandırılması (Elmas, 2011) olan yapay zekadır. Yapay zekâ üzerinde en çok araştırma yapılan konu yapay sinir ağlarıdır. Bulanık mantık ile ilgili çalışmalar ise son yıllarda hız kazanmıştır.

Araştırmanın, çalışma alanı toplam 30 ilçenin bulunduğu İzmir ilidir. Bu ilçelerden 16' sından alınan 120 adet bağımsız bölüme ait taşınmazın gerçek değeri ve bu taşınmazlara ait değerlendirme raporlarından 9 adet değişken verisi toplanmıştır. Kullanılan veriler 2010 ile 2013 yılları arasındaki zaman dilimlerine aittir. Tespit edilen gerçek taşınmaz değerlendirme bedelleri 55 000,00 TL ile 280 000,00 TL aralığında değişmektedir.

Oluşturulan veri seti, 9 adet bağımsız değişken (girdi) (Ulaşım, daire alanı, cephe durumu, otopark durumu, binanın yaşı, asansör, manzara, gelir seviyesi ve yapı kalitesi) ve 1 adet bağımlı değişken (çıkıtı)( bağımsız bölümün satış değeri) olarak hazırlanmıştır. Veri setine önce bulanık mantık uygulanmış ve sonuçlar çoklu regresyon analizi ile karşılaştırılmıştır. Zaman ve ekonomik açıdan kazanım sağlanması, bürokratik işlemlerin en aza indirilmesi göz önünde bulundurulduğundan veri setine nitelik azaltma işlemi uygulanmıştır. Nitelik azaltma işlemi hem stepwise regresyonu hem de bulanık mantık ile yapılmış olup her iki yöntemde de aynı 3 değişken anlam kazanmıştır. Bu 3 bağımsız değişken ve 1 adet bağımlı değişken veri setine bulanık mantık uygulanmış ve çoklu regresyon analizi ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda nitelik azaltma işlemi kullanılarak, bulanık mantık modellemesinin taşınmaz değerlemede alternatif bir yöntem olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir.

## 2. Literatür taraması (Literature Review)

Yapay zekâ ve taşınmaz değerlendirme ile ilgili literatürde ilk kez Borst (1991) tarafından Yapay Sinir Ağları kullanılarak taşınmaz değerlendirme çalışmalarına başlanmıştır. Worzala vd. (1995) güncel satış verilerini kullanarak yapay sinir ağı modelini, çoklu regresyon modeli ile kıyaslayarak, yapay sinir ağlarının geliştirilerek taşınmaz değerlemede kullanılabilmesini ifade etmişlerdir. Rossini (1997) makalesinde; yapay sinir ağlarının geliştirilmesiyle taşınmaz değerlemesinde daha geçerli bir analitik araç haline getirilebileceğine değinmiştir. Cechin vd. (2000) ve Khalafallah (2008) yapay sinir ağlarının taşınmaz değerlendirme ve kira verilerini başarılı biçimde modellendirmiş olduğunu teyit etmişlerdir. Kim vd. (2004) çalışmalarında, inşaat maliyetlerinin, vaka bazlı akıl yürütme ve yapay sinir ağları modelleri ile tahmin edilebileceğini ifade etmişlerdir. Esperanza ve Gallego (2004) çalışmalarında yapay sinir ağlarının en iyi çok katmanlı ileri beslemeli ağlarda çalıştığını tespit etmişlerdir. Budzyński ve Wilkowski (2006), çalışmalarında yapay sinir ağlarının hem taşınmaz değerlerinin belirlenmesinde kullanılabilir hem de taşınmaz fiyatlarını yüksek derecede etkileyen taşınmaz özelliklerinin seçimin de kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir. Zurada vd. (2006) çalışmalarının sonucunda, taşınmaz değerlemede "bulanık" verilerin yer alıyor olmasının satış fiyatlarını tespit etme yeteneğine katkı sağlayabileceğini ileri sürmüşlerdir. Özkan vd (2007) çalışmalarında birçok veriyi regresyon ve yapay sinir ağları yöntemleri ile birlikte kullanarak analiz etmişler ve taşınmaz değerlendirme hızlı ve güvenilir sonuçlar elde etmişlerdir. Garcı'a vd. (2008) bu çalışmalarında yapay sinir ağı ve coğrafi bilgi sistemi kombinasyonunun taşınmaz değerlendirme çok yararlı ve güçlü bir araç olduğunu kanıtlamışlardır.

Nas Bulut (2011) tez çalışmasında taşınmazlara ait bilgileri kullanarak yapay sinir ağları ve destek vektör makinesi aracılığıyla bir yöntem geliştirmiştir. Dikmen ve Saraç (2012), bu çalışmalarında taşınmaz değerlerinin tahmini için taşınmazın hizmet seviyesi ve muhitin gelir seviyesini dikkate alan yapay sinir ağlarına dayalı bir model geliştirmişlerdir. Saraç (2012) tez çalışmasında taşınmaz değerlemesinde yapay sinir ağlarını kullanarak bir model geliştirmiştir. Çakır ve Sesli (2013) makalelerinde taşınmaz değerlendirme alanındaki yetkin kişilere bir anket çalışması yapmışlar ve güvenilirlik analizi, normallik varsayımı, varyans analizi kullanarak arsa vasıflı bir taşınmazın değerini belirlerken 15 değişken ile çalışılabileceğini belirlemişlerdir. Derinpınar ve Aydınoglu (2015) çalışmalarında, nominal değerlendirme faktörleri ve bulanık mantık yöntemi kullanarak Coğrafi Bilgi Sistemlerinin taşınmaz değerlendirme uygulanabilirliğini belirlemişlerdir.

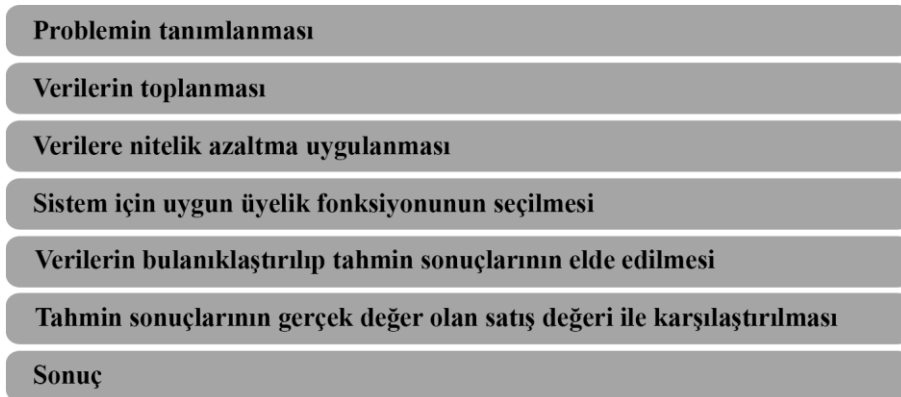
Bostancı vd. (2017) çalışmalarında bulanık bir değerlendirme gerçekleştirip, Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli karşılaştırılabilir konut memnuniyet haritası oluşturmuşlardır. Demirel vd. (2018) çalışmalarında çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi ile dairelerin değerlemesini yapmışlardır. Erdem (2017) makalesinde taşınmaz değerlendirme konusundaki 2010-2017 yılları arasında yapılan yüksek lisans ve doktora tezlerini içerik açısından irdelenmiş ve bulanık mantık yöntemi kullanılarak yapılan taşınmaz değerlendirme çalışmalarının sayısının giderek arttığını bildirmiştir. Işıklı (2019) makalesinde Coğrafi Bilgi Sistemi kullanarak yapılan taşınmaz değerlendirme sonuçlarının yüksek doğrulukla belirlendiğini bir örnek üzerinde açıklamış ve Sermaye Piyasası Kurulu tarafından, değerlendirme için toplanan verilerin depolanması ve ihtiyaç duyulduğunda paylaşılması durumunda taşınmaz değerlendirme hesaplarının daha hızlı olacağını öne sürmüştür. Hong vd. (2020) ve Canaz Sevgen ve Aliefendioğlu Tanrıvermiş (2020) makalelerinde Rastgele Orman Regresyon yönteminin taşınmaz değerlendirilmesinde kullanılabilirliğini göstermişlerdir.

Literatüre bakıldığında, çok sayıda değişken kullanılarak hazırlanan veri setleriyle veya anket çalışmaları uygulanarak yapılan çalışmalara rastlanmıştır. Ancak zamandan ve ekonomik açıdan kazanım sağlanabilmesi, bürokratik işlemlerin azaltılması için, en az değişkene sahip veri setleri ile anlamlı sonuca ulaşılması konusunda yapılan çalışmaların oldukça sınırlı olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada, yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak, veri setine nitelik azaltma uygulanıp en az değişken kullanılarak, bulanık mantık modellemesiyle taşınmaz değerlendirme çalışmaları için yeni bir yaklaşım önerilmektedir.

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

#### 3.1. Teorik Yöntem (Theoretical Method)

Taşınmaz değerlemesinde kullanılan yöntemleri geleneksel, istatistiksel ve modern yöntem olarak üç ana başlık altında toplayabiliriz. Geleneksel yöntem olarak kullanılan piyasa yaklaşımları ya da diğer bir değişle karşılaştırmalı satış analizi günümüzde en çok kullanılan yöntemdir. Ancak bürokratik iş ve işlem basamaklarının çok olması, yapı maliyetlerinin değişik alanlar için sonuca gitmede yetersiz kalması, benzer özellikli taşınmaz bulma zorluğu gibi sıkça karşılaşılan sorunlar çok fazladır (Yalçır, 2007). Bunları en aza indirmenin yollarını ararken karşımıza modern yöntemler çıkmaktadır. Özellikle son zamanlarda bu modern yöntemlerin kullanılmasının değerlendirme çalışmalarına katkılarının yadsınamaz derecede arttığı görülmektedir. Sadece sayısal veriler olarak değil sözel ve görsel olarak da analizlere veri girişi yapılabilmektedir. Örneğin uydu görüntüleri, GPS ve lazer taramaları ile değerlendirme yapılabildiği gibi, insan beyninin düşünme şeklinin bilgisayara aktarımı (Elmas, 2011) ile de yapılabilmektedir. Ayrıca bu yöntemlerin istatistiksel analizlerle de kullanılabilirliği ispatlanmaktadır. Taşınmaz değerlemesinde istatistiksel verilerin kullanılması, faydalanıcılara subjektif bulgular yerine, objektif olarak sonuçlar verebilme imkanı sağlamaktadır (Nişancı, 2005). Çalışmada hazırlanan veri setinin değerlendirilmesi amacıyla SPSS 23.0 paket programında, çoklu regresyon ve stepwise regresyon analizi ile Matlab programında bulanık mantık modellemesi kullanılmıştır. Yapılan uygulama süreci aşağıda Şekil. 1' de verildiği gibi özetlenmektedir.



Şekil 1. Modelin oluşturulmasındaki işlemler (Process of model development)

#### 3.1.1. Çoklu Regresyon (Multiple Regression)

Çoklu regresyon modelinde, etkileyen değişkenlere açıklayıcı (bağımsız değişken), etkilenen değişkene de açıklanan değişken (bağımlı değişken) adı verilir.  $Y$  bağımlı değişken;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  bağımsız değişkenler olmak üzere değişkenler arasındaki sebep sonuç ilişkisini matematiksel bir model olarak ortaya koyar (Es vd., 2014). Çoklu regresyon modelinin matematiksel gösterimi ise aşağıda Eşitlik 1'deki gibidir.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (1)$$

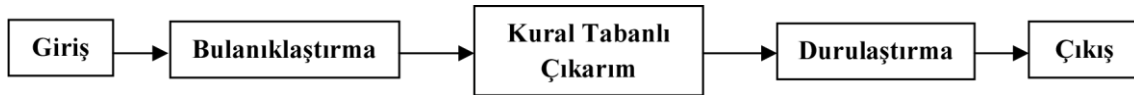
### 3.1.2. Stepwise Regresyonu (Stepwise Regression)

Stepwise Regresyonu, değişkenlerin regresyon denkleminde belirli bir istatistiksel ölçüte göre sırayla eklendiği ya da sırayla seçildiği regresyon modelidir. Hangi değişkenlerin hangi sırayla modele gireceğine matematiksel bir kritere bakarak karar verilir. Eklenen ya da çıkarılan bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerinde anlamlılığın göre son modele karar verilir.

Üç çeşit Stepwise seçim yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan ilki ileriye doğru seçim yöntemidir. Her defasında bir bağımsız değişken ilave edilerek en uygun regresyon modelinin bulunmasını sağlar. İkincisi geriye doğru seçim yöntemidir. Bu modele tüm bağımsız değişkenler ile başlanmaktadır. Üçüncü ve son seçim yöntemi olan adimsal seçim yönteminde ise hem ileriye doğru seçim yöntemi hem de geriye doğru seçim yöntemi aynı anda kullanılmaktadır (Kayaalp vd., 2015). Çalışmada söz konusu regresyon modelinin kullanılmasının ana nedeni bağımsız değişkenin ya da değişkenlerin hangisinin regresyon modelini anlamlandıracığını saptamaktır.

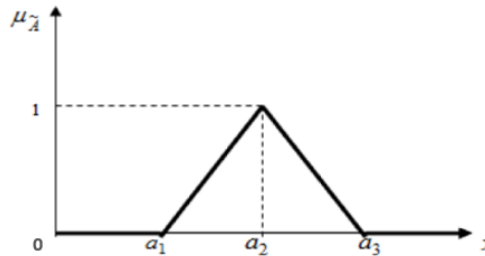
### 3.1.3. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

Bulanık mantık her gün kullandığımız ve davranışlarımızı yorumladığımız yapıya ulaşmamızı sağlayan sadece (1) ve (0) mantığı içermeyen, günlük yaşantımızda kullandığımız daha esnek bir yaklaşımdır (Şen 2009; Kuzugüdenli 2018; Koçak ve Yiğit 2020). Bulanık mantığın uygulama alanları çok geniştir. Sağladığı en büyük fayda ise insana özgü tecrübe ile öğrenme olayının kolayca modellenenilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanınmasıdır (Özgür ve Kara, 2020). Bulanık mantık tabanlı bir sistem Şekil 2' de görüldüğü gibi; giriş, bulanıklaştırma, kural tabanlı çıkarım, durulaştırma ve çıkış bölümlerinden meydana gelmektedir (Kuzugüdenli 2018; Jang vd. 1996; Anand ve Tyagi 2012; Güner ve Çomak 2014; Yalpir 2007).



Şekil 2. Bulanık mantık akış diyagramı (Fuzzy logic flow chart)

Giriş, bağımlı ve bağımsız değişkenleri içerir. Bu değişkenlere karşılık gelen üyelik fonksiyonlarının seçilip, çalıştırılarak bir sonraki basamak olan bulanıklaştırma gerçekleştirilir. Bulanıklaştırılmış değişkenler, kural tabanlı çıkarım basamağındaki her bir kuralı, bir giriş değişkeni, çıkış değişkeniyle bağlanmış olur. Tüm kuralların birlikte kullanılmasıyla sistem modelinin tamamını ifade eden bir kural tabanı oluşturulur. Durulaştırmada ise oluşturulan bu kurallar bulanık ifadelerin, sayısal ifadelere dönüştürülerek, bulanık mantığın model için oluşturduğu sonucu yani çıkışı oluşturur. Çalışmamızda bulanık mantık modellemesinde üyelik fonksiyonu olarak literatürde yaygın olarak kullanılan üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Üçgen üyelik fonksiyonu Şekil 3'de gösterildiği gibi başlangıç  $(0, a_1)$ , tepe  $(a_1, a_2)$  ve bitiş noktaları  $(a_2, a_3)$  ile tanımlanmıştır.



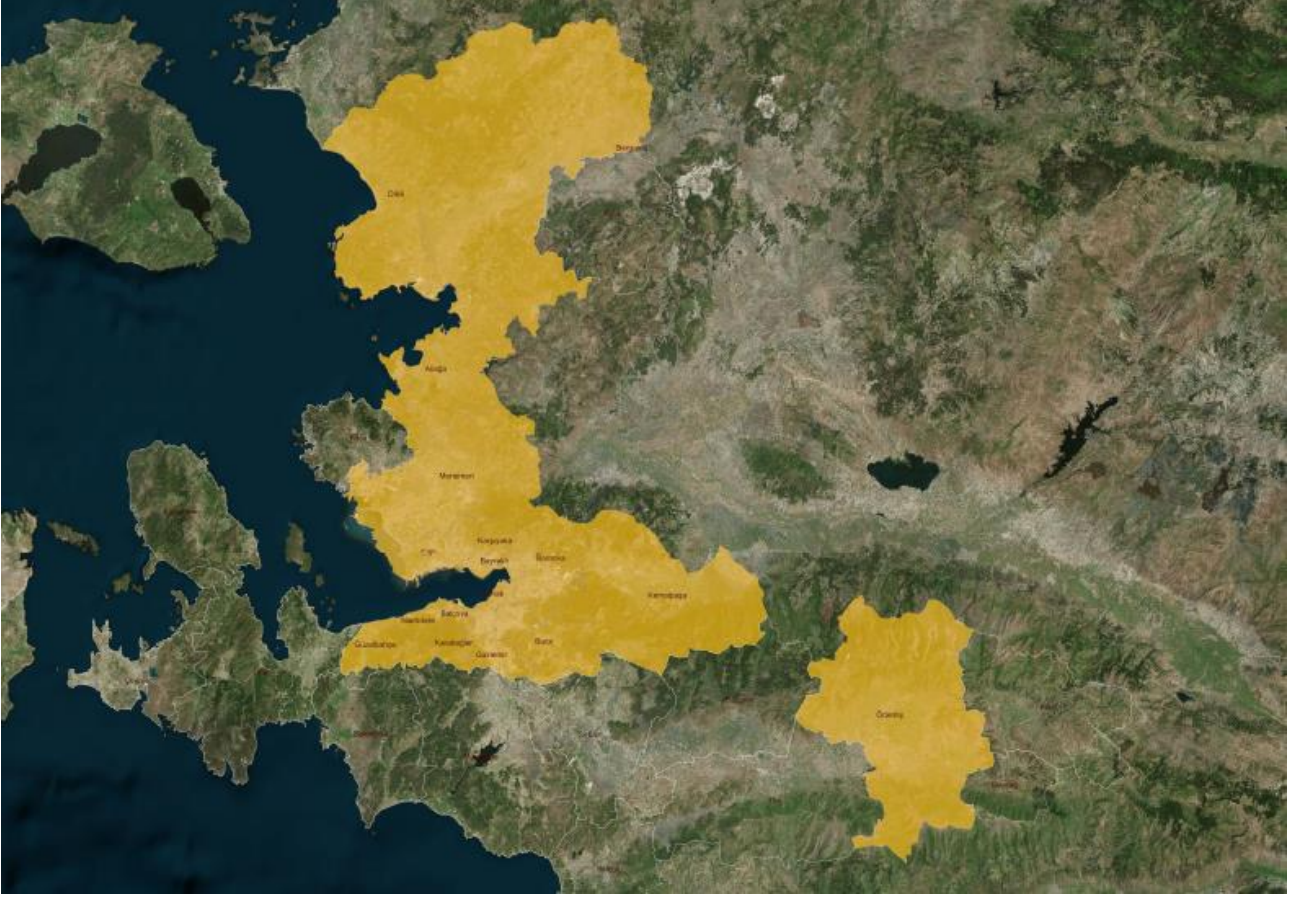
Şekil 3. Üçgen üyelik fonksiyonu (Triangle membership function)

Üçgensel üyelik fonksiyonunun matematiksel gösterimi ise aşağıda Eşitlik 2'de gibidir.

$$\mu_A(X) = \begin{cases} 0, & X < a_1 \\ \frac{X-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq X \leq a_2 \\ \frac{a_3-X}{a_3-a_2}, & a_2 \leq X \leq a_3 \\ 0, & X > a_3 \end{cases} \quad (2)$$

### 3.2. Çalışma Alanı ve Materyal (Work Area and Material)

Bu araştırma çalışmasında, taşınmaz değerlemede bulanık mantık modellemesinin uygulanabilirliği ve hazırlanan veri setindeki değişkenlerin azaltılmasının yöntem üzerine etkileri araştırılmıştır. Araştırma sahası olarak İzmir ili sınırları içerisinde bulunan Karşıyaka ilçesi, Konak ilçesi, Karabağlar ilçesi, Çiğli ilçesi, Bornova ilçesi, Bayraklı ilçesi, Menemen ilçesi, Aliğa ilçesi, Balçova ilçesi, Buca ilçesi, Güzelbahçe ilçesi, Kemalpaşa ilçesi, Bergama ilçesi, Ödemiş ilçesi, Narlıdere ilçesi, Gaziemir ilçesi ve Dikili ilçesinde (Şekil 4) yaklaşık 120 yapıdan alınan bağımsız bölümlerine ait değerlendirme raporları kullanılmıştır. Verilerin elde edilmesi için Code Gayrimenkul Değerleme Dan. İnş. Taah. San. Tic. Ltd. Şti. ile birlikte çalışılmıştır.



Şekil 4. Çalışmada yer alan bağımsız bölümlerin bulunduğu ilçeleri gösteren harita (Map of the districts where the independent units in the study are located)

Toplanan verilerden 9 adet bağımsız değişken (Ulaşım, daire alanı, cephe durumu, otopark durumu, binanın yaşı, asansör, manzara, gelir seviyesi ve yapı kalitesi) ve 1 adet bağımlı değişken (bağımsız bölümün satış değeri) olarak veri seti hazırlanmıştır. Hazırlanan bu veri setinin %75' i eğitim verisi ve % 25' i ise test verisi olarak sisteme tanıtılmıştır (Canaz Sevgen ve Aliefendioğlu Tanrıvermiş, 2020; Esen, 2014; Yücel, 2010). Bağımsız değişkenlerden yapı kalitesi, binada kullanılan malzemeyi, geçirmiş olduğu tadilatı, işlevini yani kısaca değerlemeyi yapan kişinin yorumunu katarak bağımsız bölümün genel yapısını içermektedir. Yapı kalitesine ilişkin sınıflama değerlendirme uzmanlarınca oluşturulan değerlendirme raporlarından alınmıştır. Ulaşım değişkeninde ise şehir merkezine ulaşımın Otobüs, Minibüs, Metro, İzban (kent içi raylı toplu taşıma sistemi) ve vapur olanaklarından hangisinin kullanıldığına bakılmaktadır. Taşınmazların bir bölgeden değil de heterojen olarak seçilmesi değişken sayısını artıracaktır. Bu çalışmada 9 değişkenden daha fazla değişken belirlenebilirdi fakat amaç, zaman ve ekonomik açıdan kazanım sağlanması bürokratik işlemlerin en aza indirilmesi göz önünde bulundurulduğunda, ortak değişkenlerin kullanılması tercih edilmiştir (Esen 2014).

### 4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Taşınmaz değerlemede veri seti 9 adet bağımsız ve 1 adet bağımlı değişken olarak hazırlanmıştır. Ulaşım, daire alanı, cephe durumu, otopark durumu, binanın yaşı, asansör, manzara, gelir seviyesi ve yapı kalitesi gibi özellikler

bağımsız, değer de bağımlı değişken verisi olarak kullanılmış ve çoklu regresyon uygulanmıştır. Kurulan regresyon modeli, istatistiksel açıdan bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkendeki varyansını ( $R^2$ ) % 75 olarak (Tablo 1) açıklamaktadır. Emlak piyasası koşullarında % 85 ve üzerindeki tahmin değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde değerlendirilmektedir (Saraç, 2012). Regresyon analizi sonucunda ulaşılan tahmin değerinin (%75), belirtilen eşik değerinin altında kalması nedeniyle değişken sayısı azaltılarak yeni modeller test edilmeye devam edilmiştir. Daha etkin bir model oluşturmak için veri setinde nitelik azaltmaya karar verilmiştir.

**Tablo 1.** Model özeti (Model summary)

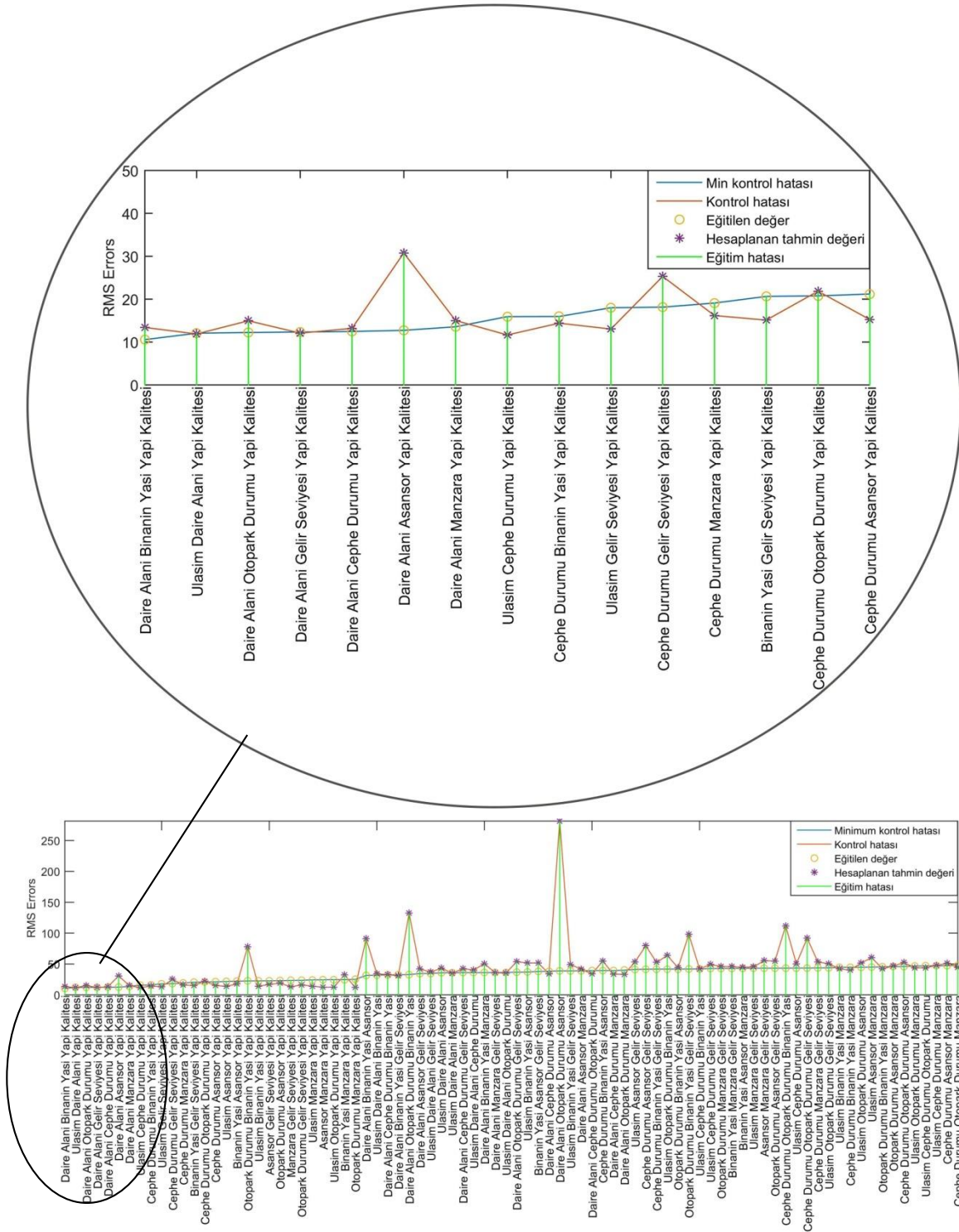
| Model | R     | R <sup>2</sup> | Düzeltilmiş<br>(Adjusted) R <sup>2</sup> | Tahmin<br>standart hatası<br>(Std. Error of<br>the estimate) |
|-------|-------|----------------|--|--|
| 1     | 0,867 | 0,752          | 0,732                                    | 26,26413   |

Bu sebeple modele (9 değişken) stepwise regresyonu uygulanmıştır. Stepwise regresyon analizine dahil edilen 9 değişkenden 3' ünün taşınmazın satış değerini anlamlı olarak belirlediği görülmüştür. Bu anlamlı değişkenlerin 'yapı kalitesi', 'binanın yaşı' ve 'daire alanı' olduğu aşağıda Tablo 2' deki model analizinde görülmektedir.

**Tablo 2.** Kabul edilen değişkenler (Variables entered)

| Model | Kabul edilen değişkenler<br>(Variables entered) | Method   |
|-------|---|----------|
| 1     | Yapı kalitesi                                   | Stepwise |
| 2     | Daire alanı                                     | Stepwise |
| 3     | Binanın yaşı                                    | Stepwise |

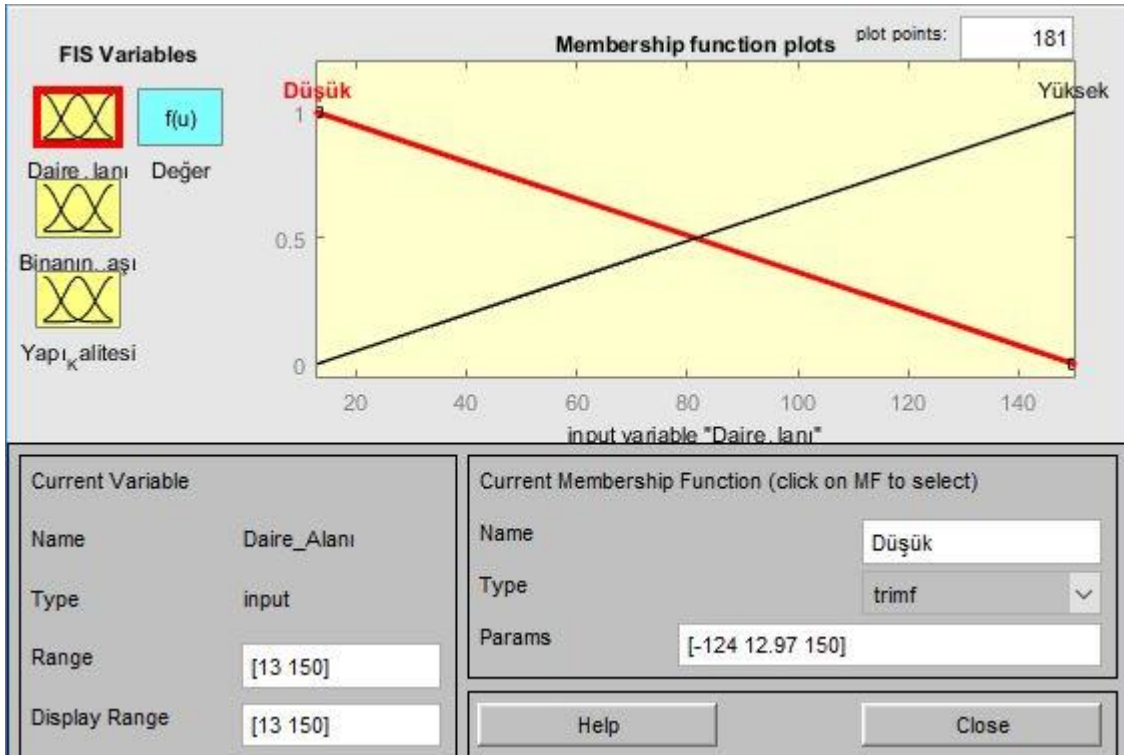
Buradan hareketle çalışma başlangıcındaki modele bulanık mantık modellemesindeki nitelik azaltma basamağı da uygulanmıştır. Uygulamada 9'un 1'li kombinasyonu sonucu toplam 9 adet model oluşmuştur. Modeller incelendiğinde 'Yapı Kalitesi' nin çıktığı en çok etkileyen değişken, diğer bir ifadeyle en düşük hata değerine sahip olduğu görülmüştür. 9'un 2'lisi sonucu toplam 36 adet model oluşmuş ve çıktığı en çok etkileyen değişkenler 'Daire Alanı' ve 'Yapı Kalitesi', 9'un 3'lü kombinasyonu sonucu toplam 84 adet model oluşmuş ve çıktığı en çok etkileyen değişkenler 'Daire Alanı', 'Yapı Yaşı' ve 'Yapı Kalitesi' olarak karşımıza çıkmıştır. Bu modelleme ile de elde edilen bağımsız değişkenlerle, stepwise regresyon modelinden elde edilen değişkenlerin aynı olduğu yani; 'Yapı kalitesi', 'Binanın yaşı' ve 'Daire alanı' olduğu Şekil 5' te de görülmektedir. Her iki modelde de aynı en az değişkenlerin elde edilmesi göz önünde bulundurularak, bu değişkenlere taşınmaz değerinin hesaplanması için yeniden bulanık mantık modellemesi ve sonuçların karşılaştırılması için çoklu regresyon modeli uygulanmıştır.



Şekil 5. Nitelik azaltma model sonucu (Results of quality reduction model)

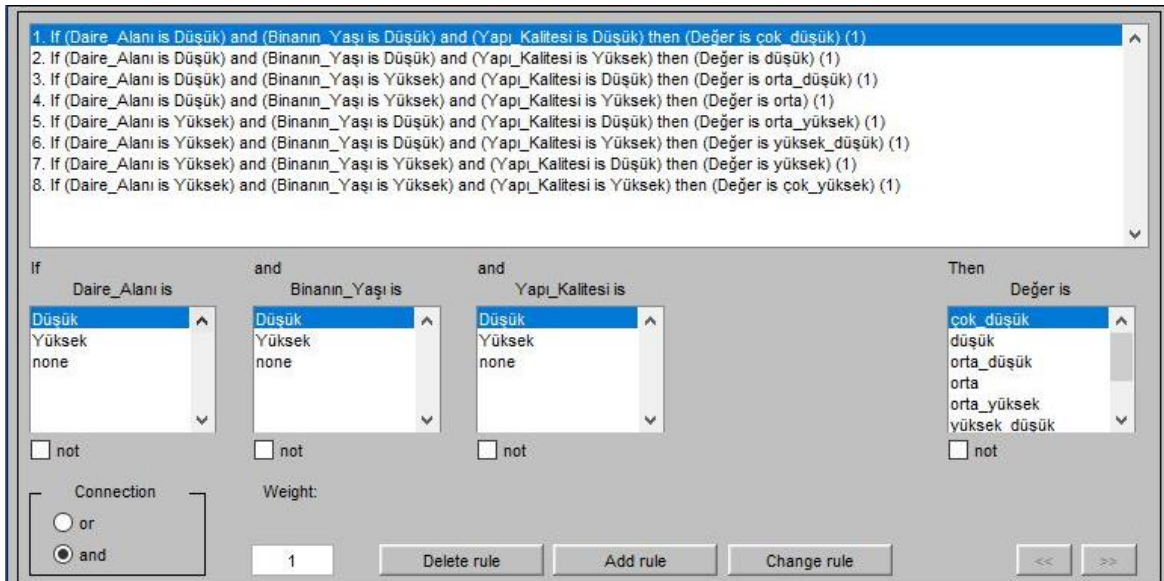
Uygulanan bulanık mantık modellemesinde taşınmaz değerinin sabit kaldığı ve bu değer belirlenmesinde eğitim için kullanılacak değişken sayısı toplam verinin % 75 i, test edilecek değişken sayısı da toplam verinin % 25 i olacak şekilde programa tanıtılmıştır. Modelde 3 girdi ve 1 çıktı veri seti oluşturulmuştur. Girdi değişkenleri 'Daire Alanı', 'Binanın Yaşı' ve 'Yapı Kalitesi' dir. Çıktı değişkeni olarak da değerleme raporlarından elde edilen ve satış değeri olarak kullanılan 'Değer' değişkeni kullanılmıştır. Bulanık mantık modelinin eğitimi için elde edilen toplam verinin % 75 'i kullanılırken, her bir değişkenin 'Değer' i belirlemesi için toplam verinin % 25' i test aşaması için kullanılmıştır. Bu modelde her bir üyelik fonksiyonu tipi ve modeli tek tek denenmiş ve eğitim datası 20 çevrim eğitilmiştir. Eğitim tamamlandıktan sonra her bir değişken için 2 adet 'Trimf' üyelik fonksiyonu ve melez öğrenme algoritması kullanılmıştır. Elde edilen veri setinden tahmin değerlerinin listelenmesi için de "Evalfis" komutu kullanılmıştır.

Daire alanı, binanın yaşı ve yapı kalitesi modellerinde giriş parametreleri için tek tek üyelik fonksiyonlarının şekilleri tanımlanmıştır. Şekil 6' da Daire alanı için oluşturulan giriş üyelik fonksiyonu model grafiği görülmektedir.



Şekil 6. Daire alanı için giriş üyelik fonksiyonu model grafiği (Input membership function pattern plot for flat area)

Kurulan model 8 kural içermektedir ve bu da 8 adet çıktı tipi oluşturmaktadır. Her bir çıktı kuralı için çok düşük, düşük, orta düşük, orta, orta yüksek, yüksek düşük, yüksek ve çok yüksek sözel değerleri Şekil 6' daki gibi sırayla tanımlanmıştır. Bütün bu sözel değer tanımlamaları sonucunda oluşan kural yapısı Şekil 7' deki gibi anlamlı hale gelmiştir. Örneğin ilk kuralın anlamı "Eğer 'Daire Alanı' düşük ve 'Binanın Yaşı' düşük 'Yapı Kalitesi' düşük ise 'Değer' çok düşüktür." anlamına gelmektedir. Sonuç olarak ilgili kural görünümü modelin çıktılarının sözel değerler kullanılarak bulanık eğer-ise kuralları ile sunulmasını sağlamıştır.



Şekil 7. Bulanık mantık modellemesinde kural görünümü (View of rules in fuzzy logic modeling)

Taşınmaz değer tahmini elde etmemize yardımcı olacak B değeri Tablo 3'te verilmiştir. B katsayısı ile 'Daire alanı', 'Binanın yaşı' ve 'Yapı kalitesi' nin değerlerini Eş.1' deki formülde yerine koyduğumuzda yaklaşık taşınmaz değeri sonucuna ulaşılmıştır. Buradan elde ettiğimiz yaklaşık taşınmaz değeri ile taşınmazın gerçek değeri arasındaki ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve karekök ortalama hata (RMSE) kriterleri de hesaplanarak Tablo 4' te



verilmiştir.

**Tablo 3.** Çoklu regresyon özeti (Model summary)

| Model         | B      | Standart Hata | Beta  |
|---------------|--------|---------------|-------|
| Sabit         | 27,878 | 15,460        |       |
| Daire Alanı   | 0,582  | 0,128         | 0,251 |
| Binanın Yaşı  | 0,647  | 0,307         | 0,109 |
| Yapı Kalitesi | 27,385 | 2,041         | 0,719 |

Çoklu regresyon modeli ile bulanık mantık modelinden elde edilen test sonuçlarının karşılaştırılmasında ise; MAPE ve RMSE kriterleri kullanılmıştır. Bulanık mantık modelinde MAPE değeri 0,072 bulunmaktadır. Bu değer 1,0 değerine (1-0,072) %93' lük doğruluk ile yakınken, çoklu regresyon modelinde 0,133 (1-0,133) %86' lık doğruluk ile yakınlık göstermektedir. Aynı zamanda da RMSE değerlerinde de bulanık mantık modeli diğer modele göre daha iyi performans göstermiş ve daha düşük değerlere ulaşmıştır. Analiz sonuçlarına bakıldığında amaç en az değişken kullanarak en yakın tahmin değerini elde etmek olduğundan, taşınmaz değerlendirme veri setinde yapı kalitesi, daire alanı ve binanın yaşının kullanılabilir olduğu, bu değişkenler arasında bir uyumun olduğu ve bu modelden oldukça iyi tahminler elde edilebileceği, dolayısı ile geliştirilen bu modelin yararlı ve güçlü bir model olduğu görülmüştür.

**Tablo 4.** Taşınmaz tahmin değeri elde etmede kullanılan modellerin hata karşılaştırması (Error comparison of models used to obtain the reale state value estimation)

| Model  | RMSE  | MAPE  |
|--------|-------|-------|
| Matlab | 12,36 | 0,072 |
| SPSS   | 23,63 | 0,133 |

## 5. Sonuç (Result)

Taşınmaz değerlemesinde değişken tespiti en önemli konuların başında gelmektedir. Taşınmaz değerini etkileyen değişkenler ülkeden ülkeye, bölgeden bölgeye ve kişiden kişiye değişmektedir. Objektif ve doğru sonuçlar elde etmek için değişkenlerin doğru belirlenip modelleme yapılması, hem zaman hem iş gücü hem de ekonomik kayıpların önüne geçecektir.

Taşınmaz değerlemede kullanılan değişkenler kamu sektöründen alınmaktadır. Bu kurumlardaki değişken girişleri; kurumun direk değişkeni üretmesi veya ikinci bir kurumdan alması ya da vatandaşın kuruma beyanıyla olmaktadır. Haliyle bu değişkenlerde hatalar olabilmektedir. Ayrıca bazı değişkenlerin hiç bulunmamasının yanında; mevcut değişkenlerin eksikliği, düzensizliği ve içeriklerinin teknik bakımdan standart olmayışı önemli ve büyük bir sorundur. Bundan dolayı bu bilgileri kullanılabilir hale getirmek zaman ve emek gerektirmektedir. Anlaşılabileceği üzere değerlemede en önemli problemlerden biri değere etki eden değişkenlerin net olmaması, diğeri klasik değerlendirme yöntemlerinin yetersiz kalması nedeniyle yöntem arayışının devam etmesidir. Teknolojinin gelişmesiyle değişkenlerin kendi başına ve aralarındaki ilişkilere göre ağırlıklı etkilerinin hesaplanabilmesi gibi olanaklar yeni yöntem arayışlarını devam ettirmektedir.

Bu çalışmada ise, taşınmaz değeri tespit edilmesinde gerekli değişkenler toplanırken yaşanan bürokratik işlemlerin zaman ve ekonomik açıdan kazanım sağlanması için bir model geliştirilmiştir. Model geliştirilirken karşılaşılan sorunların en başında elde edilen çok sayıda değişkenden, hangisinin veya hangilerinin dikkate alınması gerektiği gelmektedir. Yine bu çalışmamızda ulaşım, daire alanı, cephe durumu, otopark durumu, binanın yaşı, asansör, manzara, gelir seviyesi ve yapı kalitesi değişken olarak oluşturulmuştur. Bu değişkenleri aza indirebilmek için nitelik azaltma modeli kullanılmıştır. Geliştirilen bu modelde değişkenlerin en aza indirilerek gerçek değere en yakın tahmin değerine ulaşmak amaçlanmıştır. Bu bakımdan elde edilen veri setine uygulanan nitelik azaltma işlemi sonucunda değişkenler en aza indirilmiştir. Daha sonra bu değişkenlere bulanık mantık modeli tekrar uygulanmıştır. Bulanık mantık modeli ile elde edilen sonuçlar çoklu regresyon analizi ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına bakıldığında taşınmaz değerlemesinde en az değişken kullanılan bulanık mantık modelinin, gerçek değere en yakın tahmin değerlerini verdiği görülmüştür. Böylece bulanık mantık modeli ile en az değişken kullanılarak taşınmaz değerlemenin uygulanabilirliği ortaya konulmuştur.

## Teşekkür (Acknowledgement)

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü' nde Dr. Öğretim Üyesi Hanifi TOKGÖZ' ün danışmanlığında Yeşim Esen tarafından yürütülen "Kamulaştırma bedel tespitinde uygulanan kriterlerin irdelenmesi -İzmir örneği" başlıklı doktora tezinden üretilmiştir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

## Kaynaklar (References)

- Anand, M. S., Tyagi, B., 2012. Design and Implementation of Fuzzy Controller on FPGA, *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 4(10): 35-42.
- Borst, R.A., 1991. Artificial Neural Networks: The Next Modelling/Calibration Technology For The Assessment Community, *Property Tax Journal*, 10(1), 69-94.
- Bostancı, B., Bakır, Y. N., Doğan, U., Güngör, K. M., 2017. Research on GIS-Aided Housing Satisfaction Using Fuzzy Decision-Making Techniques", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(4): 1193-1207.
- Budzyński, T., and Wilkowski, W., 2006. Application of Artificial Neural Networks for Real Estate Valuation", *23 FIG Congress*, Munich, Germany, 8-13 October.
- Canaz Sevgen, S., ve Aliefendioğlu Tanrıvermiş, Y., 2020. Mass Appraisal With A Machine Learning Algorithm: Random Forest Regression, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 13(3), 301-311.
- Cechin, A., Souto, A., and González, M. A., 2000. Real Estatevalue at Porto Alegre City Using Artificial Neural networks, *Unisinos University*, Brazil, 237-242.
- Çakır, P. ve Sesli, F. A., 2013. Arsa Vasıflı Taşınmazların Değerine Etki Eden Faktörlerin ve Bu Faktörlerin Önem Sıralarının Belirlenmesi", *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(3): 1-16.
- Demirel, B., Yelek, A., Alağaç, H. M., Eren, T., 2018. Taşınmaz Değerleme Kriterlerinin Belirlenmesi ve Kriterlerin Önem Derecelerinin Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi ile Hesaplanması", *Kırıkkale University Journal of Social Sciences*, 8(2): 665-682.
- Derinpınar, M. A., ve Aydınöğlü, A. Ç. 2015. Bulanık Mantık ile Coğrafi Bilgi Teknolojilerini Kullanarak Taşınmaz Değerlemesi, *15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Dikmen, S. U., Saraç, E., 2012. Estimation of the Selling Price of Apartment Units Using Artificial Neural Networks", *Third International Conference on Construction in Developing Countries*, Bangkok, Thailand.
- Elmas, Ç., 2011. Yapay Zeka Uygulamaları, 2, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Erdem, N., 2017. Türkiye'de Taşınmaz Değerleme Alanında Yapılan Lisansüstü Tezlerinin İçerik Analizi", *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1): 112-126.
- Eren, E., Tüdeş, T. ve Yomraloğlu, T., 1999. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Raster Tekniği İle Kent Taşınmaz Değer Haritalarının Üretilmesi, *Yerel Yönetimlerde Kent Bilgi Sistemi Uygulamaları Sempozyumu*, Trabzon, 231-239.
- Es, H. A., Kalender, F. Y. Ve Hamzaçebi, C., 2014. Forecasting the net Energy Demand of Turkey by Artificial Neural Networks", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(3): 495-504.
- Esen, Y., 2014. Kamulaştırma Bedel Tespitinde Uygulanan Kriterlerin İrdelenmesi –İzmir Örneği, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Esperanza, M., and Gallego, J., 2004. Artificial Intelligence Applied to Real Estate Valuation an Example for the Appraisal of Madrid", *Catastro*, 255-265.
- García, N., Gámez, M., and Alfaro, E., 2008. ANN+GIS: An Automated System for Property Valuation", *Science Direct Neuro computing*, 71: 733-742
- Güner, N. Ve Çomak, E., 2014. Lise Öğrencilerinin Matematik Dersine Yönelik Tutumlarının Bulanık Mantık Yöntemi ile İncelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(5): 189-196.
- Hong, J., Choi, H., Kim, W., 2020. A House Price Valuation Based On The Random Forest Approach: The Mass Appraisal Of Residential Property In South Korea, *International Journal of Strategic Property Management*, 24(3), 140-152.
- Işıklı, M., 2019. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Taşınmaz Değerlemesi", *Yapı Bilgi Modelleme*, 1(1): 27-32.
- Jang, J. S. R., Sun, C.T. and Mizutani, E., 1996. Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence", *PrenticeHall*, A. B. D.
- Kayaalp, G. T., Çelik Güney, M. Ve Cebeci, Z., 2015. Çoklu Doğrusal Regresyon Modelinde Değişken Seçiminin Zootekniye Uygulanışı", *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30 (1): 1 – 8.
- Khalafallah, A., 2008. Neural Network Based Model For Predicting Housing market Performance, *Tsinghua Science and Technology*, 13: 325-328.
- Kim, G. H., An, S. H., and Kang, K. I., 2004. Comparison of Construction Costestimating Models Based on Regression Analysis, Neural Networks, and Case-Based Reasoning", *Building and Environment*, 39:1235-1242.
- Koçak, Ç., Yiğit, T., 2020. Teknoloji Bağımlılığının Bulanık Mantık ile Sınıflandırılması, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(5): 126 – 132.
- Köktürk, E., 2009. Taşınmaz Değerleme: Durum Saptaması ve Yönelimler, *Türkiye Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara
- Kuzugüdenli, E., 2018. Bulanık Mantık Yöntemiyle Kızılçamda Verimliliğin Modellenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3): 426 – 434.
- Nas Bulut, B., 2011. YSA ve DVM Yöntemleri ile Taşınmaz Değerlemesi İçin Bir Yaklaşım Geliştirme", *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Nişancı, R., 2005. Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Nominal Değerleme Yöntemine Dayalı Piksel Tabanlı Kentsel Taşınmaz Değer Haritalarının Üretilmesi, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özgür, B., Kara, R., 2020. Hastane Pnömatik Sistemlerinin Bulanık Mantıkla Modellenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(5): 25 – 34.

- Özkan, G., Yalpir, Ş., and Uygunol, O., 2007. An Investigation on the Price estimation of Residable Real Estates by Using Artificial Neural Network and Regression Methods", *XIIth Applied Stochastic Models and Data Analysis International Conference (ASMDA)*.
- Rossini, P., 1997. Application of Artificial Neural Networks to The Valuation of Residential Property, *3. Annual Pacific-Rim Real Estate Society Conference*, Palmerston North, New Zealand.
- Saraç, E., 2012. "Yapay Sinir Ağları Metodu ile gayrimenkul Değerleme", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şen, Z., 2009. Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme", Genişletilmiş 3. Baskı, Su Vakfı Yayınları.
- Tabar, M. E., ve Şişman, Y., 2020. Bulanık Mantık ile Arsa Değerleme Modelinin Oluşturulması. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 2(1), 18-24.
- Worzala, E., Lenk, M., and Silva, A., 1995. An Exploration of Neural Networks And It Sapplication to Real Estate Valuation", *The Journal of Real Estate Research*, 10(2): 185-201.
- Yalpir, Ş., 2007. Bulanık Mantık Metodolojisi İle Taşınmaz Değerleme Modelinin Geliştirilmesi ve Uygulaması: Konya Örneği, *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yalpir, Ş., Bünyan Ünel, F., 2016. Türkiye 'de ve Uluslararası Çalışmalarda Arsa Değerlemede Kullanılan Kriterlerin İrdelenmesi ve Faktör Analizi ile Azaltımı, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6, 303 – 322.
- Yomralıoğlu, T., Nişancı, R., Çete, M., Candaş, E., 2011. Dünya'da ve Türkiye'de Taşınmaz Değerlemesi, *Türkiye'de Sürdürülebilir Arazi Yönetimi Çalıştayı*, Okan Üniversitesi.
- Yücel, A., 2010. *Tedarikçi Seçimi Probleminde Bütünleşik Sinirsel Bulanık Mantık Yaklaşımı*, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zurada, J. M., Levitan, A. S., and Guan, J., 2006. Non-Conventional Approaches to Property Value Assessment", *Journa of Applied Business Research*, 22(3): 1-14.



## KIRMIZI PANCAR UNUNUN GLUTENSİZ BİSKÜVİ ÜRETİMİNDE KULLANILMASI

Hülya GÜL<sup>1</sup>, Fatma HAYIT<sup>\*2</sup>, Bedia ÖZER<sup>1</sup>, Sultan ACUN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta

<sup>2</sup>Yozgat Bozok Üniversitesi, Boğazlıyan Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Boğazlıyan, Yozgat

<sup>3</sup>Amasya Üniversitesi, Suluova Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Suluova, Amasya

### Anahtar Kelimeler

*Glutensiz Bisküvi,  
Kırmızı Pancar Tozu (KPT),  
Bisküvi Kalitesi.*

### Öz

Glutensiz unlu mamullerin teknolojik ve beslenme kalitesi genellikle düşüktür. Bu nedenle, formülasyonlarında kullanılmak üzere alternatif katkı maddeleri arayışı halen devam etmektedir. Bu çalışmada, kırmızı pancar tozu (KPT) çölyak diyetini çeşitlendirmek ve zenginleştirmek için glutensiz bisküvi üretiminde kullanılmıştır. Patates nişastası, mısır nişastası, nohut unu, mısır unu ve pirinç unundan hazırlanan glutensiz un formülasyonuna KPT yer değiştirme prensibine göre %5, 10 ve %15 oranlarında ilave edilmiştir. 100g glutensiz un formülasyonu ile üretilen bisküviler ise kontrol numunesi olarak kullanılmıştır. Kontrolle karşılaştırıldığında, KPT ilaveli glutensiz bisküvilerin daha yüksek diyet lif, kül ve protein içerdiği belirlenmiştir. % 15 oranında KPT eklendiğinde, diyet lifi içeriği % 300 artış göstermiştir. KPT'nin tüm ikame seviyelerindeki glutensiz bisküvi örnekleri, kontrol gruba benzer su aktivitesi, pH ve yağ özellikler göstermiştir. Yayılma oranı, kontrol numunelerine benzer bulunmakla birlikte KPT içeren glutensiz bisküvilerin sertliği önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Glutensiz bisküvilerin duyu değerlendirmesinin sonuçları incelendiğinde KPT ilavesinin bisküvilerde; görünüm, doku, tat, koku ve genel kabul edilebilirlikte önemli bir farka yol açmadığı belirlenmiştir, tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, kabul edilebilir kalitede ve yüksek beslenme özelliğine sahip glutensiz bisküvi üretimi için, formülasyonda %15 oranına kadar KPT kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

## USAGE OF RED BEET FLOUR FOR GLUTEN FREE BISCUIT PRODUCTION

### Keywords

*Gluten-Free Biscuit,  
Red Beet Powder (RBF),  
Biscuit Quality.*

### Abstract

Technological and nutritional qualities of gluten-free bakery products are generally low. Therefore, the search for alternative additives for use in their formulations is still ongoing. In this study, red beet flour (RBF) was used to produce gluten-free cookies (GFCs) in order to diversify and enrich celiac diet. The RBF was used to replace, 5, 10 and 15 g/100 g of gluten free flour formulations (GFF) which is prepared from potato starch, corn starch, chickpea flour, corn flour and rice flour. Cookie from 100 g/100 g GFF was served as a control sample. As compared to control, GFCs replaced with RBF were showed higher dietary fiber, ash and protein content. When RBF was added at 15%, the content of dietary fiber was increased by 300%. The spread ratio was found similar to control samples but hardness of RBF containing GFCs were found significantly higher. The results of the sensory evaluation of GFCs were showed that RBF addition was led to no significant difference in appearance, texture, taste, odor, flavor and overall acceptability and a slight decrease in purchasing intent of 15 %RBF replacement level as evaluated by trained panelists. When all the results are evaluated together, GFCs with acceptable quality and improved nutrition could be prepared from RBF.

### Alıntı / Cite

Gül, H., Hayıt, F., Özer B., Acun, S., (2021). Kırmızı Pancar Ununun Glutensiz Bisküvi Üretiminde Kullanılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1166-1173.

\*İlgili yazar / Corresponding author: fatma.hayit@bozok.edu.tr, 0 (354) 290 30 03

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process         |            |
|--|---|------------|
| F. Hayıt, 0000-0003-0097-406X            | <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 20.04.2021 |
| H. Gül, 0000-0002-6791-817X              | <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 24.08.2021 |
| B. Özer, 0000-0002-2741-8234             | <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 24.08.2021 |
| S. Acun, 0000-0003-1954-6102             | <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

## 1. Giriş (Introduction)

Gün geçtikçe farklılaşan tüketim alışkanlıklarına karşılık tahıl ve tahıl ürünleri dünya nüfusunun beslenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Ancak buğday, arpa, tritikale, çavdar, ve yulaf gibi tahıllar ile bu tahıllarla işlenmiş ürünler bağırsak rahatsızlıkları olan bazı insanlar üzerinde sorunlara yol açabilmektedir (Özkaya, 1999). Çölyak hastalığı, gluten içeren gıdaların vücuda alınmasıyla ortaya çıkan bağırsaklarda görülen bir hastalık olmasıyla birlikte (Gren ve Jabri, 2003; İşleroğlu vd., 2009; Villancacci vd., 2011), ayrıca kişilerde çavdar ve arpanın alkolde çözünen proteinleri ve buğday gluteninde bulunan gliadin fraksiyonunun ince bağırsağın mukozasında hasara neden olduğu bir sendrom (Fasano ve Catassi, 2001) olarak da tanımlanmaktadır. Gluten, unlu mamüllerin ana kalitesi ve yapısı üzerinde önemli olan özellikle buğdayda bulunan proteindir (Alvarenga vd., 2011). Buğday bu yüzden çölyak hastalığı için en alerjik proteine sahip olan tahıl ürünüdür (Nehra vd., 2013). İçerisinde gluten bulunduran buğday ve buğday ürünlerinin yanı sıra, gliadin homoloğu olan prolamini içeren, çavdar, tritikale ve arpa ürünleri de çölyak hastalarında aynı rahatsızlığın oluşmasına neden olabilmektedir (Türksoy ve Özkaya, 2006).

Glutensiz gıdalar çölyak hastaları yanında gluten duyarlılığından rahatsız bireyler ya da yaşam tarzıyla glutensiz diyeteye yönelen kişiler için de gereklidir (Masure vd., 2016). Ekonomik ve teknolojik gelişmelere koşut olarak, gıda ürünlerinin çeşitlendirilmesi ve niteliklerinin, damak zevki veya sağlığa uygunluk açısından, geliştirilip iyileştirilme çalışmaları da yoğunluk kazanmaktadır (Sanchez ve Osella, 2002).

Kırmızı pancar (*Beta vulgaris*), Amaranthaceae ailesinde yer alan çiçekli bir bitkidir. Kırmızı pancarın ana vatanı Avrupa'nın kuzeyi ve güneyidir. Ülkemizde ise en çok üretim ve tüketim Ege ve Marmara bölgelerinde olmaktadır (Tomar ve Yıldırım, 2019). Kırmızı pancar, önemli antioksidan özelliklere sahip betalain (Azeredo, 2009) adı verilen toz haline getirilerek, gıdalarda renklendirici (E 162) olarak kullanılan (Georgiev vd., 2010) renk pigmenti yönünden oldukça zengin bir üründür (Pavlov vd., 2002). Ayrıca B vitaminleri (B1, B2, B3, B6) ve özellikle folik asit açısından oldukça zengin bir kaynaktır (Maria vd., 2012) Çölyak hastaları için üretilen ürünler özellikle nişasta bazlı olduğu için bu ürünlerin diyet lif, mineral madde ve protein açısından besin değerleri yüksek gıda ürünleri ile zenginleştirilmesi gerekmektedir (Hayıt, 2018).

Bu çalışmada çölyak hastalarının diyetlerini çeşitlendirmek ve zenginleştirmek amacıyla kırmızı pancar unu katkılı glutensiz bisküvi üretimi amaçlanmıştır. Kırmızı pancar unu protein, diyet lif, vitamin ve mineralce zengin, fonksiyonel bir üründür. Bu ürün farklı oranlarda (%0, %5, %10 ve %15) yer değiştirme prensibine göre glutensiz bisküvi formülasyonuna ilave edilmiştir. Üretilen bisküvilerin bazı fiziksel, kimyasal, tekstürel ve duyu analizleri yapılarak bisküvi kalitesi incelenmiştir.

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

### 2.1. Materyal (Material)

Kırmızı pancar unu (KPU): Kurutulmuş öğütülüp toz formatına getirilmiş KPT Kurucum Gıda (Isparta)'dan temin edilmiştir. Glutensiz bisküvi üretiminde kullanılan bileşenlerden mısır ve pirinç unları, patates ve mısır nişastaları ile ksantam gam (İzmir) Demeter Kimya'dan satın alınmıştır. Pudra şekeri, bitkisel yağ (shortening) ve kabartma tozu (sodyum bikarbonat) Uğur Gıda (Isparta)'dan, mısır şurubu (HFCS %42) Sunar Mısır Entegre Tesisleri San. ve Tic. A.Ş., (Adana) temin edilmiştir. Çalışmada Süleyman Demirel Üniversitesi Tahıl İşleme Teknolojisi Laboratuvarı çeşme suyu kullanılmıştır. Formülasyonda kullanılan tuz TS 933, TSE, 1986, Yemeklik Tuz standardına uygun olacak şekilde piyasadan temin edilmiştir.

### 2.2. Yöntem (Method)

#### 2.2.1. Deneme planı (Trial plan)

Glutensiz bisküvi üretiminde KPU %0, %5, %10 ve %15 oranlarında (ilave edilecek miktarlar ön denemeler ile belirlenmiştir) bisküvi formülasyonuna ilave edilmiştir. Pancar tozu ilave edilmeden üretilen bisküvi örnekleri kontrol grubu bisküviler olarak kullanılmıştır. Glutensiz bisküvi üretiminde kullanılan glutensiz un karışımı Hayıt ve Gül (2017) tarafından yapılan bir çalışmada optimizasyon %7 mısır nişastası, %8 mısır unu, %40 pirinç unu ve

%45 patates nişastası olarak belirlenmiş ve, aynı formülasyon bu çalışmada da glutensiz un karışımı olarak kullanılmıştır. Tüm denemeler 3 tekrerrür olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.2. Bisküvi üretimi (Biscuit production)

Glutensiz bisküvi üretimi için AACC Metot 10-50.05 kullanılmıştır. AACC Metot 10-50.05'e göre bisküvi yapımında kullanılan formülasyon Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Bisküvi üretiminde kullanılan bisküvi formülasyonu (Biscuit formulation used in biscuit production)

| Bileşen               | Miktar (gram) |
|-----------------------|---------------|
| Shortening            | 64.0          |
| Pudra şekeri          | 130.0         |
| Tuz                   | 2.1           |
| Sodyum bikarbonat     | 2.5           |
| Dekstroz Çözültüsü    | 33            |
| Destile Su            | 16.0          |
| Glutensiz un karışımı | 225           |

Hayıt ve Gül (2017) tarafından optimizasyon çalışması ile belirlenmiş glutensiz un karışımına yer değiştirme prensibine göre %0, %5, %10 ve %15 oranlarında deneme planında belirtilen KPU gruplarının her biri ayrı ayrı ilave edilerek un karışımı hazırlanmıştır. Bisküvi hamurlarının yoğurma işlemi mikserde (Hobart mikser N50, Almanya) AACC Metot 10-50.05'e göre yapılmıştır. Yoğurma işlemi tamamlanan hamurlar çapı 5.7-7.0 mm arasında olan tahta oklava ile 5 mm kalınlığında olacak şekilde inceltilmiş ve iç çapı 60 mm olan bisküvi kesme aparatı ile yuvarlak bir şekilde kesilmiştir. Bisküviler 205° C'de konveksiyonel fırında (Fimak FSET4, Türkiye) 10 dakika süreyle pişirilmiştir. (Pişirme işlemi sırasında uygulanan sıcaklık ve süre normları yapılan ön denemeler sonucunda belirlenmiştir).

### 2.2.3. Pancar tozunda yapılan analizler (Analyses of beet powder)

Kurutulmuş KPU örneklerinde; nem (AACC Method, 44-01.01, 2000), kül (AACC Method, 08-01.01, 2000), toplam diyet lif (AACC Method, 32-07.01, 2000), renk değerinin belirlenmesi (Larrauri vd., 1997), soxhalet yağ tayin cihazı ile yağ tayini (AOAC, 1990), Ph ölçümü (Anonima, 1991), su aktivitesi ölçümü (Novasina, Lab Touch-aw, Lanchen, İsviçre) analizleri yapılmıştır.

### 2.2.4 Bisküvilerde yapılan analizler (Analyses of biscuits)

#### 2.2.4.1 Fiziksel analizler (Physical analyses)

Bisküvilerin fiziksel kalite parametrelerini belirlemek amacıyla (her denemede en az 6 bisküvi örneği analize alınmıştır) üretilen bisküvilerin çap ve kalınlık değerleri dijital mikrometre kullanılarak (her örnekte en az 4 bölgeden) ölçülmüştür. Yayılma oranı bisküvi çapının kalınlığına oranlanması ile hesaplanmıştır (AACC Method, 10-50D).

#### 2.2.4.2 Kimyasal analizler (Chemical analyses)

Bisküvilerin kimyasal kalite özelliklerini belirlemek amacıyla bisküvilerde, nem (AACC Method, 44-01.01, 2000), kül (AACC Method, 08-01.01, 2000), protein (AACC Method, 46-30.01, 2000), yağ (AOAC, 1990), toplam diyet lif (AACC Method, 32-07.01, 2000), pH ölçümü (Anonim, 1991), su aktivitesi ölçümü (Novasina, Lab Touch-aw, Lachen, İsviçre) analizleri yapılmıştır.

#### 2.2.4.3 Tekstürel analiz (Textural analyses)

Tekstür analiz cihazında (TA-XT2, Stable Micro Systems, Surrey, İngiltere) üç noktalı bükme probu ve 30 kg'lık yük hücresi kullanılarak glutensiz bisküvi örneklerinin sertlik değerleri pişirme işleminden 6 saat sonra belirlenmiştir (her denemede 6 bisküvi örneği alınmıştır). Tekstür analiz cihazında test parametreleri; ön test hızı: 1.0 mm/s, test hızı: 3.0 mm/s, son test hızı: 10 mm/s, uzaklık 5.0 mm ve veri alma hızı 500 pps. olarak ayarlanmıştır.

#### 2.2.4.4 Renk analizi (Color analysis)

Renk ölçümü Konica Minolta (Minolta CR-410, Minolta Co Ltd., Tokyo, Japonya) renk ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Renk skalası; L değeri [(0)Siyah - (100) Beyaz], a değeri [(+) kırmızı, (-) yeşil] ve b değeri [(+) sarı, (-) mavi] olarak kullanılmıştır.

#### 2.2.4.5 Duyusal analiz (Sensory analysis)

Bisküviler 15 kişilik eğitimli bir panelist grubu tarafından değerlendirilmiştir. Duyusal değerlendirmeye başlamadan önce panelistlere bisküvilerin duyusal değerlendirme kriterleri hakkında bilgi verilmiş ve ön denemeler yapılmıştır. Rastgele numaralandırılan numuneler analize katılan panelistlere ayrı ayrı sunulmuş, bir örnekten diğerine geçerken panelistlere soğuk su verilmiştir. Bisküviler yüzey görünüm özellikleri (parlaklık-matlık, renk, yüzey düzgünlüğü), kesit özellikleri (kesit yapısı: sıkı-compakt yapı, gözenek dağılımı, kabuk inceliği, kesit rengi: iç renk, kabuk iç renk farkı), tadım özellikleri ve satın alınabilirlik açısından duyusal değerlendirme metodu kullanılarak (Lawless and Heymann, 2010) değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Duyusal kalite kriterleri 1"den 5"e kadar puanlama sistemine göre yapılmıştır (5 puan: çok iyi, 4 puan: iyi, 3 puan: kabul edilebilir, 2 puan: yeterli değil, 1 puan: kötü).

#### 2.2.4.6 İstatistiksel analiz (Statistical analysis)

Denemelerde farklı oranlarda KPT ilave edilerek üretilen bisküvilerin ölçülen tüm özelliklerinden elde edilen verilerin ANOVA ve Duncan testleri yapılmıştır. Analizler için SPSS 22.0 (Versiyon 22) istatistik paket programından faydalanılmış ve analiz tesadüf parsellerinde 3 faktörlü deneme desenine göre yapılmıştır.

### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma (Experimental and Discussion)

#### 3.1. Glutensiz unların kimyasal ve renk özellikleri (Chemical and color properties of gluten-free flours)

Glutensiz unların kimyasal ve renk özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde KPT'nin yüksek oranda kül ve diyet lif içerdiği görülmektedir. Tablo 2' de verilen bilgilere paralel olarak mısır nişastası, patates nişastası, pirinç unu ve mısır unu için farklı çalışma sonuçlarıyla paralellik görülmektedir (Wu ve Miano, 2008; Yarpuz, 2011; Ali vd., 2014; Hatipoğlu, 2016; Turkut vd., 2016; Giuberti vd., 2018).

**Tablo 2.** Glutensiz unların kimyasal ve renk özellikleri (Chemical and color properties of gluten-free flours)

| ORAN                | Nem (%)           | Kül (%)           | Diyet lif (%)     | L                  | a                  | b                 | aw                | pH                |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Kırmızı pancar tozu | 5.11 <sup>c</sup> | 7.12 <sup>a</sup> | 63.2 <sup>a</sup> | 45.68 <sup>c</sup> | 14.26 <sup>a</sup> | 6.82 <sup>b</sup> | 0.45 <sup>a</sup> | 5.5 <sup>c</sup>  |
| Mısır nişastası     | 8.34 <sup>b</sup> | 0.69 <sup>c</sup> | 0.47 <sup>e</sup> | 95.34 <sup>a</sup> | -0.95 <sup>c</sup> | 5.20 <sup>c</sup> | 0.48 <sup>a</sup> | 7.90 <sup>b</sup> |
| Patates nişastası   | 8.3 <sup>b</sup>  | 0.79 <sup>c</sup> | 0.69 <sup>d</sup> | 93.34 <sup>a</sup> | -0.10 <sup>c</sup> | 6.53 <sup>b</sup> | 0.42 <sup>a</sup> | 7.90 <sup>b</sup> |
| Pirinç unu          | 9.29 <sup>a</sup> | 0.47 <sup>d</sup> | 4.88 <sup>c</sup> | 89.69 <sup>b</sup> | 0.25 <sup>b</sup>  | 6.53 <sup>b</sup> | 0.43 <sup>a</sup> | 8.10 <sup>a</sup> |
| Mısır unu           | 9.1 <sup>a</sup>  | 1.12 <sup>b</sup> | 9.16 <sup>b</sup> | 82.80 <sup>b</sup> | 0.48 <sup>b</sup>  | 23.3 <sup>a</sup> | 0.46 <sup>a</sup> | 7.90 <sup>b</sup> |

\*: Aynı sütunda farklı harfler arasındaki farklılıklar önemlidir (P<0.01).

Tablo 2'de KPT'nin diğer glutensiz un formülasyonunda kullanılacak bileşenlere göre L değerinin (parlaklık) daha düşük olduğu yani daha koyu olduğu, a ve b değerlerinin ise daha yüksek olduğu görülmektedir. Genel olarak daha koyu-kırmızı renkli olduğu görülmektedir.

#### 3.2. Glutensiz bisküvilerin fiziksel özellikleri (Physical properties of gluten free biscuits)

Denemede üretilen bisküvilerin çap ve kalınlık değerleri ve yayılma oranı ölçüm sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Çap, kalınlık ve yayılma oranı değerlerinden çapı geniş, yayılması yüksek ve kalınlığı düşük bisküviler bisküvi kalitesi açısından tercih edilmektedir (Kissell vd.,1971). Yapılan normal bisküvi çalışmalarında çap değerinin 51.20-81.79 mm; kalınlık değerinin 3.90-13.55 mm; yayılma oranının 6.03-11.80 aralığında olduğu görülmektedir (Gürsu vd., 1997; Tüksoy, 2011; Beğen, 2012; Demir, 2019). Glutensiz bisküvilerin yayılma oranı ise 17.35-52.43; çapları 51.08-58.15 mm; kalınlık 2.92-9.80 mm aralığında olduğu bildirilmiştir (Doğan, 2016; Tüter, 2019).

**Tablo 3.** Glutensiz bisküvilerin fiziksel özellikleri (Physical properties of gluten free biscuits)

| ORAN    | Çap (mm)            | Kalınlık (mm)      | Yayıma Oranı (Çap/Kalınlık) |
|---------|---------------------|--------------------|-----------------------------|
| Kontrol | 66.94 <sup>a*</sup> | 10.93 <sup>a</sup> | 23.48 <sup>a</sup>          |
| 5%      | 66.42 <sup>a</sup>  | 10.50 <sup>a</sup> | 22.99 <sup>a</sup>          |
| 10%     | 65.26 <sup>ab</sup> | 10.69 <sup>a</sup> | 22.54 <sup>a</sup>          |
| 15%     | 63.19 <sup>b</sup>  | 10.30 <sup>a</sup> | 23.04 <sup>a</sup>          |

\* : Aynı sütunda farklı harfler arasındaki farklılıklar önemlidir (P<0.01)

Çap ve kalınlık değerleri literatür çalışmalarına benzerlik gösterirken; yayılma oranı glutensiz bisküvi örneklerinde, normal buğday unu ile yapılan bisküvi örneklerine göre yüksek çıkmıştır. Farklı çalışmalarda formülasyona lifli bir ürün ilavesinin yayılma oranını azalttığı (Türksoy ve Özkaya, 2011; Öztürk ve Özboy, 2002); buğday ve pirinç lifi ilavesi ile kalınlığın azaldığı, arpa ve yulaf lifi ilavesiyle arttığı bildirilmiştir (Sudha vd., 2007). Lif ilavesinin fiziksel özellik üzerinde, farklı çalışmalarda farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu çalışmada ise KPT ilavesinin kalınlık ve yayılma oranı üzerinde istatistiksel bir etkisi olmazken, bisküvi çaplarının azalmasına neden olmuştur.

### 3.3. Glutensiz bisküvilerin kimyasal özellikleri (Chemical properties of gluten free biscuits)

Denemede üretilen bisküvilerin nem, aw, pH, diyetlif, yağ, protein ve kül değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'e göre en düşük nem %5 KPT ilaveli bisküvi örneğinde ölçülürken, en yüksek nem miktarı %15 oranında KPT ilave edilen örnekte gözlemlenmiştir. KPT'nin oranı arttıkça su aktivitesinin artmasına bağlı olarak nem değerlerinin de kontrol grubu bisküvi örneklerine göre artış gösterdiği tespit edilmiştir. Su aktivitesi, pH, yağ ve protein değerleri incelendiğinde glutensiz un karışımına KPT ilavesinin bu değerler üzerinde istatistiksel olarak etkili olmadığı görülmüştür. KPT yüksek oranda diyet lif ve kül içeriğine sahip olduğu için glutensiz un formülasyonuna eklenmesi ile birlikte deneme ürünlerin diyet lif ve kül içeriklerini ilave yüzdelerine paralel arttırmıştır. %15 oranında KPT kullanımı ile glutensiz bisküvilerin diyet lif içeriği kontrol grubuna göre %192 oranında, kül içeriği ise %121 oranında artmıştır. Benzer olarak yapılan bir çalışmada KPT ilaveli kek örneklerinde protein, diyet lif ve kül içeriklerinin KPT kullanımına bağlı olarak arttığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada kek örneklerinde yağ içeriğinin de %23.5'den %29.4'e çıktığı belirtilmiştir (Pinki ve Awasthi, 2014). Aksi olarak bu çalışmada KPT ilavesinin örneklerin yağ değeri üzerinde istatistiksel bir etkisi olmadığı görülmektedir. Yine benzer bir sonuç olarak; Lisiecka ve Wójtowicz, (2021) tarafından yapılan çalışmada ise; kızartılmış atıştırmalık ürünlerde taze kırmızı pancar küspesi kullanımı ile ürünlerin protein, kül ve toplam diyet lif içeriklerinin arttığı bildirilmiştir.

**Tablo 4.** Glutensiz bisküvilerin kimyasal özellikleri (Chemical properties of gluten free biscuits)

| Oran    | Nem (%)            | aw                | pH                | Diyet lif (%)     | Yağ (%)            | Protein (%)        | Kül (%)           |
|---------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Kontrol | 7.27 <sup>b*</sup> | 0.42 <sup>a</sup> | 7.21 <sup>a</sup> | 2.13 <sup>d</sup> | 15.49 <sup>a</sup> | 9.50 <sup>b</sup>  | 0.82 <sup>d</sup> |
| %5      | 6.62 <sup>c</sup>  | 0.36 <sup>a</sup> | 7.10 <sup>a</sup> | 3.84 <sup>c</sup> | 15.27 <sup>a</sup> | 11.12 <sup>b</sup> | 1.09 <sup>c</sup> |
| %10     | 9.02 <sup>a</sup>  | 0.40 <sup>a</sup> | 7.25 <sup>a</sup> | 5.06 <sup>b</sup> | 15.28 <sup>a</sup> | 11.25 <sup>b</sup> | 1.45 <sup>b</sup> |
| %15     | 9.84 <sup>a</sup>  | 0.40 <sup>a</sup> | 7.20 <sup>a</sup> | 6.23 <sup>a</sup> | 15.30 <sup>a</sup> | 11.20 <sup>b</sup> | 1.82 <sup>a</sup> |

\* : Aynı sütunda farklı harfler arasındaki farklılıklar önemlidir (P<0.01)

KPT kullanımı ile örneklerin diyet lif içeriği ile birlikte kül içeriğide artmıştır benzer olarak Levent (2005) tarafından yapılan çalışmada diyet lif içeriğinin artmasına paralel olarak kül miktarının da arttığı bildirilmiştir.

### 3.4. Glutensiz bisküvilerin tekstürel özellikleri (Textural properties of gluten free biscuits)

Denemede üretilen bisküvilerin sertlik ve kırılmalık değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Tabloya göre glutensiz un karışımına KPT ilave edilmesi sertlik değerinin artmasına sebep olmuştur. Benzer olarak şeker pancarı lifi kullanılan bir çalışmada şeker pancarı lifi ile bisküvilerin sertlik değerinin arttığı bildirilmiştir (Özboy ve Köksel, 1997). Kırılmalık değeri için KPT'nin glutensiz un formülasyonuna eklenmesi istatistiksel bir fark oluşturmamıştır.



**Tablo 5.** Glutensiz bisküvilerin tekstürel özellikleri (Textural properties of gluten free biscuits)

| Oran    | Sertlik (g)           | Kırılgenlik        |
|---------|-----------------------|--------------------|
| Kontrol | 5694.02 <sup>b*</sup> | 41.45 <sup>a</sup> |
| 5%      | 6198.23 <sup>a</sup>  | 39.50 <sup>b</sup> |
| 10%     | 6928.49 <sup>a</sup>  | 40.91 <sup>a</sup> |
| 15%     | 6381.35 <sup>a</sup>  | 41.03 <sup>a</sup> |

\* : Aynı sütunda farklı harfler arasındaki farklılıklar önemlidir (P&lt;0.01)

İncelenen literatür çalışmalarında bisküvilerin sertlik değerinin 318.46 - 8498.89 (g) aralığında; kırılgenlik değerinin ise 4.90-5.25 aralığında olduğu görülmektedir (Taş, 2011; Doğan, 2016; Hayıt ve Gül, 2019; Tüter, 2019). Literatürde incelenen tekstür değerlerinin çok geniş aralıkta olmasının sebebinin formülasyonda kullanılan maddelerin ve kullanılan miktarlarının tüm çalışmalarda farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sertlik değeri kullanılan su miktarından dahi etkilenen önemli bir kalite parametresidir (Martinez vd., 2018). Yapılan çalışmalarda sertlik değerinin oldukça farklı çıkması bu özelliğinden dolayı beklenen bir durumdur.

### 3.5. Glutensiz bisküvilerin duyuşal özellikleri (Sensory properties of gluten-free biscuits)

Denemede üretilen bisküvilerin duyuşal özellikleri Tablo 6'de verilmiştir. Koku, ağızda dağılım, kuru kumlu olma, gevreklik, yüzey rengi, yüzey düzgünlüğü, yüzey parlaklığı, kabul edilebilirlik, sertlik, satın alınabilirlik parametreleri için kontrol grupla KPT eklenen örnekler arasında istatistiksel bir fark olmadığı görülmüştür.

**Tablo 6.** Glutensiz bisküvilerin duyuşal özellikleri (Sensory properties of gluten-free biscuits)

| Bisküvi örneği | Koku               | Aroma             | Tat               | Ağızda dağılım    | Kuru kumlu olma   | Gevreklik         | Yüzey rengi       | Yüzey düzgünlüğü  | Yüzey parlaklığı  | Kabul edilebilirlik | Sertlik           | Satın alınabilirlik |
|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| Kontrol        | 4.33 <sup>a*</sup> | 4.66 <sup>a</sup> | 4.66 <sup>a</sup> | 4.33 <sup>a</sup> | 4.33 <sup>a</sup> | 4.33 <sup>a</sup> | 4.33 <sup>a</sup> | 4.33 <sup>a</sup> | 5.00 <sup>a</sup> | 5.00 <sup>a</sup>   | 4.83 <sup>a</sup> | 4.33 <sup>a</sup>   |
| 5%             | 4.00 <sup>a</sup>  | 3.83 <sup>b</sup> | 3.83 <sup>b</sup> | 3.66 <sup>a</sup> | 3.66 <sup>a</sup> | 3.66 <sup>a</sup> | 3.83 <sup>a</sup> | 3.83 <sup>a</sup> | 4.33 <sup>a</sup> | 5.00 <sup>a</sup>   | 3.83 <sup>a</sup> | 4.50 <sup>a</sup>   |
| 10%            | 3.88 <sup>a</sup>  | 3.50 <sup>b</sup> | 3.66 <sup>b</sup> | 4.00 <sup>a</sup> | 3.66 <sup>a</sup> | 3.50 <sup>a</sup> | 4.00 <sup>a</sup> | 3.66 <sup>a</sup> | 4.16 <sup>a</sup> | 5.00 <sup>a</sup>   | 4.00 <sup>a</sup> | 4.33 <sup>a</sup>   |
| 15%            | 4.00 <sup>a</sup>  | 4.50 <sup>a</sup> | 4.50 <sup>a</sup> | 3.83 <sup>a</sup> | 3.83 <sup>a</sup> | 3.83 <sup>a</sup> | 4.50 <sup>a</sup> | 3.50 <sup>a</sup> | 4.00 <sup>a</sup> | 5.00 <sup>a</sup>   | 4.33 <sup>a</sup> | 4.00 <sup>a</sup>   |

\* : Aynı sütunda farklı harfler arasındaki farklılıklar önemlidir (P&lt;0.01)

Satın alınabilirlik için glutensiz bisküvilere %15'e kadar KPT ilave edilebileceği belirlenmiştir. Benzer olarak %20 oranında KPT'nin keke ilave edildiği bir çalışmada panelistlerin bu ürünü duyuşal olarak çok beğendiği bildirilmiştir (Pinki ve Awasthi, 2014). Formülasyona KPT ilavesi ile ürünün diyet lif içeriği artırılmış bununla beraber duyuşal değerlendirilmesinde olumsuzluk olmamıştır. Literatürde benzer çalışmalar da bulunmaktadır. Chaidet, (2007) tarafından havuç lifi kullanılarak üretilen bisküvilerin duyuşal değerlendirilmesinde kontrol grup örneklerine göre kabul edilebilirlik değerinde bir fark belirlenmemiştir. Yine başka bir çalışmada; balkabağı lifi kullanılarak üretilen noodlelarda %5 e kadar lif ilavesinin duyuşal değerlendirme sonucunda fark oluşturmadığı bildirilmiştir (Lee vd., 2002). Formülasyona lif içeriğine sahip farklı bir ürün ilavesinin duyuşal açıdan sorun oluşturmadığı görülmektedir.

### 4. Sonuç (Result)

Çalışmada glutensiz bisküvilerinin besin değeri ve kalitesinin artırılması için formülasyonda farklı oranlarda (%5, %10 ve %15) KPT kullanılarak üretimler yapılmıştır. KPT ilavesi ile glutensiz bisküvilerin fiziksel ve tekstürel özelliklerinde KPT'nin kullanımına bağlı herhangi bir olumsuzluk olmadığı görülmüştür. Kimyasal özellikleri incelendiğinde glutensiz bisküvilerin besinsel özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir. Duyuşal özellikleri incelendiğinde ise panelistler tarafından kabul gördüğü belirlenmiştir. Çalışma sonucunda KPT'nun glutensiz un formülasyonunda %15 oranına kadar kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma TÜBİTAK\_BİDEB\_ 2209-B - Sanayiye Yönelik Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz. Ayrıca bu çalışma uluslararası ICAFOF-2018 (International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies) konferansında sözlü sunum olarak sunulmuş ve bildiri kitapçığında özet bildiri olarak basılmıştır.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

## Kaynaklar (References)

- AACC, 2000. International. Approved Methods of Analysis, 11th Ed. AACC International, St. Paul, MN, U.S.A.
- Ali, A., Wani, T.A., Wani, A.I., Masoodi, F.A., 2014. Comparative Study of the Physico-chemical Properties of Rice and Corn Starches Grown in Indian Temperate Climate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15, 75-82.
- Alvarenga, N., Lion F., Belga, E., Motrena, P., Guerreiro, S., Carvalho, J., Canada, H., 2011. Characterization of Gluten-free Bread Prepared From Maize, Rice and Tapioca Flours Using the Hydrocolloid Seaweed Agar-Agar. *Recent Research in Science and Technology*, 3, 64-68.
- Azeredo, 2009. H.M.C. Azeredo Betalains: Properties, sources, applications and stability - A review, *International Journal of Science & Technology*, 44 (2009), pp. 2365-2376.
- Beğen, F., 2012. Yüksek lif içerikli bisküvi üretiminde lüpen (*Lupinus albus* L.) kepeği kullanımı üzerine bir araştırma. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Chaidet, T., 2007. The study of extraction of dietary fiber and carotenoids from carrot pomace, Master Thesis (unpublished), Food and Nutrition for Development, Faculty Graduate Studies, Mahidol University.
- Demir, K.M., 2019. Bisküvi Üretiminde Tam Buğday Unu ve Paçallarının Kullanımı. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 21, 100-107.
- Doğan, H., 2016. Glutenli Ve Glutensiz Bisküvi Üretiminde Fonksiyonel Bir Bileşen Olarak Uşkun Kullanımı. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*
- Fasano, A., Catassi C, 2001. Current Approaches to Diagnosis and Treatment of Celiac Disease: an Evolving Spectrum. *Gastroenterology*, 120, 36-51.
- Georgiev, V., Weber, J., Kneschke, E., Denev, P.N., Bley, T., Pavlov, A. I., 2010. Antioxidant Activity and Phenolic Content of Betalain Extracts from Intact Plants and Hairy Root Cultures of the Red Beetroot *Beta vulgaris* cv. Detroit Dark Red. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65, 105-111.
- Giuberti, G., Rocchetti, G., Sigolo, S., Fortunati, P., Lucini, L., Gallo, A., 2018. Exploitation of Alfalfa Seed (*Medicago sativa* L.) Flour into Gluten-Free Rice Cookies: Nutritional, Antioxidant and Quality Characteristics. *Food Chemistry*, 239, 679-687.
- Gren, P., Jabri, B., 2003. Coeliac Disease. *Lancet*, 362, 383-391.
- Gürsu, Ö., Ercan, R., Denli, E., 1997. Soya unu katkısının bisküvi kalitesine ve raf ömrüne etkisi. *Gıda*, 22, 95-103.
- Hatipoğlu, S., 2016. Patates Unu ve Gam İlavesinin Glutensiz Ekmek Kalitesi Üzerine Etkileri. *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi*.
- Hayit, F., 2018. Çölyak Hastalarına Yönelik Kısmi Pişirilerek Dondurma Yöntemi İle Glutensiz Ekmek Üretimi Ve Kalitesinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.
- Hayit, F., Gül, H., 2018. Optimization of Gluten Free Cookie Flour by Using Response Surface Methodology, 1st International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, Antalya, Türkiye, 11-13 Nisan 2018, pp.81-81.
- İşleroğlu, H., Dirim, S., Ertekin, F., 2009. Gluten İçermeyen, Hububat Esaslı Alternatif Ürün Formülasyonları ve Üretim Teknolojileri. *Gıda*, 34, 29-36.
- Kissell, L.T., Pomeranz, Y., Yamazaki, W.T., 1971. Effects of flour lipids on cookie quality. *Cereal Chemistry*, 48, 655-662.
- Lawless, H.T., Heymann, H., 2010. Sensory evaluation of food principles and practises, descriptive analysis (2nd ed.). Gaithersburg: Chapman & Hall/Aspen Publishers, Inc.
- Lee, C., Cho, J.K., Lee, S.J., Koh, W., Park, W., Kim, C.H., 2002. Enhancing  $\beta$ carotene content in Asian noodles by adding pumpkin powder. *Cereal Chemistry*, 79 (4), 593-595.
- Lisiecka, K., Wójtowicz, A., 2021. Effect Of Fresh Beetroot Application And Processing Conditions On Some Quality Features Of New Type Of Potato-Based Snacks. *Food Science and Technology*, 0023-6438(21)00072-4.
- Maria, E., Latorre, P.R., Bonelli, A.M., Rojas, L.N., Gerschenson, 2012. Microwave inactivation of red beet (*Beta vulgaris* L. var. conditiva) peroxidase and polyphenoloxidase and the effect of radiation on vegetable tissue quality. *Journal of Food Engineering*. 109:676- 684.
- Martinez, M.M., Román, L., Gomez, M., 2018. Implications of Hydration Depletion in the in Vitro Starch Digestibility of White Bread Crumb and Crust. *Food Chemistry*, 239, 295-303.
- Masure, H.G., Fierens, E., Delcour, J.A., 2016. Current and Forward Looking Experimental Approaches in Gluten-Free Bread Making Research. *Journal of Cereal Science*, 67, 92-111.
- Nehra, V., Marietta, E., Murray, J., 2013. Celiac Disease. *Encyclopedia of Human Nutrition*, 298-306.
- Özboy, Ö., Köksel, H., 1997. Besinsel liflerin bisküvi üretiminde kullanımı. 2. Un, Bulgur ve Bisküvi Sempozyumu, pp 183-193, 28-30 Mayıs, Karaman.
- Özkaya, B., 1999. Tahılların neden olduğu alerjiler ve önemi-2, *Food Hi- TECH*, Mar. 82-88.
- Öztürk, S., Özboy, O., Cavidoğlu, İ., Köksel, H., 2002. Effects of brewers spent grain on quality and dietary fiber content cookies, *J. Inst. of Brew.*, 108.1, 23-27.
- Pavlov, A., Kovatcheva, P., Georgiev, V., Koleva, I., Ilieva, M., 2002. Biosynthesis and Radical Scavenging Activity of Betalains During The Cultivation of Red Beet (*Beta vulgaris*) Hairy Root Cultures. *Z. Naturforsch*, 57, 640-644.
- Pinki, B., Pratima, A., 2014. Sensory and nutritional evaluation of value added cakes formulated by incorporating beetroot powder. *International Journal of Food and Nutritional Sciences* 3(6):145-148.
- Sanchez, H. D., Osella, C.A., Torre, M.A., 2002 Optimization of gluten free bread prepared from corn starch, rice flour, and cassava starch, *Jouynal of FoofScience*, 67-1.
- Sudha, M.L., Vetrmani, R., Leelavathi, K., 2007. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chem.*100 (2007) 1365-1370.

- Taş, E., 2011. Bisküvi üretiminde bazı kabartıcı kombinasyonlarının bisküvinin kalitatif özelliklerine etkisi üzerine bir araştırma. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Konya, Türkiye, 79 s.
- Tomar, O., Yıldırım, G., 2019. Kırmızı Pancarın Antimikrobiyal Etkisi (Beta vulgaris var. Cruenta Alef.) Bazı Gıda Kaynaklı Patojenler Üzerindeki Antimikrobiyal Etkisi. Türk Tarım Dergisi - Gıda Bilimi ve Teknolojisi, 7 (sp1): 54-60.
- Turkut, G.M., Çakmak, H., Kumcuoğlu, S., Tavman, S., 2016. Effect of Quinoa Flour on Gluten-Free Bread Batter Rheology and Bread Quality. Journal of Cereal Science, 69,174-181.
- Türksoy, S., Özkaya, B., 2006. Gluten ve çölyak hastalığı, Türkiye 9. Gıda Kongresi 24-26 Mayıs 2006, Bolu.
- Türksoy, S., Özkaya, B., 2011. Pumpkin and Carrot Pomace powders as a Source of Dietary Fiber and Their effects on Mixing properties of wheat Flour dough and Cookie Quality, Food Sci. Technol. Res.,17.6, 545-553.
- Tüter, H., 2019. Chia (Salvia Hispanica) Tohumu Kullanılarak Fonksiyonel Glutensiz Bisküvi Üretimi Ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Manisa, Türkiye, 179 s.
- Villancacci, V., Ceppa, P., Tavani, E., Vindigni, C., Volta, U., 2011. Coeliac Disease: the Histology Report. Digestive and Liver Disease, 43, 385-395.
- Wu, Q., Miano, Y., 2008. Mechanochemical Effects of Micronization on Enzymatic Hydrolysis of Corn Flour. Carbohydrate Polymers, 72, 398-402.
- Yarpuz, D., 2011. Glutensiz Ekmek Üzerine Araştırmalar. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 44s, Konya.



## ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN DAĞITILMIŞ ÜRETİM TABANLI ŞEBEKELER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ANALİZİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Baran GÜLKAYA<sup>1\*</sup>, Yavuz ATEŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Elektrikli Taşıtlar,  
Elektrik Şebekesi,  
Dağıtılmış Güç Üretimi,  
Yük Öteleme Metodu.

### Öz

Son yıllarda, menzil ve şarj süresinde gözlemlenen olumlu geri dönüşler, elektrikli taşıtlara olan ilgiyi arttırmıştır. Mevcut çalışmanın amacı; artan bu ilginin, elektrik şebekeleri üzerindeki etkisinin gözlemlenmesi ve karşılaşılabilecek olası sorunlara yönelik çözüm önerilerinin sunulmasıdır. Bu amaçla; modelleme için, MATLAB ortamı seçilmiş, bir yıllık zaman periyodu esas alınmış ve Sancaktepe ilçesinde (Sancaktepe, İstanbul) yer alan şebeke bölgesi modellenmiştir. Modellemeyle uyumlu olarak MATLAB ortamında kurgulanan kod aracılığıyla, farklı koşullar altında, şebeke ve transformatör davranışları gözlemlenmiştir. Gözlemler doğrultusunda elektrikli taşıtların dağıtım şebekeleri üzerindeki olası olumsuz etkilerine yönelik çözüm teklifleri sunulmuştur. Çalışmamız şebeke kararlılığının sağlanmasında, üretim ve tüketim bazlı çözümleri bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, 'yük öteleme metodunun' uygulanmasının ve 'yenilenebilir kaynaklı dağıtılmış güç üretimi sistemlerinin' şebekeye entegrasyonunun değişen koşullarda vereceği tepki incelenmiştir.

## ANALYSIS OF ELECTRIC VEHICLES' EFFECTS DISTRIBUTED GENERATION BASED GRIDS AND SOLUTION SUGGESTIONS

### Keywords

Electric Vehicles,  
Electricity Grid,  
Distributed Power Generation,  
Load Shifting Method.

### Abstract

In recent years, positive returns observed in range and charging time have increased interest in electric vehicles. The objective of this study is to observe the impact of this increasing interest on the power grid and to propose solutions to any problems that may arise. For this purpose, MATLAB environment was chosen for modeling, based on a period of one year, and the grid region in Sancaktepe (Sancaktepe, İstanbul) was modeled. In accordance with the modeling, the behavior of the grid and the transformer was observed under different conditions using the code developed in the MATLAB environment. In accordance with the observations, proposed solutions for the possible negative impacts of electric vehicles on distribution networks were presented. The objective of our study is to jointly develop production and consumption-based solutions to ensure grid stability. In this direction, the response of the application of the "load shifting method" and the integration of the "distributed renewable generation systems" into the grid to changing conditions was investigated.

### Alıntı / Cite

Gulkaya B., Ates, Y., (2021). Elektrikli Taşıtların Dağıtılmış Üretim Tabanlı Şebekeler Üzerindeki Etkilerinin Analizi ve Çözüm Önerileri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1174-1199.

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

B. Gulkaya, 0000-0003-2152-3065  
Y. Ates, 0000-0002-4168-0861

### Makale Süreci / Article Process

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| Başvuru Tarihi / Submission Date | 01.05.2021 |
| Revizyon Tarihi / Revision Date  | 01.07.2021 |
| Kabul Tarihi / Accepted Date     | 16.07.2021 |
| Yayın Tarihi / Published Date    | 20.12.2021 |

\* İlgili yazar / Corresponding author: bulkaya7@gmail.com, +90-539-948-0017

## 1. Giriş (Introduction)

İklim değişikliğinin ana nedenlerinden biri, artan enerji talebini karşılamak için kullanılan fosil yakıtların oluşturduğu, karbondioksit emisyonundaki artıştır. Ulaşım sektörü, karbondioksit emisyonundaki artışın %15'inden fazlasından sorumludur (Andrady vd., 2015). Bunun beraberinde getirdiği ekolojik duyarlılıklar ve batarya teknolojilerindeki gelişmeler, yenilenebilir enerji kaynaklarına ve elektrikli taşıtlara olan ilgiyi arttırmıştır.

Elektrikli taşıtların, şebekeye entegrasyonu eş zamanlı olarak gelişen bir diğer konsept de yenilenebilir kaynaklı dağıtılmış güç üretimidir. Dağıtılmış üretim, düşük ya da orta gerilim seviyelerinde gerçekleştirilen elektrik üretimi ve depolanmasıdır (Arsoy ve Perdahçı, 2010). Dağıtılmış üretim sistemleriyle; enerji verimliliği artırılabilir, şebeke kararlılığı iyileştirebilir, yüksek hat kayıpları ve karbondioksit emisyonundaki artış dengelenebilir (Zhu vd., 2015; Angel ve Rújula, 2009; Elkhattam ve Salama, 2004).

Tüm bu avantajlarının yanında, dağıtılmış üretim sistemlerinin ve elektrikli taşıtların mevcut altyapıya entegrasyonu, şebekelerin kontrol ve yönetimini büyük oranda etkilemektedir. Yenilenebilir kaynaklı dağıtılmış güç üretiminin çevre koşullarına ve elektrikli taşıtların şarj/deşarj döngülerinin kullanıcı davranışlarına bağlılığı, şebeke kontrol ve yönetimini karmaşıklaştırmaktadır. Bu durum sonucunda, şebekelerde fazlar arası dengesizlikler, gerilim kayıpları ve harmonik etkiler gözlemlenmektedir (Sen vd., 2011; Yapıcı vd., 2016; Khalid vd., 2019; Stiasny vd., 2021).

### 1.1. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

İlgili literatür incelendiğinde gerilim ve frekans karakteristikleri, şebeke kararlılığının ana kriterleri olarak yaygın bir kabul görmektedir (Zhang vd., 2021). Kararlılığın ve güvenilirliğin korunmasında, üretici (Stefan vd., 2020) ve tüketici bazlı (Babar vd., 2020; Iliopoulos vd., 2020; Oprea vd., 2021) kontrol yöntemlerine yer verilmektedir. Dağıtılmış güç üretim sistemleri incelenirken, yenilenebilir güç kaynağı olarak güneş ve rüzgâr yaygın olarak tercih edilmektedir (Viviescas vd., 2019; Liu vd., 2020; Jafar-Nowdeh vd., 2020). İlgili çalışmalarda yenilenebilir kaynaklı dağıtılmış güç üretiminin çevresel koşullara bağlılığı (Barone vd., 2021) ve elektrikli taşıt kullanıcı davranışları incelenmiştir (Yang vd., 2020; Pagani vd., 2019). Mevcut çalışmalarda şebeke kararlılığının korunmasında; yük-frekans kontrol (load frequency control) yöntemlerine (Khan vd., 2021), enerji depolama sistemlerine (Dubarry vd., 2017), araçtan şebekeye (V2G) bağlantı modellerine (Triviño-Cabrera vd., 2019) ve talep yanıt (demand response) programlarına (Pal vd., 2017) yer verilmiştir.

Çalışmamızın amacı, elektrikli taşıtların dağıtım şebekeleri üzerindeki etkilerinin gözlemlenebilmesi ve önerilerinin sunulmasıdır. Bu doğrultuda çalışmamız; yük öteleme metodunun ve yenilenebilir kaynaklı dağıtılmış güç üretim sistemlerinin birlikte şebekeye entegrasyonunu teklif etmektedir.

Çalışmamızın geri kalan bölümleri belirtildiği şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2'de modellenen şebeke bölgesine ait bileşenler, evsel yük profili ve bölgesel yenilenebilir enerji potansiyeli tanıtılmıştır. Uygulanan metodların akış şemasına ve modelleme bileşenlerine yer verilmiştir. Bölüm 3'te şebeke ve transformatör davranışları çeşitli senaryolar altında incelenmiştir. Bölüm 4'te elde edilen sonuçlarına yer verilerek çalışma tamamlanmıştır.

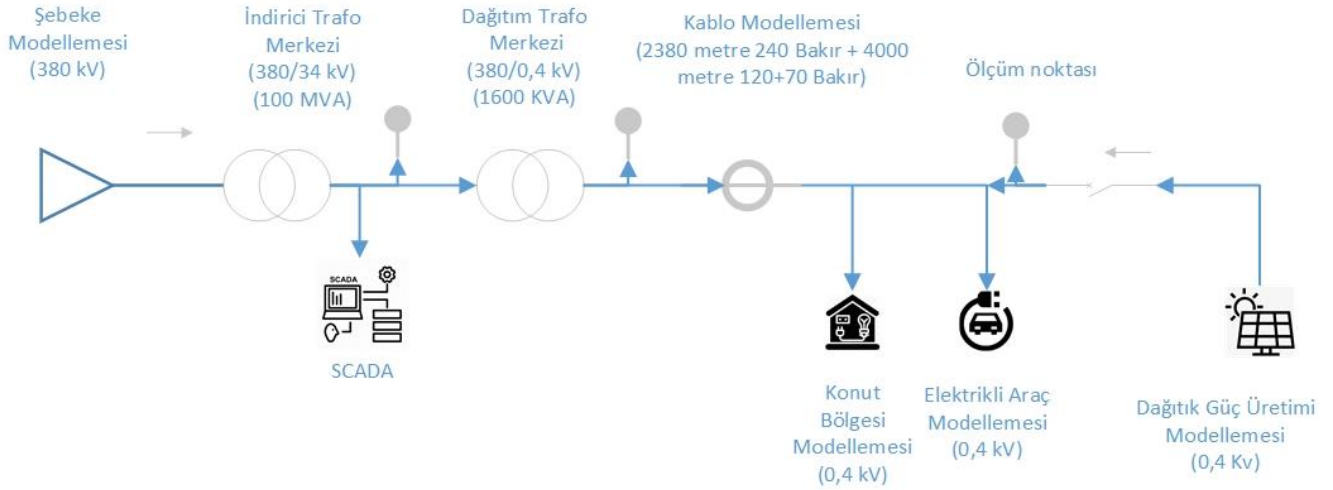
## 2. Materyal ve Yöntem (Materials and Methods)

### 2.1. Modelleme ve Kodlamanın Materyalleri (Modeling and Coding Materials)

Seçili şebeke bölgesinin modellenmesi ve analizi, MATLAB & Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen benzetim çalışmasında, seçili bölgenin elektrik altyapısını;

- TEİAŞ İndirici Trafo Merkezi (380 kV/34 kV)
- Dağıtım Trafo Merkezi (34 kV/0,4 kV)
- Enerji Nakil Hatları (2,850 km, 3x240 Bakır; 4 km, 3x120+70 Bakır.)
- Konut Bölgesi (0,4 kV)
- Dağıtılmış Güç Üretimi Bölgesi (0,4kV)

bileşenleri oluşturmaktadır (B. Özcan, kişisel iletişim 20 Aralık 2020). Şekil 1 modellemeye ait tek hat şemasını göstermektedir.

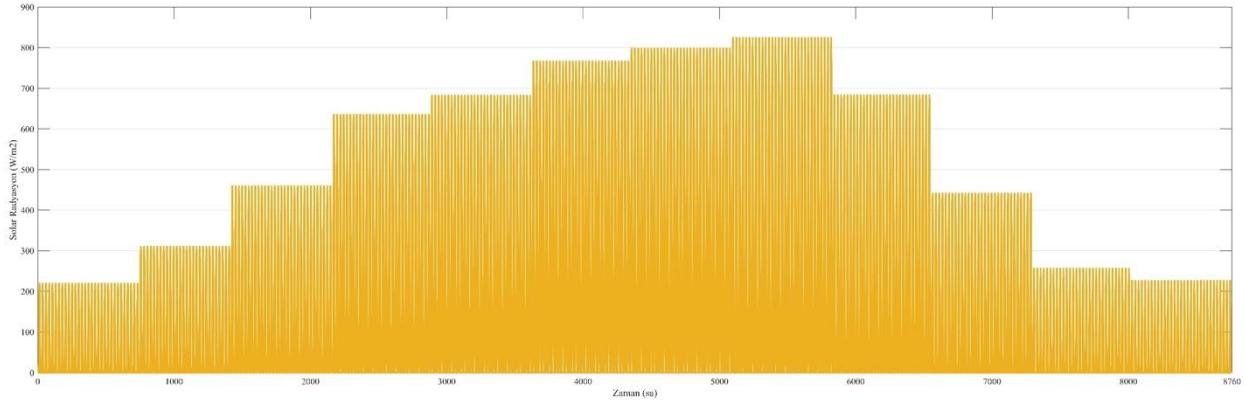


Şekil 1. Modelleme bileşenlerinin temsili (Representation of modeling components)

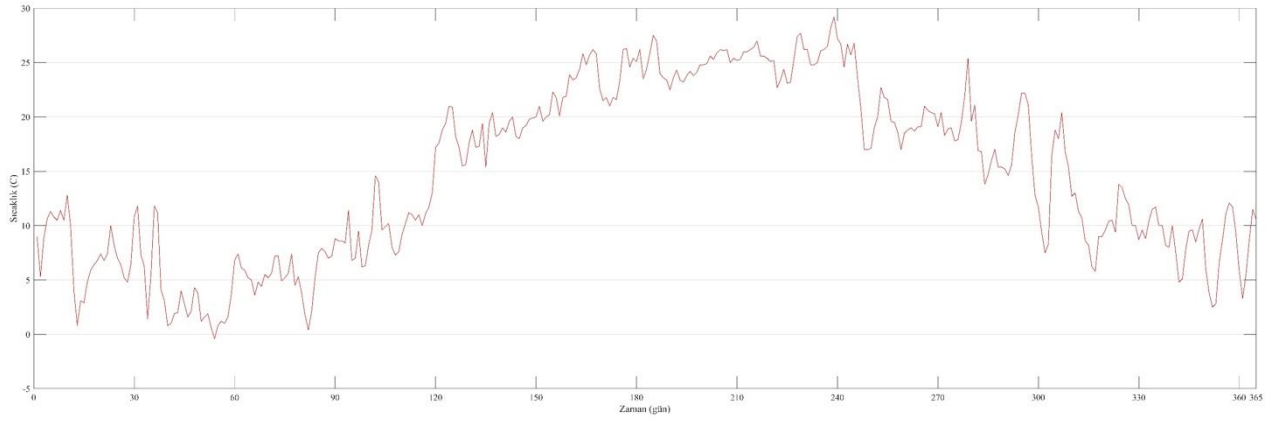
Elektrik altyapısındaki; mevsimsel değişimlerin gözlemlenilmesi adına, modelleme için bir yıllık zaman periyodu ( $365 \times 24 \times 60 \times 60$  sn.) seçilmiştir. Seçilen zaman periyodu gereğince, 'Phasor/ode23tb' çözüm yöntemi tercih edilmiştir.

Seçili konut bölgesindeki; tüketim davranışları, Maltepe ilçesinde yer alan ilgili dağıtım şirketine ait SCADA merkezi aracılığıyla, kış ve yaz ayları özelinde ölçülmüştür (G. Erten, kişisel iletişim 12 Aralık 2020). SCADA sistemleri seçili dağıtım bölgesine ait dağıtım transformatörünün orta gerilim barasına entegre olup, saatlik bazda enerji tüketim verilerini raporlandırmaktadır.

Çalışmamızda, yenilenebilir dağıtılmış güç üretim modellerinden kaynak olarak güneş enerjisini kullanan sistemlerin, şebekeye alçak gerilim barasından entegrasyonu incelenmektedir. Güneş enerjisi potansiyelinin tespitinde, Göztepe ilçesi (Göztepe, İstanbul) merkezli yıllık solar radyasyon ve sıcaklık verilerinden yararlanılmıştır (Dilmaç vd., 1996; World Meteorological Organization[WMO], 2020). Yıllık bazda solar radyasyon ve sıcaklık dağılımı şekillerde (Şekil 2, 3) görselleştirilmiştir. Şekilde yer verilen; sıcaklık değerleri 'derece santigrat ( $^{\circ}\text{C}$ )', solar radyasyon değerleri 'watt bölü metre kare ( $\text{W}/\text{m}^2$ )' birimleri cinsinden ifade edilmiştir. Şekillere ait yatay eksen, zaman eksenini olup bir yıllık bir zaman dilimini kapsamaktadır.



Şekil 2. Yıllık solar radyasyon dağılımı (Annual solar radiation distribution)

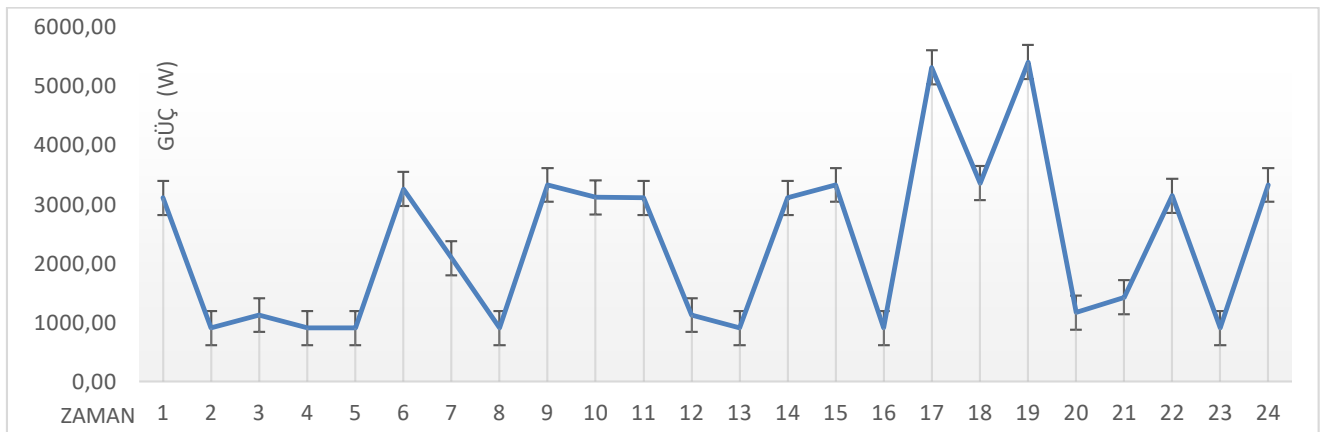


Şekil 3. Yıllık sıcaklık dağılımı (Annual temperature distribution)

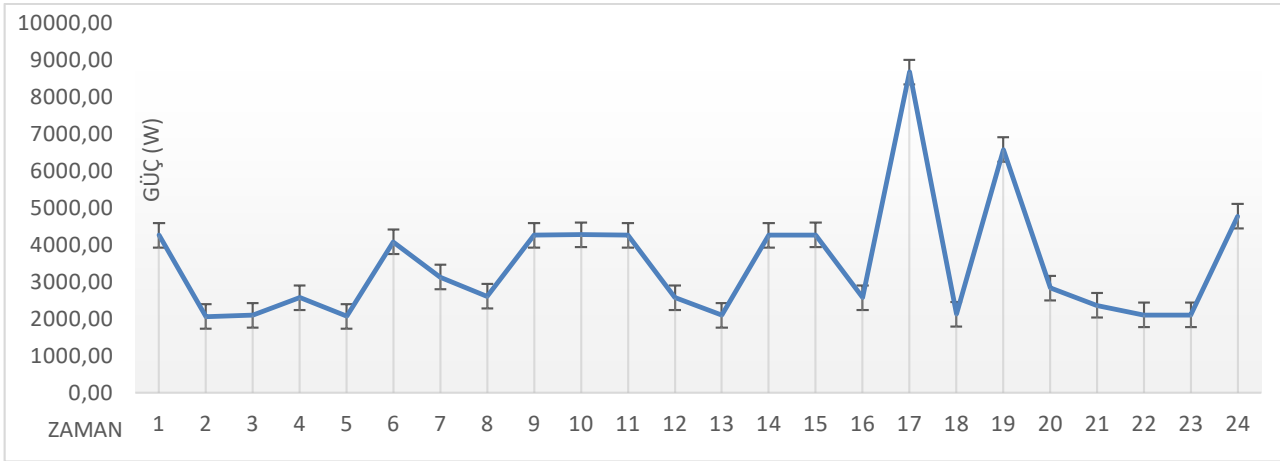
Elektrikli taşıt profilinin ve şarj istasyonu tipolojisinin, değişen koşullara uyum sağlanabilmesi adına, kodlama aracılığıyla kullanıcıdan talep edilmesi tercih edilmiştir. Mevcut simülasyonda kullanılacak elektrikli taşıt modeli, TEHAD verileri doğrultusunda, 2020 yılının ocak-aralık döneminde, Türkiye’de en çok satış adedine ulaşmış, B sınıfı elektrikli aracı olan Renault markası, Zoe modelidir (Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Derneği[TEHAD], 2020).

Kurgulanan senaryolarda, farklı elektrikli taşıt sayılarına ve şarj tipolojilerine yer verilmiştir. Seçili taşıt profillerinin; bağlı oldukları şarj ünitesi tipolojileri, ‘Halka Açık Şarj İstasyonu (11 kW)’ ve ‘Hızlı Şarj İstasyonu (50 kW)’ olarak belirlenmiştir. Renault markasının Zoe (R110) modeli bataryalarının; şarj seviyelerinin, ‘%30’ doluluk değerinden ‘%100’ doluluk oranına erişimi ‘Halka Açık Şarj İstasyonu (11 kW)’ için ‘4 saat 2 dakika (242 dakika)’, ‘Hızlı Şarj İstasyonu (50 kW)’ için ise ‘1 saat 6 dakika (66 dakika)’ olarak belirtilmiştir (Renault, 2021: <https://www.renault.com.tr/elektrikli-araclar/yeni-zoe/sarj-batarya.html>).

Çalışmamızda hane halkı kullanıcı alışkanlıkları için, ilgili çalışmadan yararlanılmıştır (Laicane vd., 2015). Belirtilen çalışmada hane halkı kullanıcı alışkanlıkları, 12 aylık bir periyotta ve 4 kişilik bir hane halkı için ölçülmüştür. Seçili hane halkının enerji tüketimleri; yaz ayları için ‘480 kWh/ay’, kış ayları için ‘360 kWh/ay’ olarak hesaplanmıştır (Laicane vd., 2015). Edinilen sonuçların, yaz ve kış ayları için günlük dağılımı şekillerde (Şekil 4, 5) görselleştirilmiştir. Şekilde yer verilen, dikey eksen ‘watt’ biriminde tüketilen güç değerini, yatay eksen ise günün saatlerini belirtmektedir.



Şekil 4. Kış aylarında gözlemlenen günlük yük talebi (Daily load demand observed during winter)



Şekil 5.Yaz aylarında gözlemlenen günlük yük talebi (Daily load demand observed during summer)

## 2.2. Yöntem (Method)

Çalışmada başvurulan yöntemlerden, yük öteleme metodu; toplam enerji tüketimini değiştirmeden, mevcut tüketim değerleri üzerinden yük dağılımının tekrar kurgulanmasıdır. Bu sayede, talep edilen pik güç değerlerinin (peak demand), daha düşük seviyelerde gerçekleşmesi ve yük faktöründe (load factor) iyileşme amaçlanmaktadır (Ashok ve Banerjee, 2000).

### 2.2.1. Modellemenin Yöntemi (Method of Modeling)

Yük profilinde, günlük tüketim değerleri saatlik bazda belirlendikten sonra, 'pik saatler' ve 'evsel aletlerin günlük kullanım sıklıkları' göz önüne alınmaktadır. Bunun sonucunda, evsel yükler öncelik sıralamasına göre üç temel gruba ayrılmıştır (Nadhirah vd., 2020). Bu gruplar;

- Yüksek Öncelik Grubu (YÖG)
- Orta Öncelik Grubu (OÖG)
- Düşük Öncelik Grubu (DÖG)

olarak belirlenmiştir.

Evsel yüklerin öncelik sıralaması belirlenirken, pik saatler '17:00-22:00' saat dilimleri arasında seçilmiştir (Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi [TEDAŞ], 2021). Pik zaman dilimi esas alınarak oluşturulan öncelik sıralamasına göre yük profili tabloda (Tablo 1) belirtilmiştir. Kış aylarında, pik saatlerde daima kullanımda olduğu görülen elektrikli ev aletlerinden; 'Buzdolabı', 'Yerden Isıtma Sistemi' ve 'Buhar Kazanı' YÖG grubuna dahil edilmiştir. Belirtilen elektrikli ev aletlerinin yanı sıra, mevsimsel koşullar göz önüne alındığında, periyodik olarak gün boyu çalışmakta olan, 'Klima Tipi Vantilatör' adlı cihaz da YÖG'a eklenmiştir. Yük öteleme, DÖG ve OÖG yüklerini kapsamakta, YÖG'nu oluşturan elektrikli ev aletleri, yük ötelenmesine dahil edilmemektedirler.

Yük öteleme metodunun uygulanması, mevcut yüklerin öncelik sıralamasına göre kodlamaya tanıtılmasıyla başlamaktadır. Kodlamaya tanıtılan yüklerden, YÖG, OÖG ve DÖG'nu oluşturan yüklerin, pik saatler (17:00-22:00) içinde 'tükettikleri enerji değerleri' hesaplanmaktadır. Çalışmamızda, ilgili dağıtım transformatörünün ideal doluluk oranı, 'yüzde seksen ve altı (Transformatör İdeal Doluluk Oranı (%))  $\leq 80$ ' olarak seçilmiştir. Dağıtım transformatörünün, pik zaman diliminde ideal doluluk değerlerinin üzerinde yüklenmesi durumunda, transformatörün ideal çalışma bölgesinde çalışabilmesi için gerekli olan güç değeri hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değer, DÖG yüklerin tükettikleri enerji ile kıyaslanmakta eğer yeterli güç değeri elde edilebiliyorsa sadece 'DÖG' yüklerin pik saatler sonrasında ötelenmesi gerçekleştirilmektedir. Düşük öncelik grubunu oluşturan yüklerin ötelenmesine rağmen yeterli güç değerinin elde edilememesi durumunda, OÖG'nu oluşturan yüklerin öteleme dahil edilmesi gerçekleştirilmektedir. Yük öteleme sonrası, üç zamanlı fiyatlandırma tarifi gereğince nihai kullanıcıya yansıtılacak olan faturalandırma tutarındaki değişim gözlenmektedir.

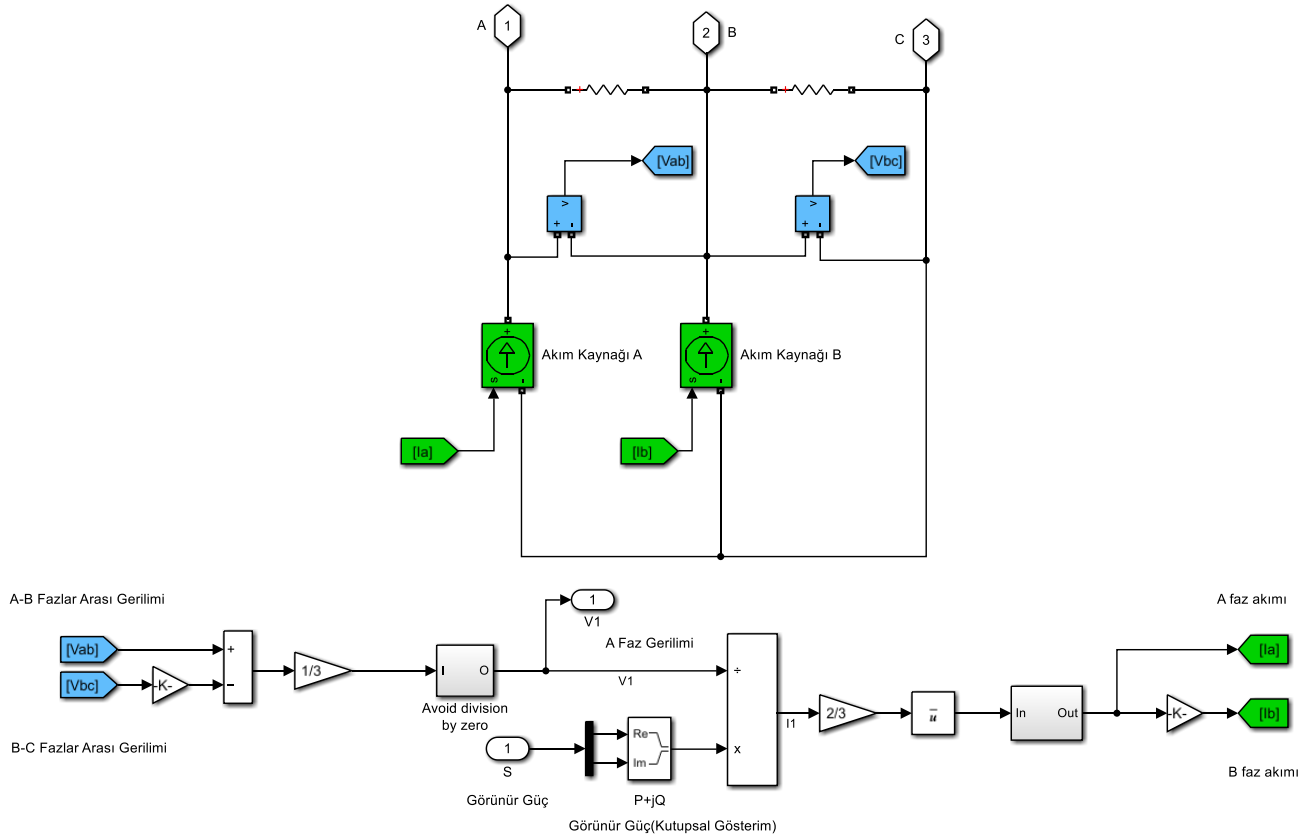


**Tablo 1.** Mevsimsel olarak elektrikli ev aletlerinin öncelik sıralaması (Seasonally priority ranking of electrical household appliances)

| AYLAR | YÜK PROFİLİ | Yüksek öncelikli elektrikli ev aletleri                                    | Orta öncelikli elektrikli ev aletleri   | Düşük öncelikli elektrikli ev aletleri   |
|-------|-------------|--|---|--|
| Kış   |             | Klima Tipi Vantilatör, Yerden Isıtma Sistemi, Buzdolabı (2), Buhar Kazanı. | Akkor Ampuller (6), Gün Işığı Ampuller (6), Halojen Ampuller (20), CFL Ampuller (15), LED TV Seti, Dijital TV, LED Ampuller (14).   | Masaüstü Bilgisayar, Dizüstü Bilgisayar, Telefon, DVD Oynatıcı, Karıştırıcı (Blender), Davlumbaz, Yazıcı, Meyve Suyu Sıkacağı, Ses Sistemi, Elektrikli Fırın, Çamaşır Makinesi, Elektrikli Süpürge, Ütü, Dış Aydınlatma Ekipmanları (2), Kahve Makinesi, Ekmek Kızartma Makinesi, Ekmek Pişirme Makinesi, Bulaşık Makinesi, Saç Kurutma Makinesi, Isırtıcı Su Deposu, Hava Nemlendiricisi, Davlumbaz (2), Klima. |
| Yaz   |             | Buzdolabı (2), Isıtıcı Su Deposu.  | Akkor Ampuller (6), Gün Işığı Ampuller (6), Halojen Ampuller (20), CFL Ampuller (15), LED TV Seti, Dijital TV, LED Ampuller (14), Masaüstü Bilgisayar, Dizüstü Bilgisayar, Telefon, DVD Oynatıcı. | Karıştırıcı (Blender), Davlumbaz, Yazıcı, Meyve Suyu Dağıtıcı, Akustik Ses Sistemi, Elektrikli Fırın, Çamaşır Makinesi, Elektrikli Süpürge, Ütü, Dış Aydınlatma Ekipmanları (2), Kahve Makinesi, Ekmek Kızartma Makinesi, Ekmek Pişirme Makinesi, Bulaşık Makinesi, Saç Kurutma Makinesi, Hava Nemlendiricisi, Havalandırma Davlumbaz (2), Klima, Klima Tipi Vantilatör, Yerden Isıtma Sistemi.                  |

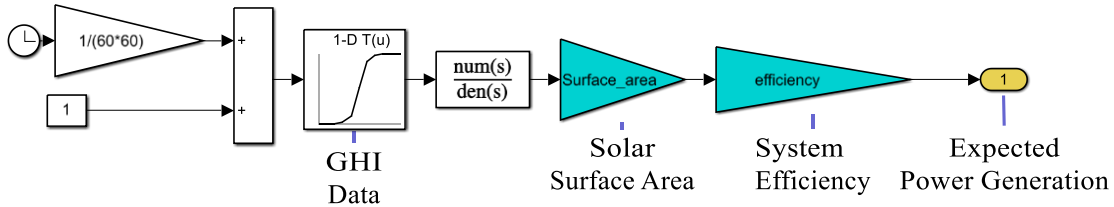
Çalışmamızın bir diğer çözüm teklifini, 'dağıtılmış güç üretimi sistemlerinin' şebeke ile entegrasyonu oluşturmaktadır. Dağıtılmış güç üretimiyle, enerji talepleri artan yerleşim bölgeleriyle, enerji üretim noktalarının bir araya getirilmesini amaçlanmaktadır (Gökçek ve Ateş, 2019). Mevcut çalışmanın amaçlarına uygun olarak, modellemeye alçak gerilim barasından, yenilenebilir dağıtılmış güç üretimi sistemlerinden güneş enerji santralleri (GES) entegre edilmesi tercih edilmiştir.

Çalışmamızda, Matlab & Simulink ortamında şebekeye bağlı yükler, 'kontrollü akım kaynağı' olarak modellenmiştir. Tüketim ve üretim birimlerinin modellenmesinde kullanılan alt birimler şekillerde (Şekil 6, 7) belirtilmiştir. Birimlerin tükettikleri ya da ürettikleri güç değerleri üzerinden, akım değerleri hesaplanmakta ve kontrollü akım kaynaklarının giriş değerlerini oluşturmaktadır. Bu amaçla, ilgili 'güç' ve 'akım' değerleri arasındaki elektriksel ilişkilerinden yararlanılmıştır.



Şekil 6.Yük modellemesine ait alt bloklar (Blocks of load modeling)

Akım kaynaklarının giriş değerlerinin belirlenmesi için, güneş enerjisi santralinden elde edilebilecek güç değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Güç değerinin hesaplanmasında 'solar radyasyon', 'alan' ve 'verimlilik' değişkenlerinden yararlanılmıştır.



Şekil 7.Dağıtılmış güç üretimi modellemesi ait alt blokları (Sub-Blocks of distributed power generation modeling)

### 2.2.2. Kodlamanın Yöntemi (Coding Method)

Kodlamaya ait diyagram şekilde (Şekil 8) belirtilmiştir. Kodlamada kıstas olarak, transformatör doluluk oranları esas alınmaktadır. Kodlamanın başlatılmasıyla, kullanıcıdan 'giriş değerleri' talep edilmektedir. Giriş değerleri olarak; ilgili transformatör etiket değerleri, mevcut koşullar altındaki doluluk değerleri ve ideal çalışma sınır değeri ifade edilmektedir.

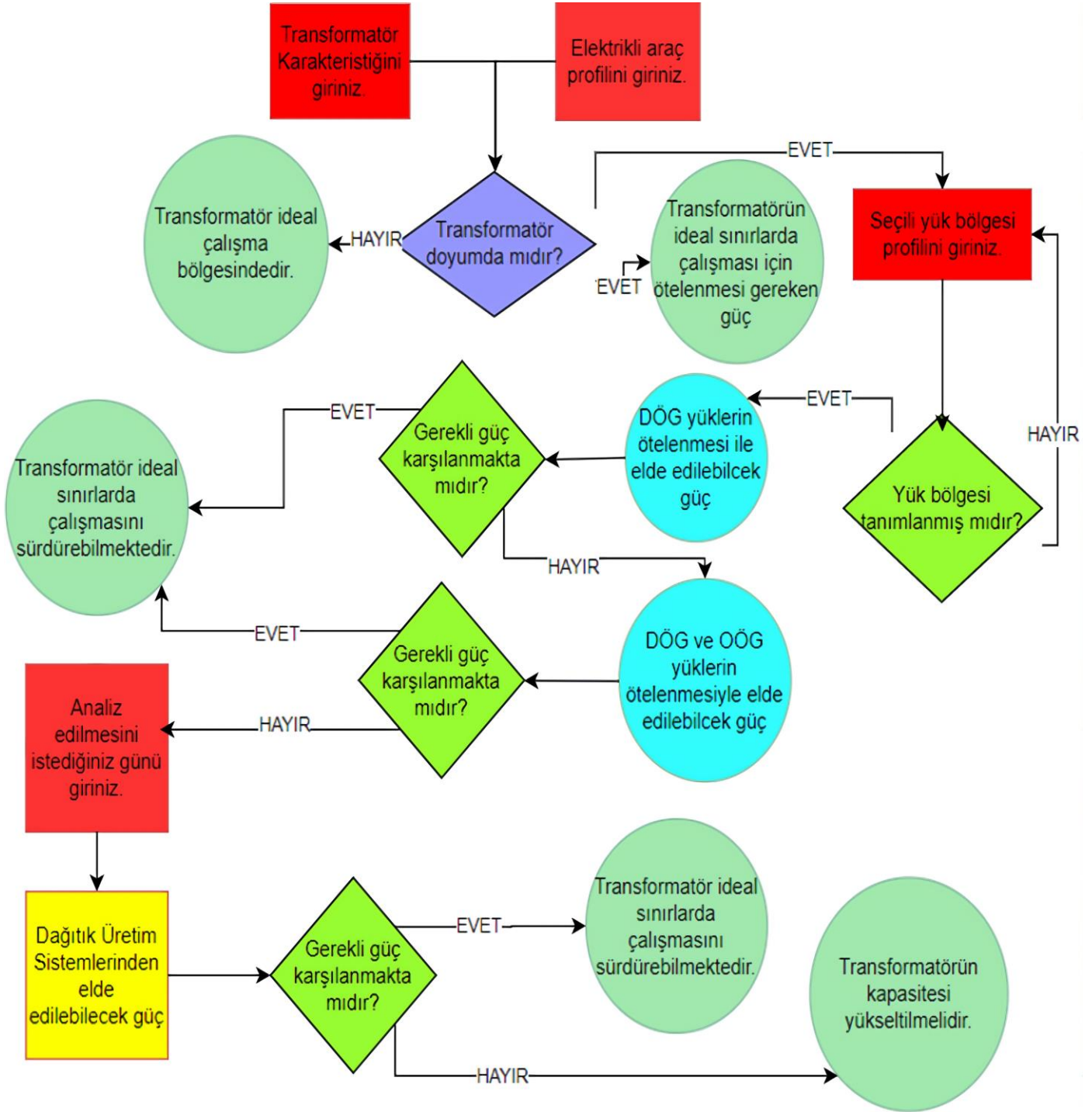
Transformatör karakteristiğinin belirtilmesinin ardından, incelenmesi istenen senaryonun tanıtılması istenmektedir. Kullanıcıdan, pik saatlerde şebekeye dahil olması beklenen elektrikli taşıt profilini tanıtması beklenmektedir.

Girdilerin tanıtılmasıyla, 'transformatörün doyumda olup olmadığına' karar verilmektedir. Doyum durumunda, transformatörün ilgili doluluk değeri üzerinden, ideal çalışma bölgesinde çalışabilmesi için gerekli olan güç değeri hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu güç değeri, çözüm metotlarıyla karşılanmaya çalışılmaktadır.

İlgili transformatör doyumda ise transformatörden beslenen konut bölgesinin 'yük profilinin' kodlamaya tanıtılması istenmektedir. Yük profili ifadesiyle; ilgili konut bölgesinin saatlik bazda elektrikli ev aletleri kullanım verileri ifade edilmektedir. Yük profili üzerinden; pik saatlerde kullanım sıklıkları esas alınarak, yükler önem sıralamasına tabii tutulmaktadır. Bunun yanında, kullanım sıklığı az; ancak kullanıcı tarafından öncelikli görülen yüklerin belirtilmesi istenmektedir. Yük profilinin tanıtılmasının ardından; DÖG yüklerin, pik zaman diliminin sonrasına ötelenmesi gerçekleştirilmektedir. DÖG yüklerin ötelenmesi sonucunda, transformatörün ideal çalışma bölgesinde çalışması için gerekli güç değeri sağlanamamış ise OÖG yüklerin yük ötelenmesine katılımı gerçekleştirilmektedir. Yük ötelenmesi sonrasında, ilgili transformatörün doyumunun engellenmemesi durumunda, 'dağıtılmış güç üretimi sistemlerinin şebekeye entegrasyonuna' karar verilmektedir.

Seçilen güneş enerjisi sistemlerinin, alçak gerilim tarafından şebekeye entegre edilmesi öngörülmektedir. Bu sayede güneş enerjisi sistemlerinin, talep gücü karşılamada şebekeye yardımcı olması ve dağıtım transformatörü üzerindeki baskıyı azaltması hedeflenmektedir. Güneş enerjisi sistemleri aracılığıyla elde edilebilecek güç değerleri; 'panel yüzey alanı', 'sistem verimliliği' ve 'günlük meteoroloji verilerine' bağlıdır. Yıllık bazda 'solar radyasyon' ve 'sıcaklık' verileri kodlamaya tanıtılmış olup kullanıcıdan analiz edilmesi istenen günü belirtmesi istenmektedir.

Güneş enerjisi sistemlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında, transformatör doluluk değerleri tekrar hesaplanmaktadır. Bu durum sonucunda, transformatör doluluk oranlarının ideal doluluk bölgesinde gerçekleşmemesi durumunda, güneş enerji sistemlerinden elde edilebilecek güç değerinin artırılması teklif edilmektedir. Bu amaçla, 'panel yüzey alanı' ya da 'sistem verimliliğinin' artırılması birer seçenek olarak sunulmaktadır. Bu yöntemin tercih edilmemesi halinde ilgili transformatör kapasitesinin artırılması önerilmektedir.



Şekil 8.Kodlama şematığı (Coding schematic)

### 3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Şebeke karakteristiğinin görselleştirildiği tüm simülasyonlar; bir yıllık periyotta (365×24×60×60 sn.) gerçekleştirilmiştir. Bir yıllık periyodun, ilk üç (ocak, şubat, mart ayları) ve son üç ayı (ekim, kasım, aralık ayları) 'kış ayları', geri kalan aylar (nisan, mayıs, haziran, temmuz, ağustos, eylül ayları) 'yaz ayları' olarak belirlenmiştir.

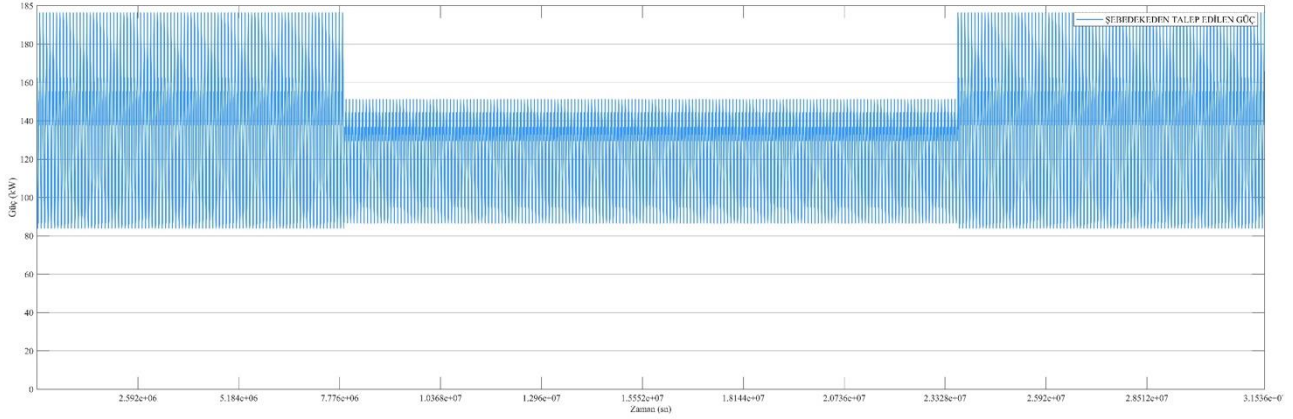
Elektrikli taşıtlar farklı şarj karakteristiklerinde şebekeye birer yük olarak dahil olmakta; şebekeden talep edilen güç değerlerini ve transformatör doluluk oranlarını arttırmaktadırlar. Çalışmamızda elektrikli taşıtların katılımı sonrasında, şebekeden talep edilecek güç değerleri 'şebeke talep karakteristiği' başlığı altında görselleştirilmiştir. Şebeke talep karakteristiğini görselleştiren şekillerde, dikey eksen 'kilowatt (kW)' biriminden güç eksenine, yatay eksen 'saniye (sn)' biriminden zaman eksenine karşılık gelmektedir.

Talep güç değerindeki artışın, transformatörler üzerindeki etkisinin gözlemlenilmesi 'dağıtım transformatörünün doluluk karakteristiği' başlığı altında gerçekleştirilmiştir. Elektrikli taşıtların şebekeye katılımının, öncesinde ve sonrasında oluşan değişikliklerin karşılaştırılabilmesi adına bölüm sonlarına, 'değişim tablosu' eklenmiştir.

'Dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği'ne ait şekillerde, 'Z-ekseni' dağıtım transformatörün yüzdesel olarak doluluk oranlarını, 'Y-ekseni' bir gün içinde gerçekleşen yük dağılımını temsil etmektedir. Elektrikli taşıtların şebeke üzerindeki etkileri, yaz ve kış ayları için farklı şekillerde gerçekleşmektedir. Bu nedenle, 'X-ekseninin' ilk yarısı (1-2 aralığı) 'yaz aylarını'; ikinci yarısı (2-3 aralığı) 'kış aylarını' temsil edecek şekilde kurgulanmıştır.

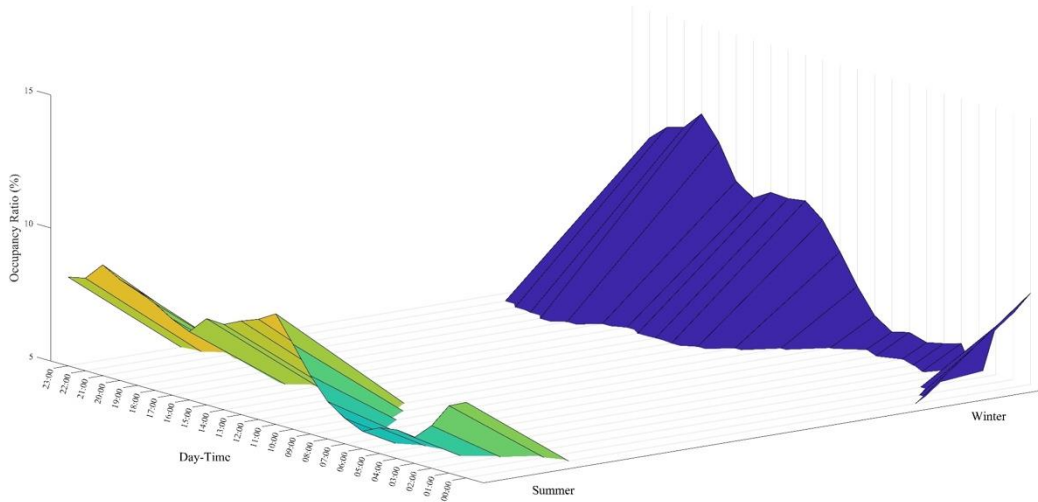
### 3.1. Mevcut Durumda Transformatör ve Şebeke Karakteristiği (Transformer and Grid Characteristics in Current State)

Modellemede; SCADA aracılığıyla elde edilen, 'ocak ayı tüketim verileri' kış aylarını, 'temmuz ayı tüketim verileri' ise yaz aylarını temsil etmektedir. Mevcut durumda şebekeden talep edilmekte olan güç değerleri şekildedeki (Şekil 9) gibi gerçekleşmektedir.. Mevcut durumda, kış aylarında gerçekleşen, en yüksek talep güç değeri, '**182,6 kW**' iken, bu değer yaz ayları için, '**146,2 kW**' olarak ölçülmüştür.



Şekil 9. Mevcut şartlar altında şebeke talep karakteristiği (Grid demand characteristic under existing conditions)

Dağıtım transformatörünün; nominal güç değeri '**1600 kVA**', sekonder gerilimi '**0,4 kV**'dur. Mevcut şartlar altında, dağıtım transformatörünün, 'yaz ve kış ayları' için günlük doluluk değerleri şekilde (Şekil 10) görselleştirilmiştir. Dağıtım transformatörünün, ideal doluluk sınırı olarak seçilen 'yüzde seksen (%80)' doluluk oranının aşılmadığı gözlemlenmiştir. Dağıtım transformatörünün en yüksek doluluk oranına, '**%11,69**' ile kış aylarında ulaşılmıştır. Yaz aylarında gerçekleşen en yüksek doluluk oranı, '**%9,16**' olarak kaydedilmiştir.

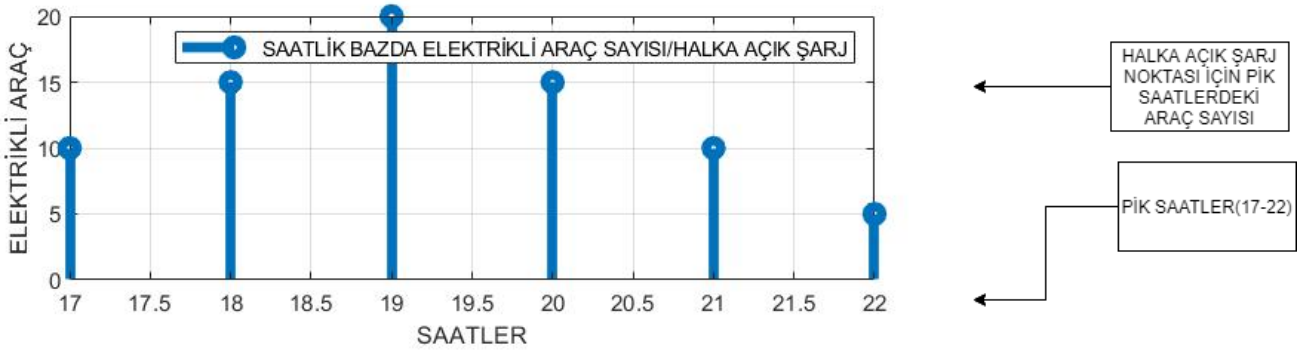


Şekil 10. Mevcut şartlar altında dağıtım transformatörünün doluluk karakteristiği (Occupancy characteristic of distribution transformer under current conditions)

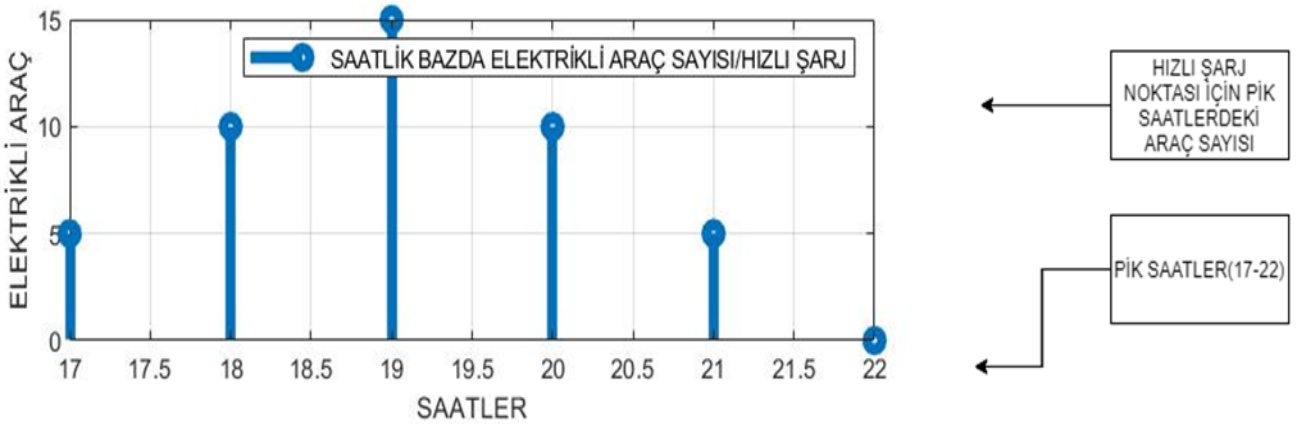
Yıllık bazda en yüksek doluluk oranına, kış aylarında ulaşmaktadır. Çalışmamızda, elektrikli taşıtların oluşturabileceği etkilerin, mevcut en yüksek doluluk oranları altında gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda çalışmamızdaki incelemeler, 'kış ayları' esas alınarak yapılmıştır. Elektrikli taşıtların dahiliyle, kış aylarında gözlemlenecek artışa karşılık, 'yaz ayları' mevcut durumunda görselleştirilecektir. Bu sayede, elektrikli taşıtların şebeke üzerindeki etkisinin daha net bir şekilde gözlemlenmesi amaçlanmaktadır.

### 3.2. Elektrikli Taşıtların Katılımıyla Oluşan Transformatör ve Şebeke Karakteristiği (Transformer and Grid Characteristics with the Participation of Electric Vehicles)

Mevcut şartlar altındaki, şebeke talep karakteristiğinin gözlenmesinin ardından belirlenen senaryoların uygulanmasına geçilmiştir. Elektrikli taşıtların, şebekeye en yoğun oranda dahil olması beklenen zaman aralığı, iş çıkış saatleriyle ilişkili olarak pik saatler olarak seçilmiştir. Bu amaçla, şebekeye pik saatler özelinde dahil olması planlanan elektrikli taşıt profilleri kurgulanmıştır. Elektrik taşıt profilleri görselleştirilirken, saat dilimi '17:00' ile '22:00' aralığında seçilmiş, değişen taşıt sayıları ve şarj tipolojileri belirtilmiştir. Belirtilen esaslar şekillerde (Şekil 11, 12) görselleştirilmiştir.

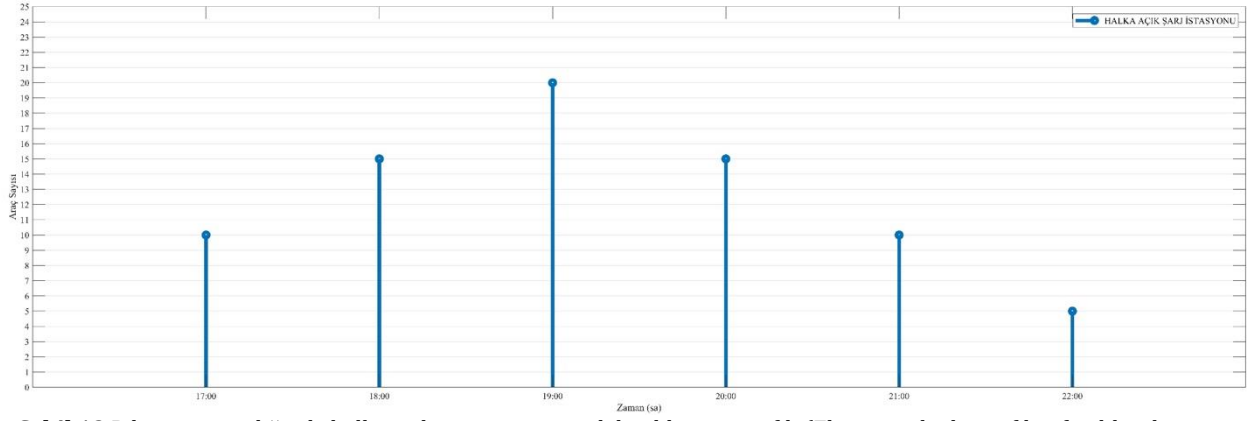


Şekil 11. Halka açık şarj noktasına ait elektrikli taşıt profili görselleştirme esasları (Electric vehicle profile visualization principles of public charging point)

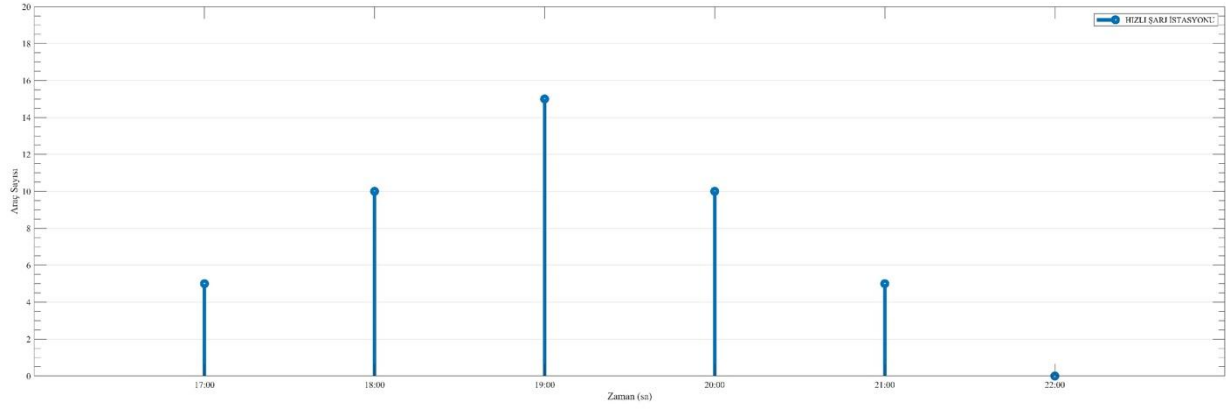


Şekil 12. Hızlı şarj istasyonuna ait elektrikli taşıt profili görselleştirme esasları (Electric vehicle profile visualization fundamentals of fast charging station)

Elektrikli taşıtların; '17:00-19:00' saat aralığında, artarak şebekeye dahil olması, '19:00-22:00' saat aralığında ise azalarak şebekeye bulunması beklenmektedir. Seçili senaryoda, elektrikli taşıtların şebekeye en yüksek katılımı, saat '19:00', en düşük katılım ise, saat '22:00'de gerçekleşmiştir. Saat '19:00' da şebekeden şarj olan '35' araçtan; '20'si 'Halka Açık Şarj İstasyonu (11 kW)' aracılığıyla, '15'i 'Hızlı Şarj İstasyonu (50 kW)' aracılığıyla şarj olmaktadır. Belirtilen esaslar doğrultusunda, oluşan elektrikli taşıt profilleri şekillerde (Şekil 13, 14) belirtilmiştir.

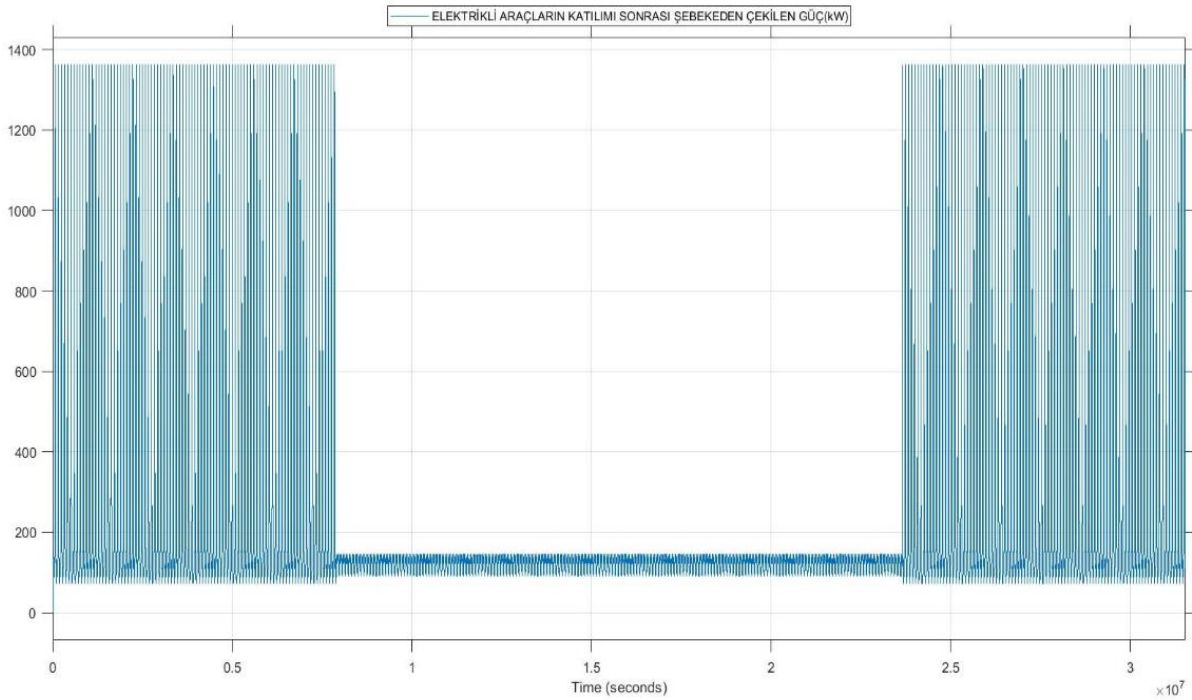


Şekil 13. Pik zaman aralığında halka açık şarj istasyonu elektrikli taşıt profili (Electric vehicle profile of public charging station at peak time range)



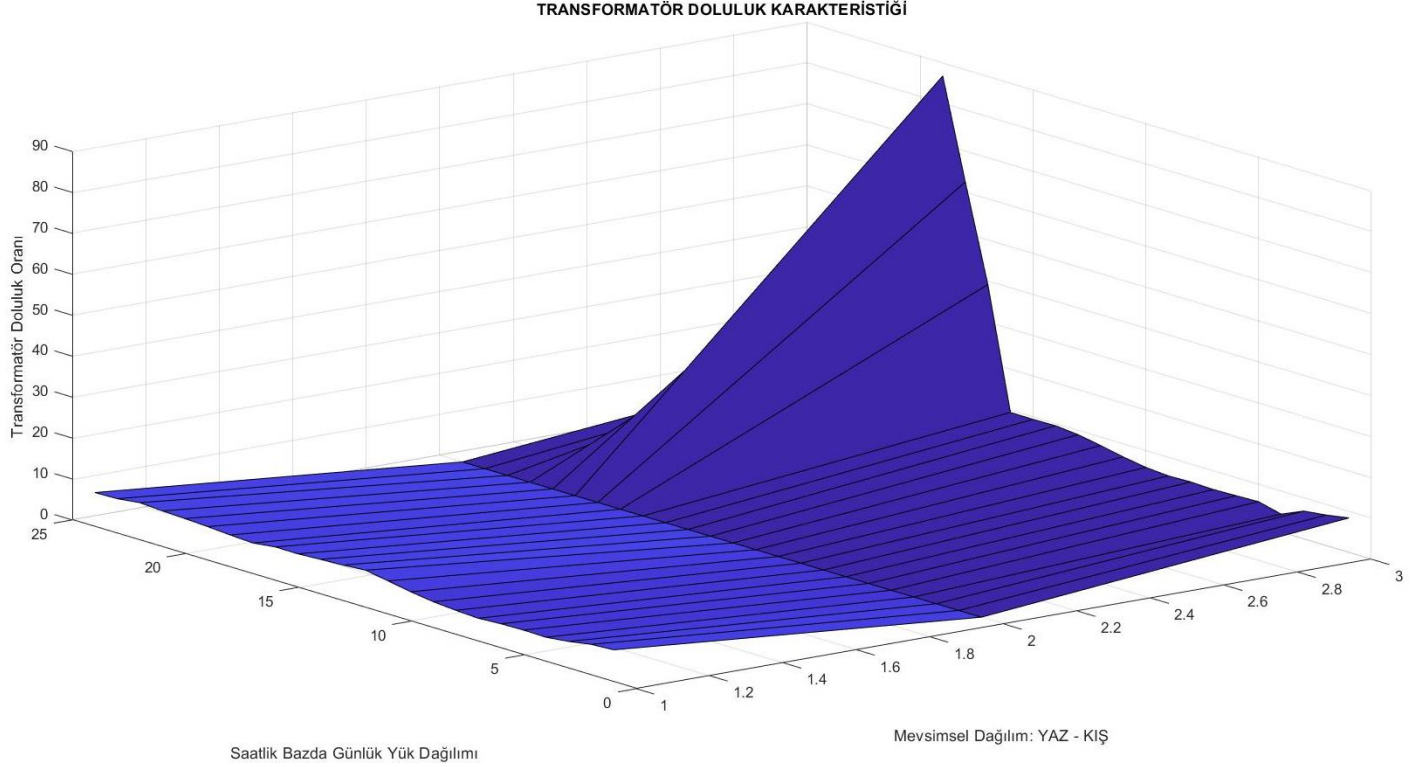
Şekil 14. Pik zaman aralığında hızlı şarj istasyonu elektrikli taşıt profili (Electric vehicle profile of fast charging station at peak time range)

Şekilde (Şekil 15) 'mavi renkle' temsil edilen karakteristik, şebekeden çekilen güç (kW) değerini göstermektedir. Kış aylarında elektrikli taşıtların katılımı sonrasında gerçekleşen en yüksek talep güç değeri '1362 kW' olarak ölçülmüştür.



Şekil 15. Elektrikli taşıtların dahili sonrasında şebeke talep karakteristiği (Grid demand characteristics of electric vehicles after internal)

Belirtilen elektrikli taşıt profilinin şebekeye dahili sonrasında oluşan, dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği şekilde (Şekil 16) görselleştirilmiştir. Elektrikli taşıtların şebekeye dahili sonucu dağıtım transformatörünün, ideal doluluk sınırı olarak seçilen 'yüzde seksen (%80)' doluluk oranını aştığı gözlemlenmiştir. Elektrikli taşıtların şebekeye dahili sonrasında gözlemlenen en yüksek doluluk oranı, '**%86,71**' olarak gerçekleşmiş ve transformatörün doyuma girmesine neden olmuştur. Yaz aylarını temsil eden bölge (1-2 aralığı), mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



**Şekil 16.** Elektrikli taşıtların dahili sonrasında dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği (Distribution transformer occupancy characteristics after electric vehicles)

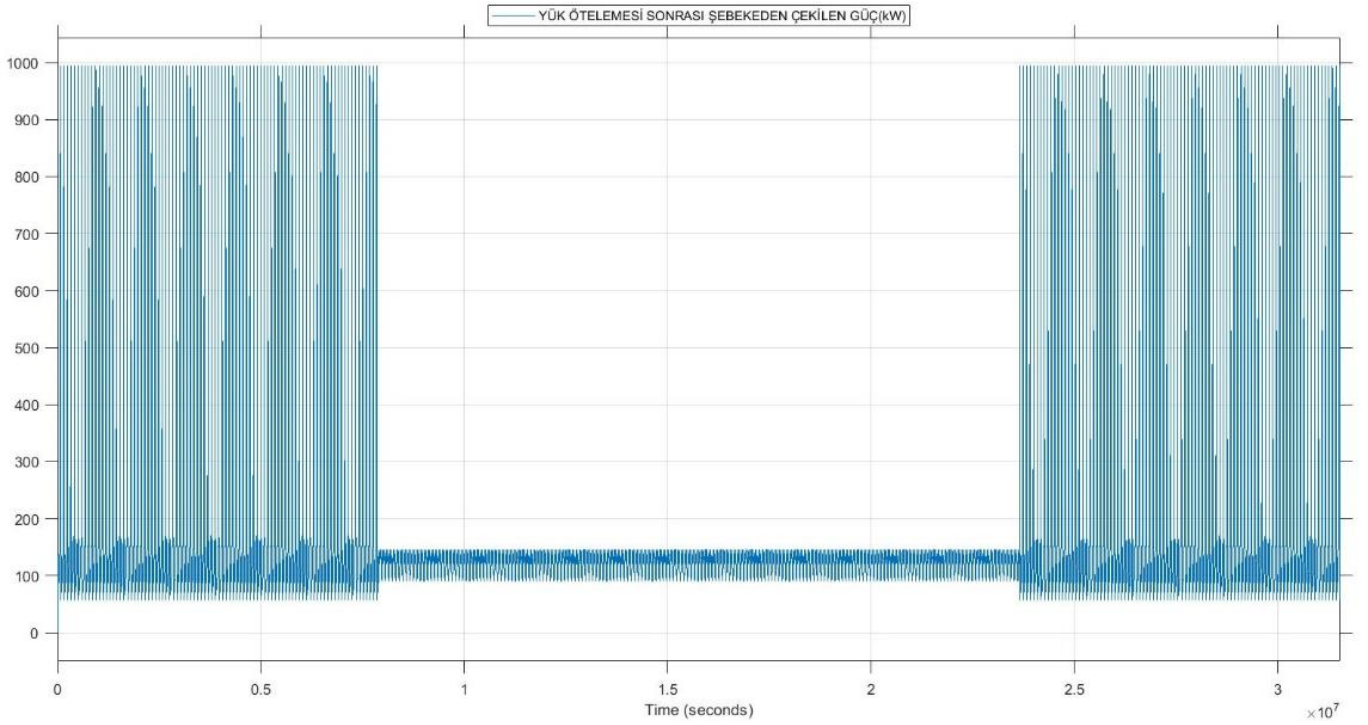
Mevcut durumda, kış aylarında '**186,6 kW**' olarak gerçekleşen en yüksek güç talebi; belirtilen elektrikli taşıt profilinin katılımı sonrasında, '**1175,4 kW**' artışla '**1362 kW**' değerine yükselmiştir. Talep güç değerinde gözlemlenen bu yükseliş sonucunda dağıtım transformatörü doluluk oranı, '**%11,69**' değerinden, '**%86,71**' değerine yükselerek, ideal doluluk sınırlarını aşmıştır. Transformatörün ideal bölgesi dışında çalışmasıyla, oluşabilecek olumsuz etkilerden kaçınılması amaçlanmış ve çözüm metotlarının uygulanmasına geçilmiştir.

### 3.2.1. Elektrikli Taşıtların Katılımı Sonrası Yük Öteleme Metodunun Uygulanması (Application of the Load Shifting Method After the Participation of Electric Vehicles)

Elektrikli taşıtların şebekeye etkisinin en fazla hissedileceği zaman aralığı olarak pik zaman dilimi belirlenmiş ve talep güç değerini düşürmek için uygulanacak en uygun çözüm yöntemi, 'yük öteleme metodu' olarak seçilmiştir. Yük profilinde, pik saatlerde (17:00-22:00) yer alan 'DÖG ve OÖG' yükler sırasıyla, yeni yük profilinde pik saatlerin sonrasına kaydırılmaktadır.

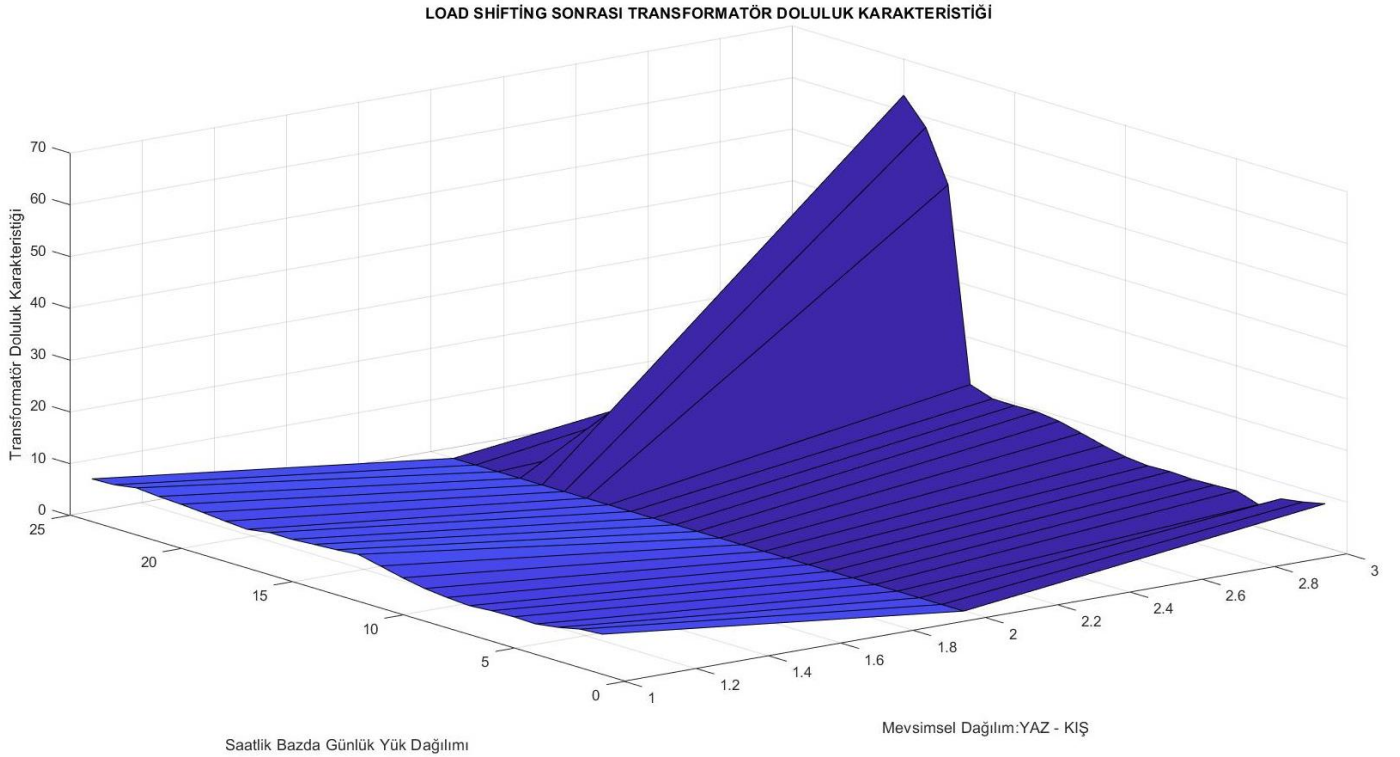
Şekilde (Şekil 17) 'mavi renkle' temsil edilen karakteristik, şebekeden çekilen güç (kW) değerini göstermektedir. Yük ötelenmesi metodunun uygulanmasının ardından, şebekeden çekilen en yüksek güç değeri '**994,18 kW**' olarak ölçülmüştür. Yaz aylarını temsil eden zaman dilimi, mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.





**Şekil 17.**Yük ötelemesi metodunun uygulanması sonrasında şebeke talep karakteristiği (Grid demand characteristics after the application of the load shift method)

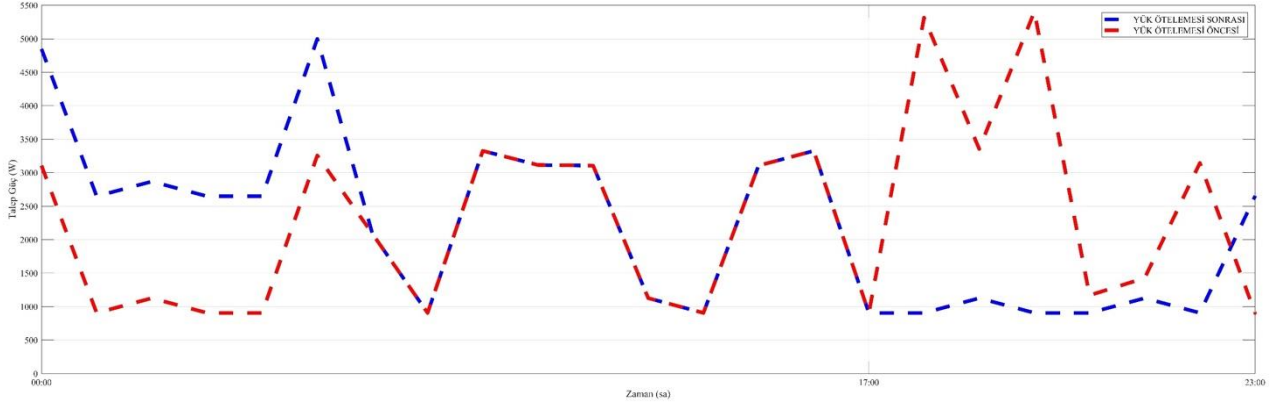
Yük ötelemesi metodunun uygulanmasının ardından oluşan, dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği şeklindeki (Şekil 18) belirtilmiştir. Yük ötelemesinin uygulanmasının ardından gerçekleşen en yüksek doluluk oranı, '%62,95' olarak ölçülmüştür. Yaz aylarını temsil eden bölge (1-2 aralığı), mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



**Şekil 18.**Yük ötelemesi metodunun uygulanması sonrasında dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği (Distribution transformer occupancy characteristic after the application of the load shift method)

Üç zamanlı fiyatlandırma tarifesi uyarınca, enerji tüketim birim fiyatı, toplam talep gücü ters orantılı olarak belirlenmektedir. Oluşan yeni yük profilinin, nihai kullanıcı faturalandırma tutarına etkisi, 'enerji tüketim birim fiyatları' ve zaman dilimlerine ait 'tüketilen toplam güç değerleri' aracılığıyla hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda mevcut kullanım davranışı üzerinden, '100' hanelik bir konut bölgesi belirlenmiş ve günlük yük dağılımında gözlemlenen değişim şeklinde (Şekil 19) görselleştirilmiştir.

Konut bölgesinde, pik saatlerde gerçekleştirilen talep güçlerin bir kısmı, pik zaman diliminin sonrasına kaydırılmıştır. Yük ötelenmesi sonrasında ötelenen tüketim, şebekeden talep edilen güç ve birim enerji bedelinin düşük olduğu zaman diliminde gerçekleşmiştir. Enerji tüketiminin sabit kalarak, günlük güç tüketiminin homojen dağılmasının amaçlandığı bu yöntem sonrasında, '**367,82 kW**' büyüklüğündeki güç değeri, pik saatler sonrasına ötelenmiştir. Öteleme öncesinde bireysel kullanıcının faturalandırma bedeli, '**197,85 TL**' olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 19.**Yük ötelenmesi metodu öncesi ve sonrasında yük dağılım karakteristiği (Load distribution characteristics before and after load shifting method)

İlgili elektrikli taşıt profilinin şebekeye entegrasyonu sonrası, yük öteleme metodu uygulanmış ve gerçekleşen değişimler tabloda (Tablo 2) belirtilmiştir. Mevcut durumda, kış aylarında '**186,6 kW**' olarak gerçekleşen en yüksek güç talebi; elektrikli taşıtların katılımı sonrasında '**1362 kW**' değerine yükselmiştir. Yük ötelenmesi ile '**367,82 kW**' değerindeki güç, pik saatlerin sonrasına ötelenmiştir. Yük ötelenmesi metodunun uygulanması sonrasında; bu talep güç değeri, '**994,18 kW**' değerine düşürülmüştür. Bu öteleme sonrasında, dağıtım transformatörü doluluk oranı, '**%86,71**' değerinden, '**%62,95**' değerine geriletilmiş ve ideal çalışma bölgesine ulaşılmıştır. Yük ötelenmesi sonrasında, hane başına faturalandırma tutarında, '**14,92 TL**'lik azalma sağlanarak, mevcut tüketim '**197,85 TL**' olarak ücretlendirilmiştir.

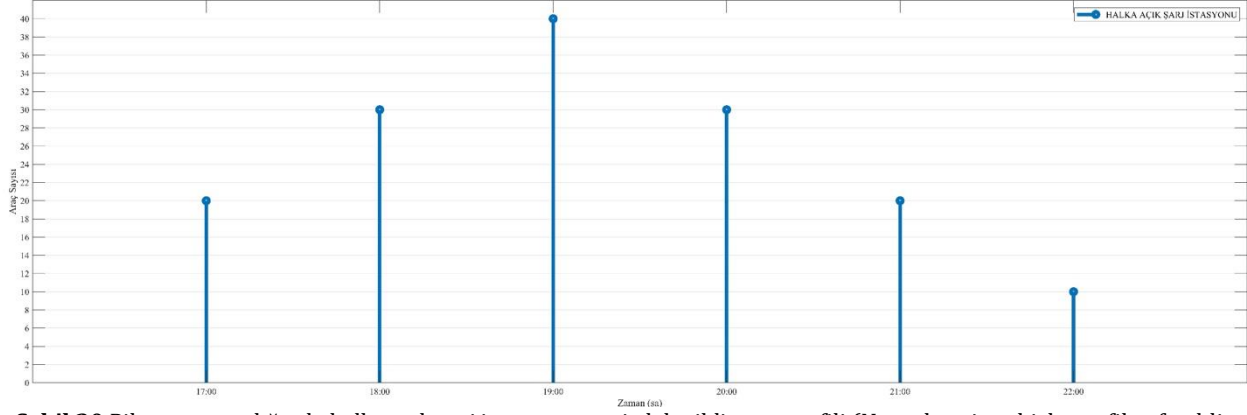
**Tablo 2.** Yük Ötelenmesi Metodunun Uygulanması Sonrasında Değişim Tablosu (Table of Changes after the Application of the Load Shift Method)

|   | MEVCUT DURUM (KIŞ) | ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN KATILIMI SONRASI | YÜK ÖTELEMESİ SONRASI |
|---|--------------------|--|-----------------------|
| ŞEBEKEDEN ÇEKİLEN EN YÜKSEK GÜÇ(kW)               | 186,6              | 1362                                   | 994,18 (-367,82)      |
| DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜ EN YÜKSEK DOLULUK ORANI(%) | 11,6924            | 86,71155                               | 62,9562               |
| HANE FATURALANDIRMA TUTARI(TL)                    | 212,7729           | 212,7729                               | 197,8523 (-14,9206)   |

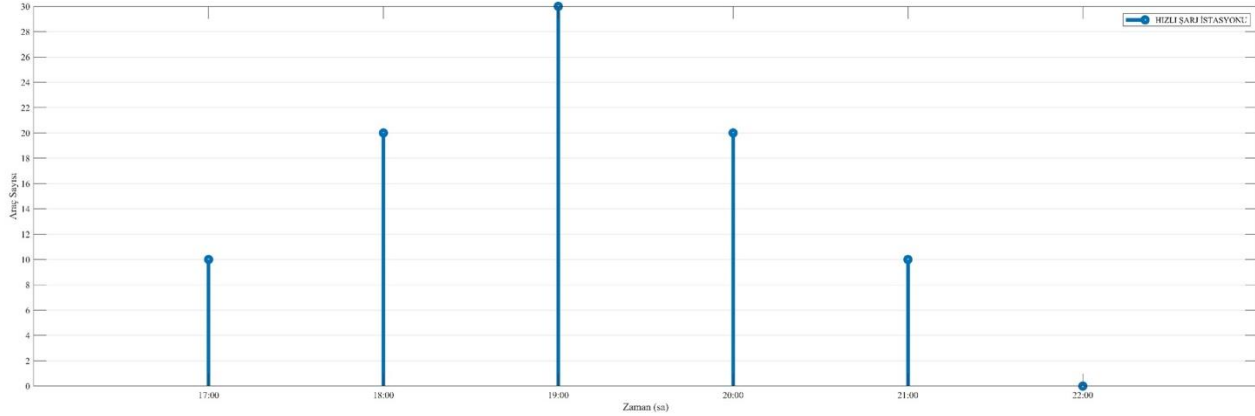
### 3.3.Yoğun Elektrikli Taşıtlarla Oluşan Transformatör ve Şebeke Karakteristiği (Transformer and Grid Characteristics with Intensive Electric Vehicle Participation)

Şebekenin farklı durumlar altında göstereceği tepkiler gözlenmek istenmiştir. Bu amaçla, şebekeye dahil olacak elektrikli taşıtların profili yeniden kurgulanmış ve şekillerde (Şekil 20, 21) görselleştirilmiştir. Kurgulanan yeni senaryo ile dağıtım transformatörü ve şebeke üzerindeki baskının artırılması amaçlanmıştır.

Elektrikli taşıtların, '17:00-19:00' saat aralığında, 'artarak' şebekeye dahil olması, '19:00-22:00' saat aralığında ise 'azalarak' şebekeye bulunması kurgulanmıştır. Seçili senaryoda, elektrikli taşıtların şebekeye en yüksek katılımı saat '19:00', en düşük katılım ise saat '22:00'de gerçekleşmiştir. Saat '19:00' da şebekeden şarj olan, '70' araçtan; '40' adedi 'Halka Açık Şarj İstasyonu (11 kW)' aracılığıyla, '30' adedi ise 'Hızlı Şarj İstasyonu (50 kW)' aracılığıyla şarj olmaktadır.

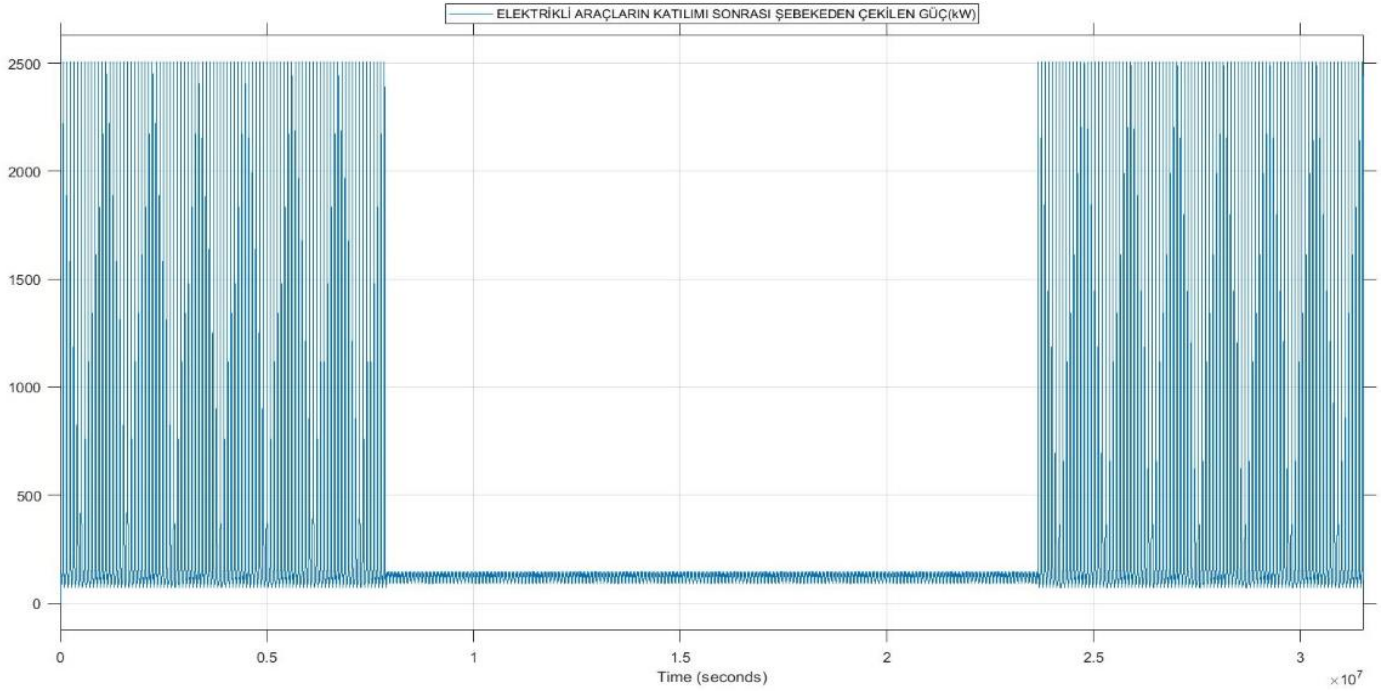


Şekil 20. Pik zaman aralığında halka açık şarj istasyonu yeni elektrikli taşıtların profili (New electric vehicle profile of public charging station at peak time range)



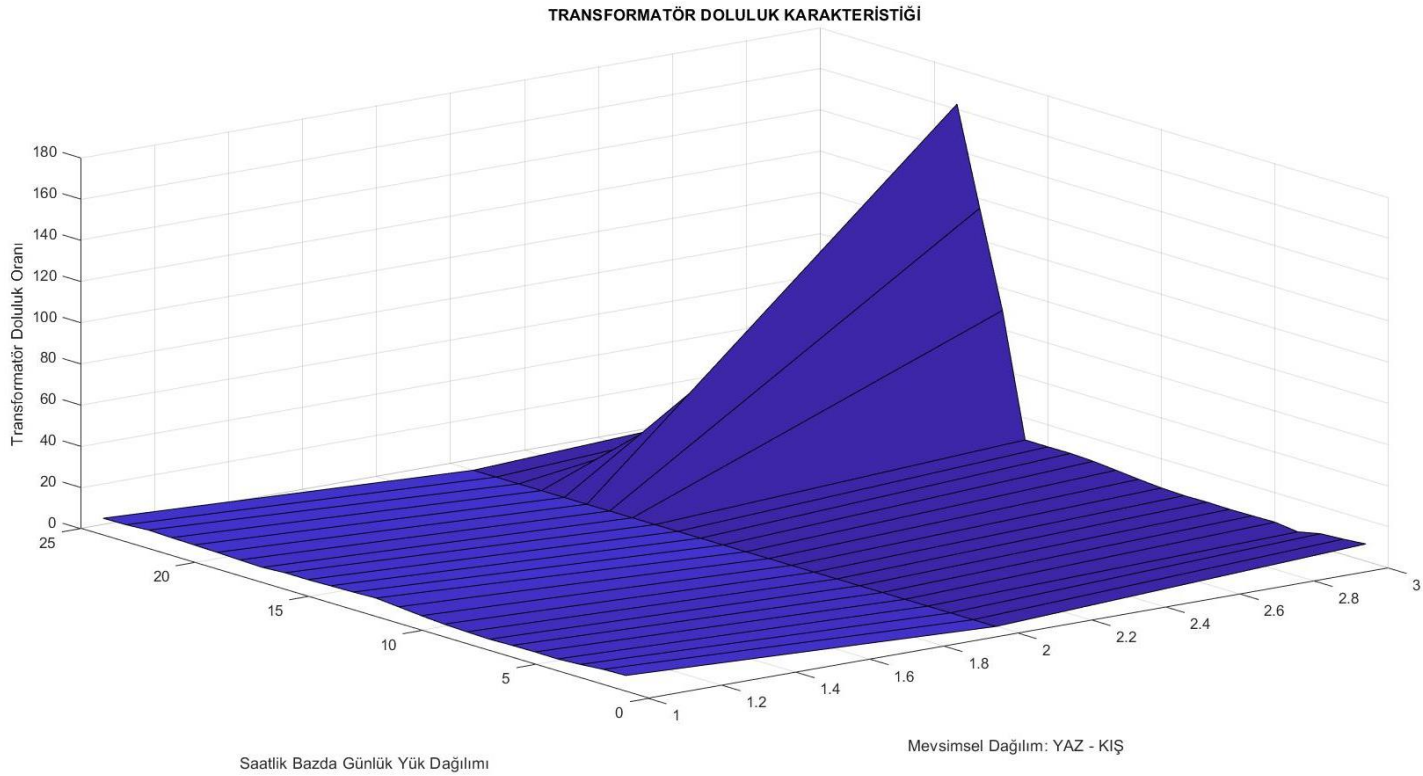
Şekil 21. Pik Zaman Aralığında Hızlı Şarj İstasyonu Yeni Elektrikli Taşıtların Profili (New Electric Vehicle Profile of Fast Charging Station at Peak Time Range)

Şekilde (Şekil 22) 'mavi renkle' temsil edilen karakteristik, şebekeden çekilen güç (kW) değerini göstermektedir. Yeni elektrikli taşıtların şebekeye katılımı sonrasında şebekeden çekilen en yüksek güç değeri, '2506,1 kW' olarak ölçülmüştür. Yaz aylarını temsil eden zaman dilimi, mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



**Şekil 22.**Yeni elektrikli taşıt profilinin dahili sonrasında şebeke talep karakteristiği (Grid demand characteristics of new electric vehicle profile after internal)

Belirtilen yeni elektrikli taşıt profilinin, şebekeye dahili ardından oluşan, dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği şekilde (Şekil 23) belirtilmiştir. Yeni elektrikli taşıt profilinin şebekeye dahili sonrasında gözlemlenen, en yüksek doluluk oranı, '%162,60' olarak gerçekleşmiş ve transformatörün doyuma girmesine neden olmuştur. Yaz aylarını temsil eden bölge (1-2 aralığı), mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



**Şekil 23.**Yeni elektrikli taşıt profilinin dahili sonrasında dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği (Distribution transformer occupancy characteristic after internal post new electric vehicle profile)

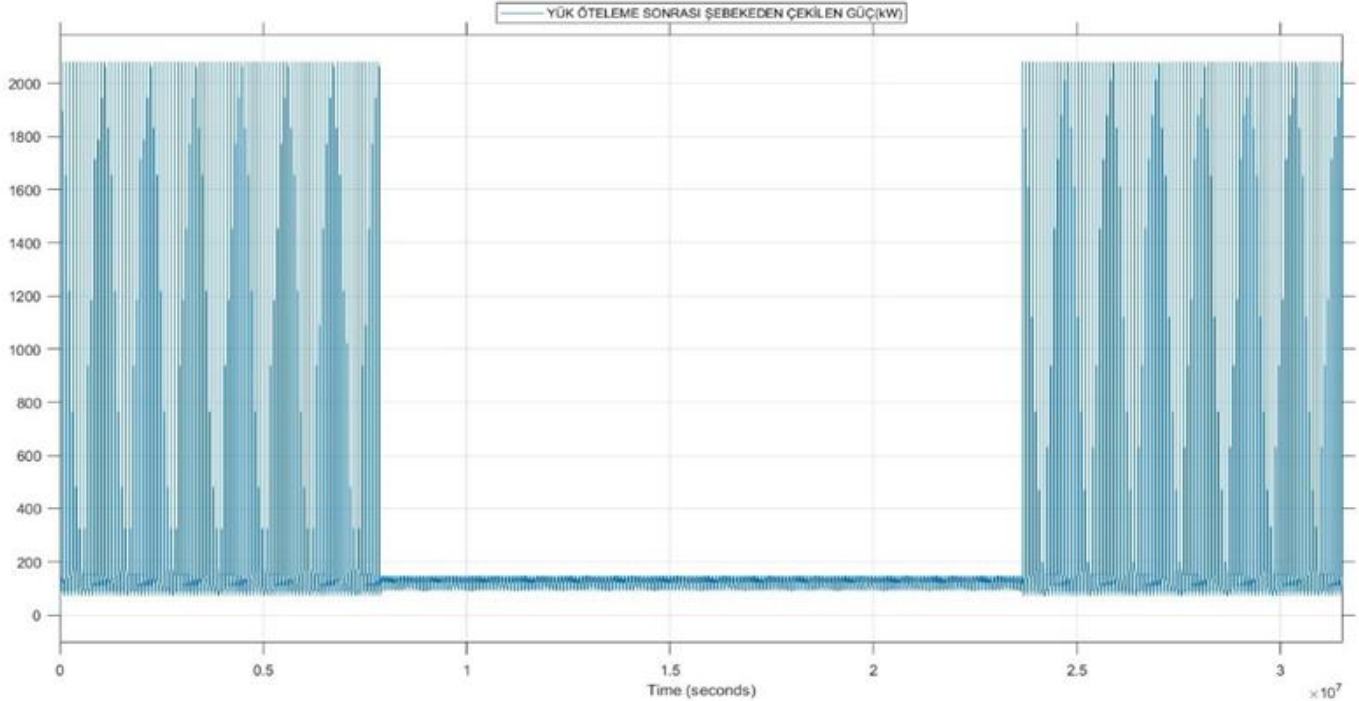
İlgili elektrikli taşıt profilinin şebekeye entegrasyonu sonrasında gerçekleşen değişimler tabloda (Tablo 3) belirtilmiştir. Mevcut durumda, kış aylarında **'186,6 kW'** olarak gerçekleşen en yüksek güç talebi, yeni elektrikli taşıt profilinin şebekeye dahili sonrasında, **'2506,1 kW'** olarak ölçülmüştür. Yeni elektrikli taşıt profilinin şebekeye katılımı sonrasında, dağıtım transformatörü doluluk oranı, **'%162,60'** değerine yükselmiştir. Transformatörün, ideal çalışma bölgesinde çalışmamasıyla oluşabilecek olumsuz etkilerden kaçınılması amaçlanmış ve çözüm metodlarının uygulanmasına geçilmiştir.

**Tablo 3.** Yeni elektrikli taşıt profilinin dahili sonrasında değişim tablosu (Change table of new electric vehicle profile after internal)

| KIŞ   | MEVCUT DURUM | ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN KATILIMI SONRASI (AZ YOĞUN) | ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN KATILIMI SONRASI (YOĞUN) |
|---|--------------|---|--|
| ŞEBEKEDEN ÇEKİLEN EN YÜKSEK GÜÇ(kW)               | 186,6        | 1362  | 2506,1 (+1144,1)                               |
| DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜ EN YÜKSEK DOLULUK ORANI(%) | 11,6924      | 86,71155  | 162,6044                                       |
| HANE FATURALANDIRMA TUTARI(TL)                    | 212,7729     | 212,7729  | 212,7729                                       |

### 3.3.1.Yoğun Elektrikli Taşıt Katılımı Sonrası Yük Öteleme Metodunun Uygulanması (Application of Load Shifting Method After Intensive Electric Vehicle Participation)

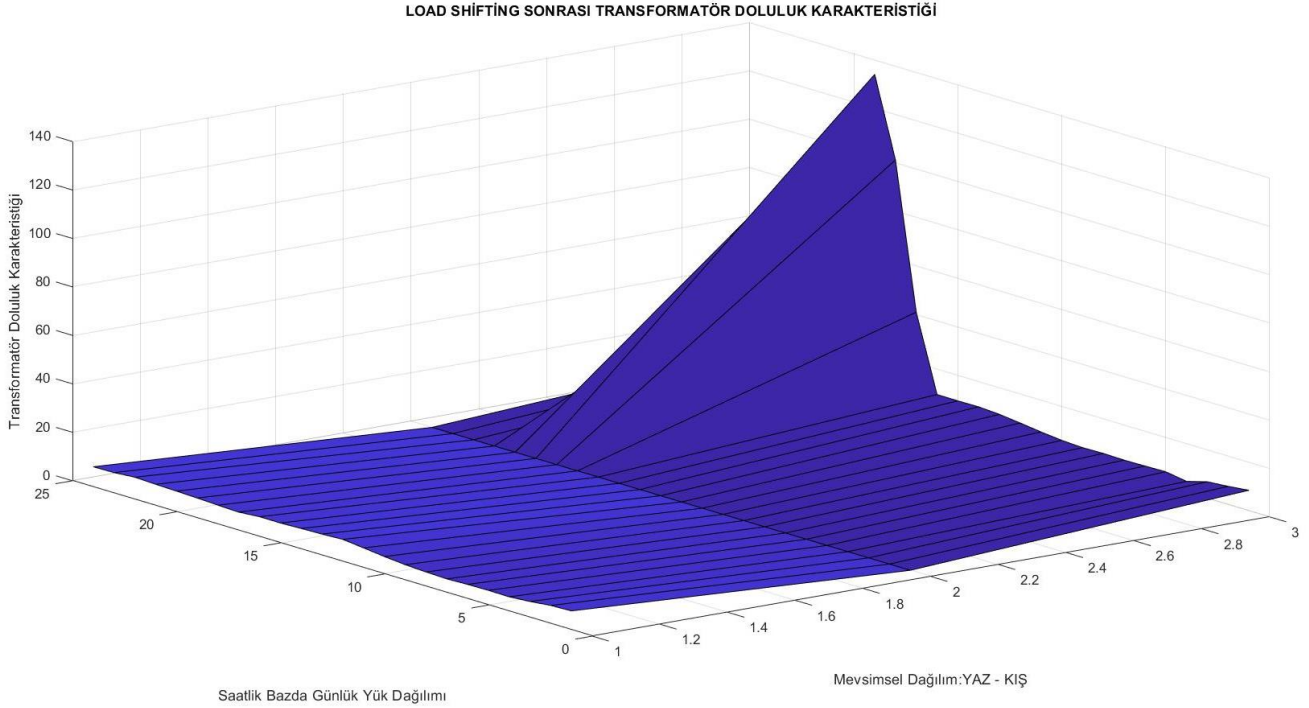
Yeni koşullar altında, yük öteleme metodu uygulanarak transformatör doluluk değerlerinin doyum sınırının (%80) altına düşürülmesi amaçlanmıştır. Yeni elektrikli taşıt profilinin şebekeye katılımı sonrasında, yük öteleme metodu tekrar uygulanmıştır. Yük ötelenmesi metodunun uygulanmasının ardından şebekeden çekilen en yüksek güç değeri **'2079,5 kW'** olarak ölçülmüştür.



**Şekil 24.**Yük öteleme metodunun uygulanması sonrasında şebeke talep karakteristiği (Grid demand characteristics after the application of the load shift method)

Yük öteleme metodunun uygulanmasının ardından oluşan dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği şeklindeki (Şekil 25) gibi gerçekleşmiştir. Yük ötelenmesinin uygulanmasının ardından, gerçekleşen en yüksek

doluluk oranı, '**%133,91**' olarak ölçülmüştür. Yük ötelemesi metodunun uygulanmasına rağmen; transformatör doluluk oranları ideal çalışma bölgesine ulaşamamıştır. Yaz aylarını temsil eden bölge (1-2 aralığı), mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



**Şekil 25.**Yük ötelemesi metodunun uygulanması sonrasında dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği (Distribution transformer occupancy characteristics after the application of the load shift method)

İlgili elektrikli taşıt profilinin şebekeye entegrasyonu sonrası yük öteleme metodu uygulanmış ve gerçekleşen değişimler tabloda (Tablo 4) belirtilmiştir. Mevcut durumda, kış aylarında '**186,6 kW**' olarak gerçekleşen en yüksek güç talebi; yeni elektrikli taşıt profilinin katılımı sonrasında '**2506,1 kW**' değerine yükselmiştir. Yük ötelemesi ile '**426,6 kW**' değerinde güç pik saatlerin sonrasına ötelenmiş ve talep güç değeri, '**2079,5 kW**' değerine düşürülmüştür. Bu öteleme sonrasında; dağıtım transformatörü doluluk oranı, '**%162,60**' değerinden '**%133,91**' değerine düşürülmüştür; ancak yine de ideal doluluk sınırlarına ulaşamamıştır. Bu durum sonucunda, bir diğer çözüm metodu olan dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonunu da gerçekleştirilmiştir.

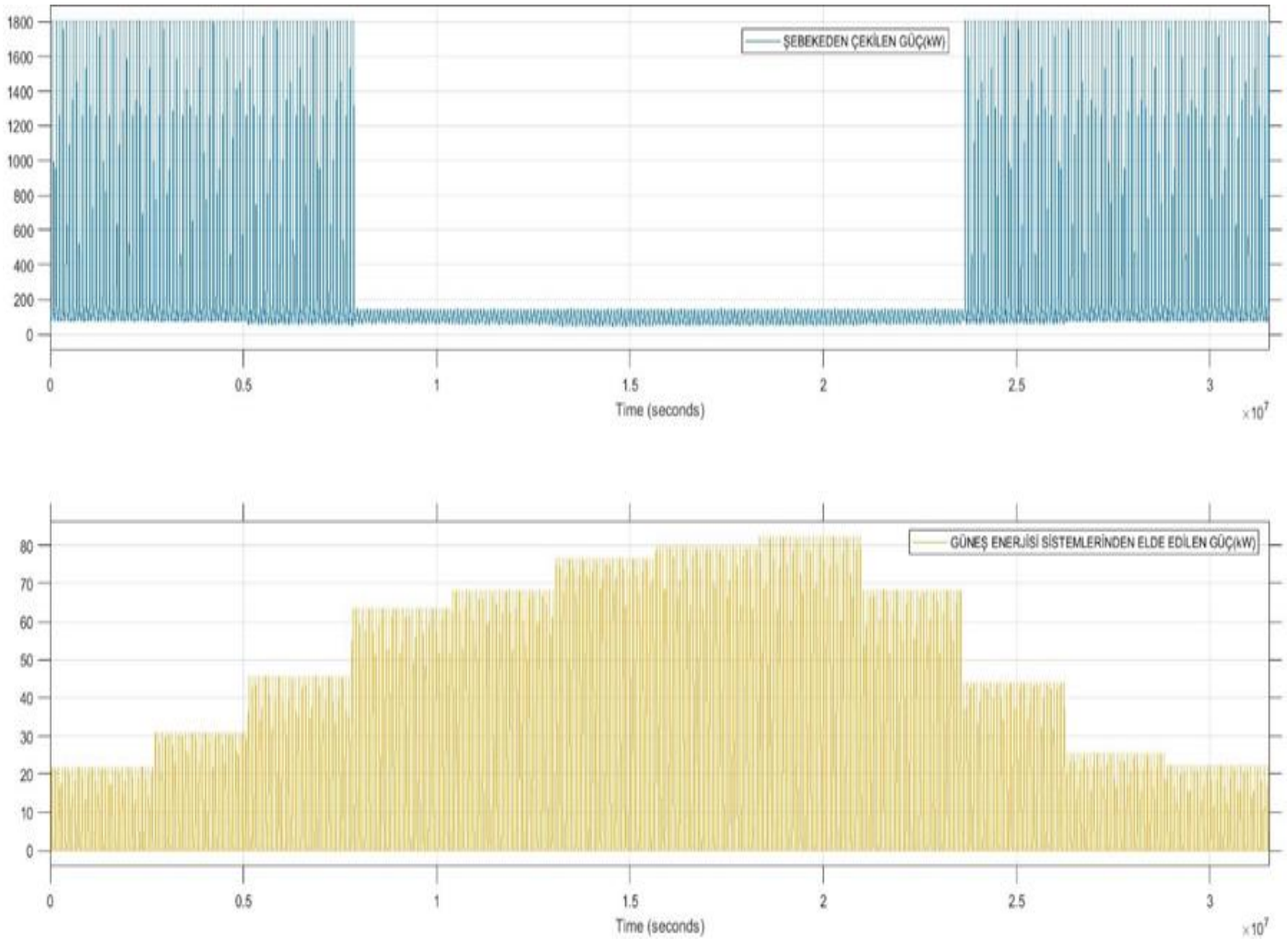
**Tablo 4.**Yük ötelemesi metodunun uygulanması sonrasında değişim tablosu (Table of changes after the application of the load shift method)

| KIŞ   | MEVCUT DURUM | ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN KATILIMI SONRASI (YOĞUN) | YÜK ÖTELEMESİ SONRASI |
|---|--------------|--|-----------------------|
| ŞEBEKEDEN ÇEKİLEN EN YÜKSEK GÜÇ(kW)               | 186,6        | 2506,1   | 2079,5 (-426,6)       |
| DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜ EN YÜKSEK DOLULUK ORANI(%) | 11,6924      | 162,6044                                       | 133,9159              |
| HANE FATURALANDIRMA TUTARI(TL)                    | 212,7729     | 212,7729                                       | 197,8523 (-14.9206)   |

### 3.3.2.Yoğun Elektrikli Taşıt Katılımı Sonrası Yük Öteleme Metodu ve Dağıtılmış Üretim Sistemi Entegrasyonu (Load Shifting Method and Integration of Distributed Generation System After Intensive Electric Vehicle Participation)

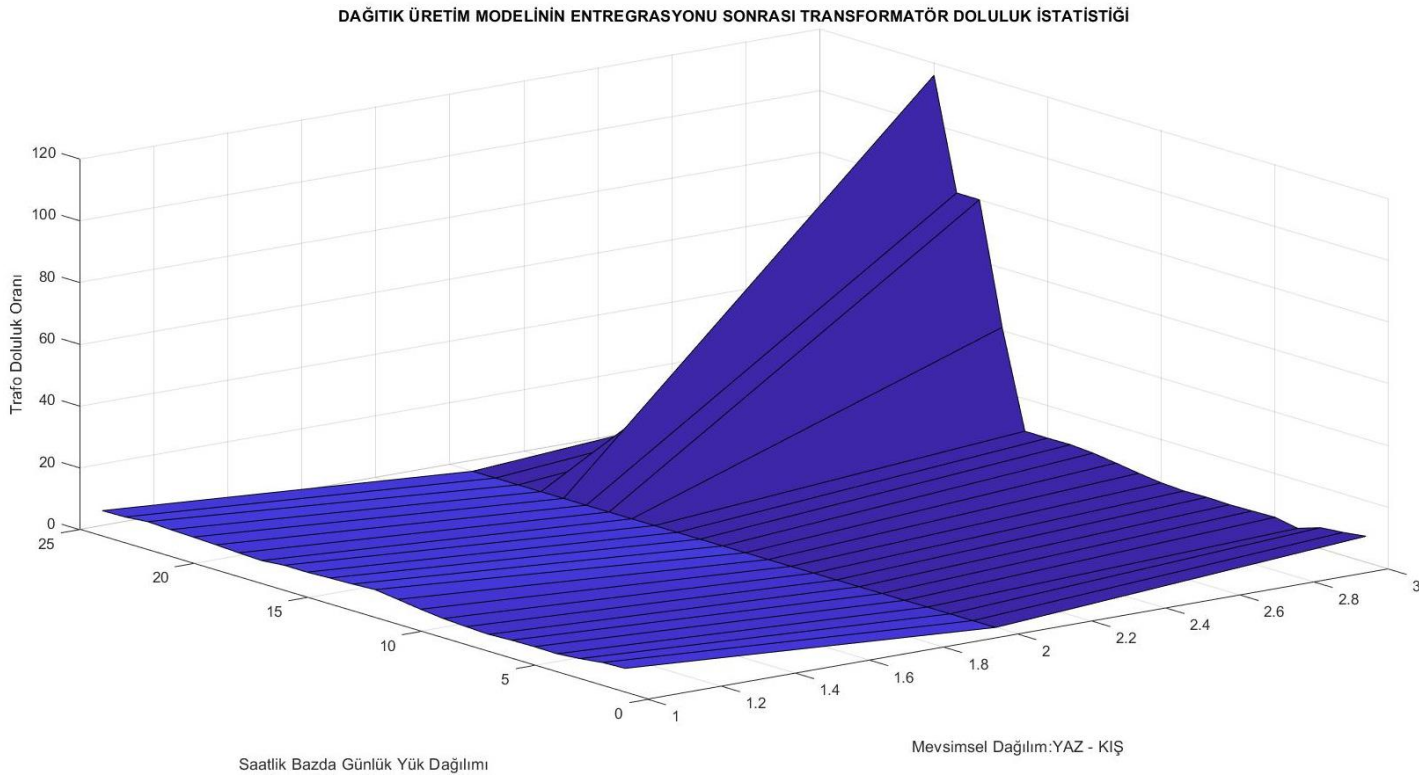
Bu noktada, çözüm önerimizin ikinci adımı olan 'dağıtılmış üretim modellerinin şebekeye entegrasyonuna' geçilmiştir. Bu aşamada hedeflenen, yük bölgesinin enerji ihtiyacının belirli bir kısmının dağıtılmış güç sistemlerinden karşılanması ve şebeke üzerindeki baskının azaltılmasıdır. İlgili veriler aracılığıyla, '**1000 metre karelik(m<sup>2</sup>)**', '**yüzde yirmi (%20) verimle**' çalışan; güneş enerji santralının üretebileceği güç değerleri hesaplanmıştır.

Şekilde (Şekil 26) 'mavi renkle' temsil edilen karakteristik, şebekeden çekilen güç (kW) değerini, 'sarı renkle' görselleştirilmiş karakteristik ise dağıtılmış güç sisteminden elde edilecek güç (kW) değerini ifade etmektedir. Dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında, güneş enerjisi sistemlerinden elde edilen güç değeri, '1 Ocak' için '**1262 kW**' olarak hesaplanmıştır. Dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında, şebekeden çekilen en yüksek güç değeri, '**1807,66 kW**' olarak ölçülmüştür. Yaz aylarını temsil eden zaman dilimi, mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



**Şekil 26.**Dağıtılmış üretim sistemlerinin entegrasyonu sonrası şebeke talep karakteristiği (Grid demand characteristics after integration of distributed generation systems)

Dağıtılmış güç sisteminin şebekeye entegrasyonu ardından oluşan dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği şekildeki (Şekil 27) gibi gerçekleşmiştir. Dağıtılmış güç sisteminin entegrasyonu ardından gerçekleşen en yüksek doluluk oranı, '**%115,88**' olarak ölçülmüştür. Dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonuna rağmen; transformatör doluluk değerleri, ideal çalışma bölgesinde gerçekleşmemiştir. Yaz aylarını temsil eden bölge (1-2 aralığı), mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



**Şekil 27.** Dağıtılmış üretim sistemlerinin entegrasyonu sonrasında dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği ( Distribution transformer occupancy characteristics after integration of distributed generation systems)

İlgili elektrikli taşıt profilinin şebekeye dahili sonrası, yük öteleme metodunun uygulanması ve dağıtılmış üretim sisteminin şebekeye entegrasyonu gerçekleştirilmiş, değişimler tabloda (Tablo 5) belirtilmiştir. Mevcut durumda kış aylarında **'186,6 kW'** olarak gerçekleşen en yüksek güç talebi, yeni elektrikli taşıt profilinin katılımı sonrasında, **'2506,1 kW'** değerine yükselmiştir. Yük öteleme metodunun uygulanması sonrasında talep güç değeri, **'426,6 kW'** azalışla, **'2079,5 kW'** değerine düşürülmüştür. Dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında, **'271,84 kW'** değerinde güç, güneş enerjisi sistemlerinden karşılanmıştır. Bu durum sonucunda şebekeden çekilen en yüksek güç değeri, **'271,84 kW'**lık azalışla, **'1807,6 kW'** olarak ölçülmüştür. Bu değişimler sonucunda dağıtım transformatörü doluluk oranı, **'%133,91'** değerinden, **'%115,88'** değerine düşürülmüştür; ancak yine de ideal doluluk sınırlarına ulaşamamıştır. Bu durum sonucunda, dağıtılmış güç sistemlerinin elde edilecek güç değerinin artırılması gerekmiş ve mevcut güneş enerjisi sistemlerinin yüzey alanları artırılmıştır.

**Tablo 5.** Dağıtılmış Güç Sistemlerinin Entegrasyonu Sonrasında Değişim Tablosu (Change Table after Integration of Distributed Power Systems)

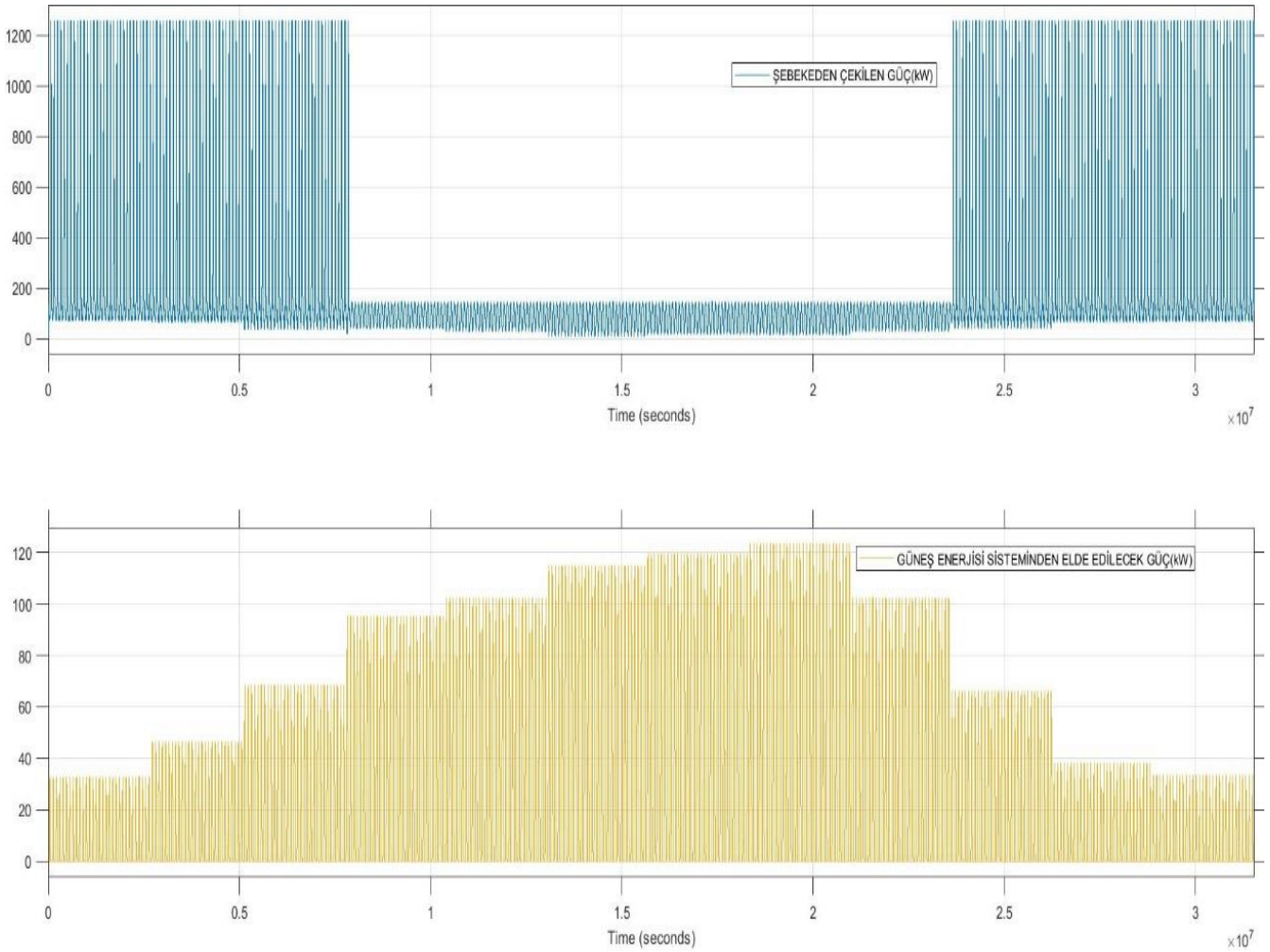
| KIŞ   | MEVCUT DURUM | ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN KATILIMI SONRASI (YOĞUN) | YÜK ÖTELEMESİ SONRASI | DAĞITILMIŞ GÜÇ SİSTEMLERİNİN ENTEGRASYONU SONRASI |
|---|--------------|--|-----------------------|---|
| ŞEBEKEDEN ÇEKİLEN EN YÜKSEK GÜÇ(kW)               | 186,6        | 2506,1   | 2079,5 (-426,6)       | 1807,66 (-271,84)                                 |
| DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜ EN YÜKSEK DOLULUK ORANI(%) | 11,6924      | 162,6044                                       | 133,9159              | 115,8850  |
| HANE FATURALANDIRMA TUTARI(TL)                    | 212,7729     | 212,7729                                       | 197,8523 (-14.9206)   | 197,8523  |



### 3.3.3.Yoğun Elektrikli Taşıt Katılımı Sonrasında Yük Öteleme Metodunun ve Yüzey Alanı Arttırılmış Dağıtılmış Üretim Sisteminin Entegrasyonu (Load Shifting Method and Integration of the Distributed Generation System with Increased Surface Area After Intensive Electric Vehicle Participation)

Dağıtım transformatörünün ideal çalışma koşullarında çalışabilmesi için, güneş enerjisi santralının üreteceği güç değerlerinin arttırılması gerekmektedir. Bu amaçla **'1000 metre karelik(m<sup>2</sup>)'** yüzey alanına sahip üretim bölgesinin yüzey alanı, **'1500 metre kareye (m<sup>2</sup>)'** çıkartılmıştır.

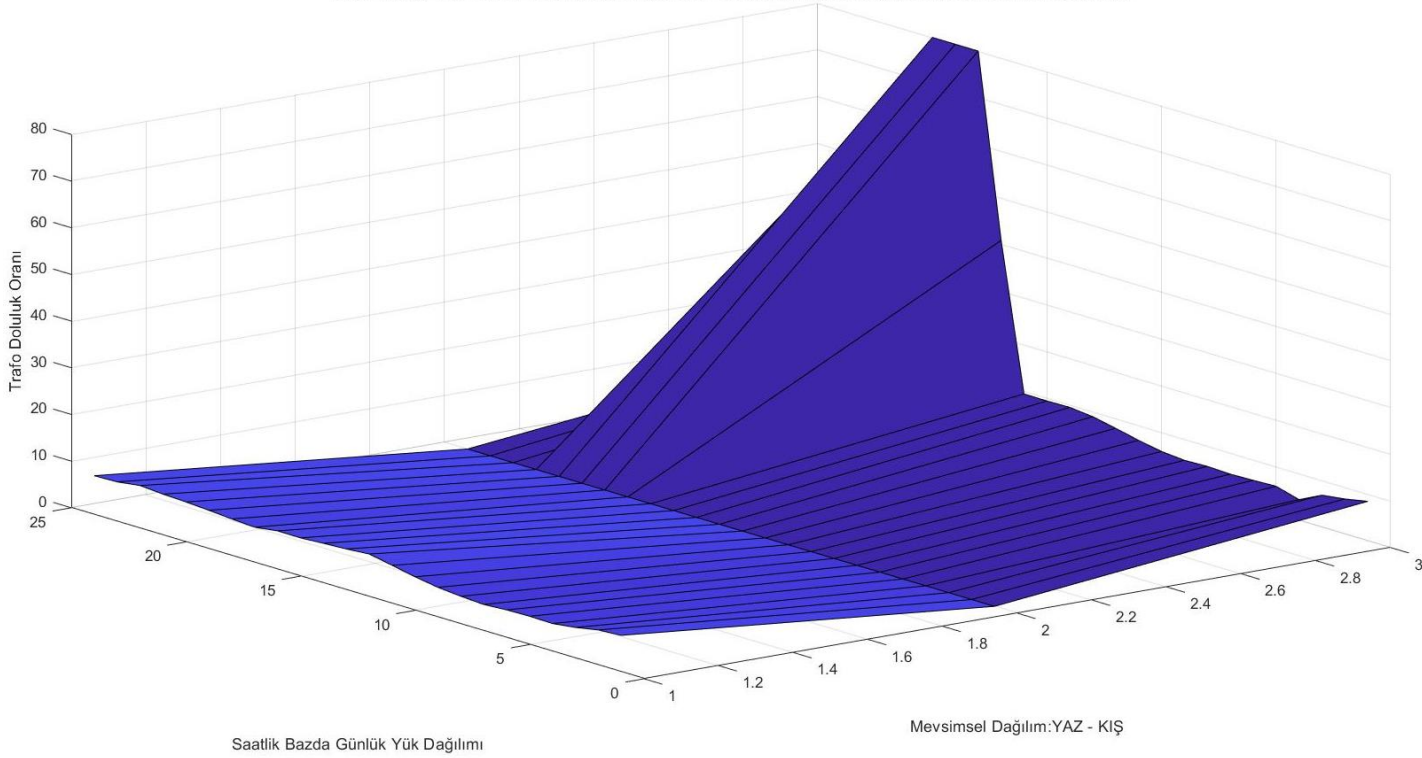
Şekilde (Şekil 28) 'mavi renkle' temsil edilen karakteristik, şebekeden çekilen güç (kW) değerini, 'sarı renkle' görselleştirilmiş karakteristik ise, dağıtılmış güç sisteminden elde edilecek güç (kW) değerini ifade etmektedir. Yeniden boyutlandırılmış dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında güneş enerjisi sistemlerinden elde edilen güç değeri, '1 Ocak' için **'1893 kW'** olarak gerçekleşmiştir. Dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında, şebekeden çekilen en yüksek güç değeri, **'1258,5 kW'** olarak ölçülmüştür. Yaz aylarını temsil eden zaman dilimi, mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.



**Şekil 28.**Yüzey alanı arttırılmış dağıtılmış üretim sistemlerinin entegrasyonu sonrasında şebeke talep karakteristiği (Grid demand characteristics after İntegration of distributed generation systems with increased surface area)

Yüzey alanı arttırılmış dağıtılmış güç sisteminin şebekeye entegrasyonu ardından oluşan, dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği şeklindeki (Şekil 29) gibi gerçekleşmiştir. Yüzey alanı arttırılmış dağıtılmış güç sisteminin şebekeye entegrasyonu ardından gerçekleşen en yüksek doluluk oranı, **'%80'** olarak ölçülmüştür. Dağıtılmış güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonuna ile transformatör doluluk oranları, ideal doluluk sınırlarına ulaştırılabilmektedir. Yaz aylarını temsil eden bölge (1-2 aralığı), mevcut karakteristiğiyle görselleştirilmiştir.

DAĞITIK ÜRETİM MODELİNİN ENTEGRASYONU SONRASI TRANSFORMATÖR DOLULUK İSTATİSTİĞİ



**Şekil 29.**Yüzey alanı arttırılmış dağıtılmış üretim sistemlerinin entegrasyonu sonrasında dağıtım transformatörü doluluk karakteristiği (Distribution transformer occupancy characteristics after integration of distributed generation systems with increased surface area)

İlgili elektrikli taşıt profilinin şebekeye dahili sonrası, yük öteleme metodunun uygulanması ve arttırılmış yüzey alanlı dağıtılmış üretim sisteminin şebekeye entegrasyonu gerçekleştirilmiş, değişimler tabloda (Tablo 6) belirtilmiştir. Mevcut durumda, kış aylarında **'186,6 kW'** olarak gerçekleşen en yüksek güç talebi; yeni elektrikli taşıt profilinin katılımı sonrasında **'2506,1 kW'** değerine yükselmiştir. Yük ötelemesi ile **'426,6 kW'** değerinde güç pik saatlerin sonrasına ötelenmiştir ve talep güç değeri, **'2079,5 kW'** değerine düşürülmüştür. Güneş enerjisi sistemlerinin yüzey alanı arttırılarak, simülasyon tekrar gerçekleştirilmiştir. Bu durum sonucunda en yüksek talep güç değeri **'2079,5 kW'** değerinden **'1258,5 kW'** değerine düşürülmüştür. Yük ötelemesi metodunun uygulanması ve dağıtılmış üretim sistemlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında dağıtım transformatörü doluluk oranı, **'%162,60'** değerinden **'%80'** değerine düşürülmüştür. Çözüm metotlarının uygulanması sonucunda dağıtım transformatörünün ideal çalışma bölgesine ulaşılmıştır.

**Tablo 6.**Yüzey alanı arttırılmış dağıtılmış güç sistemlerinin entegrasyonu sonrasında değişim tablosu (Change table after integration of distributed power systems with increased surface area)

| KIŞ   | MEVCUT DURUM | ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN KATILIMI SONRASI (YOĞUN) | YÜK ÖTELEMESİ SONRASI  | DAĞITILMIŞ GÜÇ SİSTEMLERİNİN ENTEGRASYONU SONRASI |
|---|--------------|--|------------------------|---|
| ŞEBEKEDEN ÇEKİLEN EN YÜKSEK GÜÇ(kW)               | 186,6        | 2506,1   | 2079,5<br>(-426,6)     | 1258,5<br>(-821)                                  |
| DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜ EN YÜKSEK DOLULUK ORANI(%) | 11,6924      | 162,6044                                       | 133,9159               | 80  |
| HANE FATURALANDIRMA TUTARI(TL)                    | 212,7729     | 212,7729                                       | 197,8523<br>(-14.9206) | 197,8523  |

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

Mevcut çalışmanın literatüre yapmayı amaçladığı katkı, elektrikli taşıtların şebekeler üzerindeki etkilerinin çeşitli senaryolar dahilinde gözlemlenmesi, sonuçlar doğrultusunda üretici ve tüketici bazlı çözümlerin bir arada sunulmasıdır. Bu amaçla, elektrikli taşıtların şebeke ve dağıtım transformatörleri üzerindeki etkisi gözlemlenmiş ve mevcut transformatörlerin kullanım ömürlerinin uzatılması amacıyla çözüm tekliflerinde bulunulmuştur. Çalışmamız, yük öteleme metodunun uygulanmasını ve yenilenebilir kaynaklı dağıtılmış güç üretim sistemlerinin şebekeye entegrasyonunu teklif etmektedir.

Yük öteleme metodunun uygulanması amacıyla, bir konut bölgesinin saatlik yük profilinde yer alan elektrikli ev aletleri, kullanıcı davranışları esas alınarak öncelik sıralamasına tabii tutulmuştur. Dağıtım transformatörünün doluluk oranı esas alınarak, öncelik sıralamasıyla yük gruplarının pik saatler sonrasına ötelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Yük öteleme metoduyla, transformatör doluluk değerlerinin ideal çalışma bölgesinde gerçekleşmesinin sağlanamaması durumunda, dağıtılmış güç üretimi sistemlerinin alçak gerilim barasından şebekeye entegrasyonu gerçekleştirilmektedir. Dağıtılmış güç üretimi ile talep gücü karşılama şebekeye yardımcı olunması ve dağıtım transformatörü üzerindeki baskının azaltılması hedeflenmektedir. Şebekeye entegrasyonu önerilen yenilenebilir dağıtılmış güç üretimi sistemine kaynak olarak güneş enerjisi seçilmiştir. Bölgesel solar radyasyon verileri aracılığıyla dağıtılmış üretim sistemlerinden elde edilebilecek güç değerlerine ulaşılmıştır. Çalışmada şebekeye entegre olan elektrikli taşıt sayısının oluşan etkiyi belirleyiciliği gözlemlenmiştir. Teklif edilen çözüm önerilerinin başarısının; yük öteleme metodunda katılım sağlayan hane sayısı, ilgili dağıtılmış üretim modelinde ise değişen yüzey alanıyla doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür.

Farklı senaryolar altında, şebekeden talep edilen güç ve dağıtım transformatörü doluluk değerleri incelenmiş ve çözüm önerileri uygulanmıştır. Çözüm metodlarının etkileri raporlandırılmış ve yük öteleme metodunun nihai kullanıcı faturalandırma tutarlarına etkisi gözlemlenmiştir. Mevcut dağıtım transformatörünün korunarak mali yönden izlenebilecek politikalar önerilmiştir. İlerleyen çalışmalarda, incelenecek şebekeye bölgesinin genişletilmesi ve farklı çözüm metodlarının eklenmesi öngörülmüştür.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

#### Kaynaklar (References)

- Ali Jafar-Nowdeh, Manoochehr Babanezhad, Saber Arabi-Nowdeh, Amirreza Naderipour, Hesam Kamyab, Zulkurnain Abdul-Malek, Vigna K. Ramachandaramurthy, Meta-heuristic matrix moth-flame algorithm for optimal reconfiguration of distribution networks and placement of solar and wind renewable sources considering reliability, *Environmental Technology & Innovation*, Volume 20, 2020, 101118, ISSN 2352-1864, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101118>.
- Alicia Triviño-Cabrera, José A. Aguado, Sebastián de la Torre, Joint routing and scheduling for electric vehicles in smart grids with V2G, *Energy*, Volume 175, 2019, Pages 113-122, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.184>.
- Ambe J. Njoh, A systematic review of environmental determinants of renewable energy performance in Ethiopia: A PESTECH analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,
- Andrady, A., Aucamp, P., Austin, A., Bais, A., Ballaré, C., Barnes, P. ve Zepp, R. (2015). Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: progress report. *Photochemical and Photobiological Sciences*. 15. 141. DOI: 10.1039/c7pp90001e
- Angel A. Bayod-Rújula, Future development of the electricity systems with distributed generation, *Energy*, Volume 34, Issue 3, 2009, Pages 377-383, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.12.008>.
- Ashok S., Banerjee, R. (2000). Load-management applications for the industrial sector, *Applied Energy*, Volume 66, Issue 2, 2000, Pages 105-111, ISSN 0306-2619. DOI: 10.1016/S0306-2619(99)00125-7
- Cindy Viviescas, Lucas Lima, Fabio A. Diuana, Eveline Vasquez, Camila Ludovique, Gabriela N. Silva, Vanessa Huback, Leticia Magalar, Alexandre Szklo, André F.P. Lucena, Roberto Schaeffer, Juan Roberto Paredes, Contribution of Variable Renewable Energy to increase energy security in Latin America: Complementarity and climate change impacts on wind and solar resources, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 113, 2019, 109232, ISSN 1364-0321,
- Dahai Zhang, Chenguang Liang, Meng Li, Yiping Luo, Keao Chen, Sohrab Mirsaedi, Jinghan He, Voltage frequency-based adaptive reclosing strategy for flexible DC power grids, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 131, 2021, 107164, ISSN 0142-0615, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107164>.

- Dilmaç, Ş., Topçu, S., Akman, M.S. (1996) mA study of solar ultraviolet radiation at Istanbul, Energy, Volume 21, Issue 3, 1996, Pages 189-195, ISSN 0360-5442, DOI:10.1016/0360-5442(95)00100-X
- Elkhattam, Walid & Salama, M.M.A.. (2004). Distributed generation technologies, definitions and benefits. Electric Power Systems Research. 71. 119-128. 10.1016/j.epsr.2004.01.006.
- Giovanni Barone, Annamaria Buonomano, Cesare Forzano, Giovanni Francesco Giuzio, Adolfo Palombo, Increasing renewable energy penetration and energy independence of island communities: A novel dynamic simulation approach for energy, economic, and environmental analysis, and optimization, Journal of Cleaner Production, Volume 311, 2021, 127558, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127558>.
- Gökçek, T., Ateş, Y. (2019). Dağıtık Güç Üretiminin Şebekeye Entegrasyonu ve Olası Etkilerinin İncelenmesi . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (15) , 216-228 . DOI: 10.31590/ejosat.521350 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.039>.  
Increasing renewable energy penetration and energy independence of island communities: A novel dynamic simulation approach for energy, economic, and environmental analysis, and optimization,
- Jochen Stiasny, Thierry Zufferey, Giacomo Pareschi, Damiano Toffanin, Gabriela Hug, Konstantinos Boulouchos, Sensitivity analysis of electric vehicle impact on low-voltage distribution grids, Electric Power Systems Research, Volume 191, 2021, 106696, ISSN 0378-7796, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106696>.  
Journal of Cleaner Production, Volume 311, 2021, 127558, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127558>.
- Jun Yang, Fuzhang Wu, Jun Yan, Yangjia Lin, Xiangpeng Zhan, Lei Chen, Siyang Liao, Jian Xu, Yuanzhang Sun, Charging demand analysis framework for electric vehicles considering the bounded rationality behavior of users, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 119, 2020, 105952, ISSN 0142-0615, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.105952>.
- Laibao Liu, Zheng Wang, Yang Wang, Jun Wang, Rui Chang, Gang He, Wenjun Tang, Ziqi Gao, Jiangtao Li, Changyi Liu, Lin Zhao, Dahe Qin, Shuangcheng Li, Optimizing wind/solar combinations at finer scales to mitigate renewable energy variability in China, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 132, 2020, 110151, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110151>.
- Laicane, I., Blumberga, D., Blumberga, A., Rosa, M. (2015). Evaluation of Household Electricity Savings. Analysis of Household Electricity Demand Profile and User Activities, Energy Procedia, Volume 72, 2015, Pages 285-292, ISSN 1876-6102, DOI:10.1016/j.egypro.2015.06.041
- M. Pagani, W. Korosec, N. Chokani, R.S. Abhari, User behaviour and electric vehicle charging infrastructure: An agent-based model assessment, Applied Energy, Volume 254, 2019, 113680, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113680>.
- Maria Stefan, Jose Gutierrez, Pere Barlet, Eduardo Prieto, Oriol Gomis, Rasmus L. Olsen, (Position paper) Characterizing the Behavior of Small Producers in Smart Grids A Data Sanity Analysis, Procedia Computer Science, Volume 168, 2020, Pages 224-231, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.264>.
- Matthieu Dubarry, Arnaud Devie, Karl Stein, Moe Tun, Marc Matsuura, Richard Rocheleau, Battery Energy Storage System battery durability and reliability under electric utility grid operations: Analysis of 3 years of real usage, Journal of Power Sources, Volume 338, 2017, Pages 65-73, ISSN 0378-7753, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.11.034>.
- Mohd Rizwan Khalid, Mohammad Saad Alam, Adil Sarwar, M.S. Jamil Asghar, A Comprehensive review on electric vehicles charging infrastructures and their impacts on power-quality of the utility grid, eTransportation, Volume 1, 2019, 100006, ISSN 2590-1168, <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2019.100006>.
- Muhammad Babar, Muhammad Usman Tariq, Mian Ahmad Jan, Secure and resilient demand side management engine using machine learning for IoT-enabled smart grid, Sustainable Cities and Society, Volume 62, 2020, 102370, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102370>.
- Musa Khan, Haishun Sun, Yingmeng Xiang, Di Shi, Electric vehicles participation in load frequency control based on mixed H2/H∞, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 125, 2021, 106420, ISSN 0142-0615, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106420>.
- Nadhirah O., Mohd Aifaa M.A., Ainnur Farah Izzati M.S., Muhammad Syafiq Anwar M. (2020). Estimating synthetic load profile based on student behavior using fuzzy inference system for demand side management application. DOI:10.3906/elk-1912-101
- Nikolaos Iliopoulos, Miguel Esteban, Shogo Kudo, Assessing the willingness of residential electricity consumers to adopt demand side management and distributed energy resources: A case study on the Japanese market, Energy Policy, Volume 137, 2020, 111169, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111169>.
- Renault MAİS MOTORLU ARAÇLAR İMAL VE SATIŞ A.Ş. Erişim adresi: <https://www.renault.com.tr/elektrikli-araclar/yeni-zoe/sarj-batarya.html>
- S. Pal, M. Kumar and R. Kumar, "Price Aware Residential Demand Response With Renewable Sources and Electric Vehicle," 2017 IEEE International WIE Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE), 2017, pp. 211-214, doi: 10.1109/WIECON-ECE.2017.8468915.
- Sen, G., Boynuegri, A.R., Uzunoglu, M. (2011). ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞARJ YÖNTEMLERİ VE ARAÇLARIN ŞEBEKEYLE BAĞLANTISINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLERE YÖNELİK ÇÖZÜM ÖNERİLERİ. DOI:10.13140/2.1.1956.8648.
- Sevgi L. 2005. EMC, Güç Kalitesi ve Harmonik Analizi, Endüstri & Otomasyon Dergisi. 3. Şimşek B. 2011. Lisanssız Elektrik Üreticilerinin Elektrik Dağıtım Sistemine Bağlantı Usul ve Esasları ile ilgili Teknik Sorunlar Semineri. 4. Basa Arsoy A., Perdahçı C., 2010. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı (ICCI), 13 Mayıs 2010, İstanbul.

- Simona-Vasilica Oprea, Adela Bâra, Bogdan George Tudorică, Maria Irène Călinoiu, Mihai Alexandru Botezatu, Insights into demand-side management with big data analytics in electricity consumers' behaviour, Computers & Electrical Engineering, Volume 89, 2021, 106902, ISSN 0045-7906, <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106902>.
- Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi [TEDAŞ]. (2021). *Elektrik Tarifeleri*. Erişim adresi: [https://www.tedas.gov.tr/#!tedas\\_tarifeler](https://www.tedas.gov.tr/#!tedas_tarifeler).
- Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Derneği [TEHAD]. (2020, Temmuz). *Türkiye Elektrikli Otomobil Satış Rakamları*. Erişim adresi: <http://tehad.org/2020/07/23/2020-ilk-6-ayinda-satilan-elektrikli-ve-hibrid-otomobil-satis-rakamlari-aciklandi/>  
Volume 147, 2021, 111243, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111243>.
- World Meteorological Organization [WMO]. (2020). *Daily ISTANBUL mean temperature*. Erişim adresi: <http://climexp.knmi.nl/start.cgi>.
- Yapıcı, R., Güneş, D., Yörükeren, N. (2016). ELEKTRİKLİ ŞARJ İSTASYONLARININ DAĞITIM ŞEBEKESİNE OLASI ETKİLERİ. Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi. Erişim adresi: [https://www.emo.org.tr/ekler/3d19f986f385e23\\_ek.pdf](https://www.emo.org.tr/ekler/3d19f986f385e23_ek.pdf)
- Zhu, J.G. & Islam, Md Rabiul & Hu, Jiefeng & Prasetya, S. & Zhan, Y. & Jafari, M. & Pham, H.D. & Guo, Youguang. (2015). Distributed energy resource with PEV battery energy storage in the smart grid. 10.1049/PBPO079E\_ch3.



## ÇOK AMAÇLI MÜHENDİSLİK TASARIMI VE KISITLI PROBLEMLER İÇİN HİBRİT BİRÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

Murat KARAKOYUN<sup>1\*</sup>, Halife KODAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Konya, Türkiye

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Konya, Türkiye

### Keywords

*Çok Amaçlı Optimizasyon,  
Gri Kurt Optimizasyonu,  
Mühendislik Tasarımı,  
Pareto Teoremi.*

### Abstract

Gerçek dünya problemlerine bakıldığında çoğunun birden fazla hedefi gerçekleştirmeye yönelik olduğu görülmektedir. Bu problemlerin çözümü için kullanılan birçok klasik yöntem mevcuttur. Klasik yöntemlerin çözüm geliştirme noktasında farklı sebeplerden dolayı eksik kalması araştırmacıları farklı yaklaşımlar geliştirmeye yöneltmiştir. Genellikle doğada sürü halinde yaşayan hayvanların veya farklı yaşam alanlarına sahip bitkilerin davranışlarından esinlenilerek geliştirilen doğa esinli algoritmalar bu yaklaşımlardan bir tanesi olmuştur. Bu çalışmada, tek amaçlı problemlerin çözümü için geliştirilmiş olan kurbağa sıçrama (SFLA) ve gri kurt optimizasyonu (GWO) algoritmaları hibrit bir şekilde kullanılarak çok amaçlı optimizasyon problemlerine uygulanmıştır. Önerilen algoritma bazı çok amaçlı mühendislik tasarımı ve çok amaçlı kısıtlı problemlerin üzerinde uygulanmıştır. Önerilen algoritmanın performansı NSGA-II, IBEA, MOCcell ve PAES algoritmalarının performansı ile kıyaslanmıştır. Performans karşılaştırma metriği olarak HV, IGD, Spread ve Epsilon metrikleri kullanılmıştır. Performans analizi; elde edilen ortalama sonuçlar, Friedman sıralama testi ve Wilcoxon anlamlılık testi ile yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın diğer algoritmalarından daha başarılı sonuçlar ürettiğini göstermiştir.

## A HYBRID MULTI OBJECTIVE OPTIMIZATION ALGORITHM FOR MULTI OBJECTIVE ENGINEERING DESIGN AND CONSTRAINED PROBLEMS

### Anahtar Kelimeler

*Multi-Objective  
Optimization,  
Grey Wolf Optimizer,  
Engineering Design,  
Pareto Theorem.*

### Öz

When looking to the real-world problems, it is seen that many of them are aimed at achieving more than one goal. The deficiency of the classical methods at the point of developing solutions due to different reasons has led researchers to develop different approaches. Nature-inspired algorithms developed by taking inspiration from the behavior of animals that generally live with a swarm in nature or plants with different habitats have been one of these approaches. In this study, shuffled frog leaping (SFLA) and gray wolf optimizer (GWO) algorithms, which developed for solving single-objective problems, are applied to multi-objective optimization problems in a hybrid manner. The proposed algorithm has been applied on some multi-objective engineering design and multi-objective constrained problems. The performance of the proposed algorithm has been compared with the performance of NSGA-II, IBEA, MOCcell and PAES algorithms. HV, IGD, Spread and Epsilon metrics are used as performance comparison metrics. Performance analysis was performed using the average results obtained, Friedman ranking test and Wilcoxon significance test. Experimental results have shown that the proposed algorithm generates more successful results than other algorithms.

### Alıntı / Cite

Karakoyun, M., Kodaz, H., (2021). Çok Amaçlı Mühendislik Tasarımı ve Kısıtlı Problemler için Hibrit Birçok Amaçlı Optimizasyon Algoritması, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(4), 1200-1211.

\* İlgili yazar/Corresponding author: mkarakoyun@erbakan.edu.tr

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process         |            |
|--|---|------------|
| M. Karakoyun, 0000-0002-0677-9313        | <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 01.05.2021 |
| H. Kodaz, 0000-0001-8602-4262            | <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 20.08.2021 |
|  | <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 31.08.2021 |
|  | <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

## 1. Giriş (Introduction)

Optimizasyon, ele alınan problem için belirtilen kısıtlamaları sağlayacak şekilde en iyi çözümü üretme sürecidir. Bir problemin çözüme kavuşabilmesi öncelikli olarak matematiksel modelinin çıkarılmasına bağlıdır. Matematiksel model, bir problemin değişken, kısıt, amaç fonksiyonu gibi unsurlarının matematiksel olarak ifade edilmesidir. Bu matematiksel modelde hedef, amaç fonksiyonunu minimize veya maksimize eden değişken değerlerini, belirtilen kısıtlar çerçevesinde elde etmektir. Matematiksel modeli basit, değişken sayısı ve kısıtları az olan problemler için uygun çözümlerin elde edilmesi zor olmamaktadır. Ancak matematiksel model karmaşıklıkça ve karar değişken sayısı arttıkça problemin çözüme kavuşması farklı açılardan daha zor bir hale gelmektedir. Bu tür karmaşık problemlerde çözüm süresinin çok uzun olması ve uygun çözüme ulaşamaması en önemli sorunların başında gelmektedir. Karşılaşılan bu sorunlar araştırmacıları farklı çözümler üretmeye teşvik etmiştir. Tarih boyunca insanoğlu için esin kaynağı olan doğa ve doğadaki canlılar bu noktada da ilham vermiştir. Birçok araştırmacı, doğa ve canlıların yaşamlarını model alarak farklı özellikteki algoritmalar geliştirmiştir. Literatüre bakıldığında Yapay Alg Algoritması (*Artificial Algae Algorithm, AAA*) (Uymaz ve ark., 2015), Gri Kurt Optimizasyonu (*Grey Wolf Optimizer, GWO*) (Mirjalili ve ark., 2014), Kurbağa Sıçrama Algoritması (*Shuffled Frog Leaping Algorithm, SFLA*) (Eusuff ve ark., 2006), Yapay Arı Kolonisi (*Artificial Bee Colony, ABC*) (Karaboga, 2005), Parçacık Sürü Optimizasyonu (*Particle Swarm Optimization, PSO*) (Kennedy ve Eberhart, 1995), Genetik Algoritma (*Genetic Algorithm, GA*) (Holland, 1992) gibi birçok doğa esinli algoritmanın geliştirildiği görülmektedir. Bununla beraber araştırmacılar, performansı arttırmak amacıyla bu algoritmaların çoğunu modifiye ederek farklı türevlerini elde etmişlerdir. Çalışmalar sonucunda doğa esinli algoritmaların optimizasyon problemleri üzerinde kısa sürelerde kabul edilebilir çözümler ürettiği görülmüştür.

Optimizasyon problemleri amaç fonksiyonları sayısı bakımından iki ana başlıkta toplanabilir. Şayet optimize edilecek problem bir tane amaç fonksiyonuna sahip ise tek amaçlı, birden fazla amaç fonksiyonuna sahip ise çok amaçlı optimizasyon problemi olarak adlandırılmaktadır. Tek amaçlı optimizasyon problemlerinde, problemin sahip olduğu tek amaç fonksiyonunun en uygun değerini veren karar değişkenlerine sahip tek çözüm elde edilmeye çalışılmaktadır. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde ise birden fazla amaç için uygun olan bir çözüm kümesi sunulmaktadır. Birden fazla amaç fonksiyonu olan çok amaçlı optimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonları birbiri ile uyum içinde olabilir veya çatışma durumunda olabilmektedir. Amaç fonksiyonları arasındaki bu ilişkiye göre problemin ele alınışı ve işlenişi farklılık gösterebilmektedir. Amaç fonksiyonlarının uyum içinde olduğu problemlerde, bir amaç için uygun bir çözüm sunan karar değişkenleri diğer amaç için de uygunluk göstermektedir. Bu tür problemler uygun yöntemler kullanılarak tek amaçlı bir problem haline getirilebilir ve tek amaçlı optimizasyon için geliştirilen algoritmalar ile çözüme kavuşturulabilir. Problem tek amaçlı olarak ele alındığından sonuç, tüm amaç fonksiyonları için uygun değere karşılık gelen karar değişkenlerine sahip bir çözüm olacaktır. Ancak gerçek dünya problemlerinin çoğu amaçları birbiri ile çakışan çok amaçlı problemlerdir ve bu problemlerin her bir amaç fonksiyonu için uygun değer veren tek bir çözüm söz konusu değildir. Bu tür problemlerde tek çözüm yerine bir çözüm kümesi sunulmaktadır. Bu kümedeki çözümler amaç fonksiyonları arasında bir denge sağlamayı hedeflemektedir. Uygun çözümlerden oluşması hedeflenen bu kümeyi elde edebilmek adına birçok yaklaşım ve algoritma önerilmiştir. Bunlardan bazıları direkt olarak çok amaçlı problemlerin çözülmesi için geliştirilmişken bir kısmı da tek amaçlı optimizasyon yaklaşımlarının modifiye edilmesiyle elde edilmiştir. Her problemin çözümü için başarılı sonuç veren bir algoritmanın olmaması sebebiyle geçmişten günümüze birçok yeni yaklaşımın önerildiği görülmektedir. Literatüre bakıldığında, optimizasyon yaklaşımlarının çok amaçlı olarak ele alınması ve uygulanması ile ilgili sayısız örneğin olduğu görülmektedir. Son yıllarda literatüre kazandırılmış bu çalışmalardan bazıları: Yapay Alg algoritmasının çok amaçlı optimizasyon alanındaki çalışmalarına MOAAA (Babalik ve ark., 2018) ve MO-AAA (Tawhid ve Savsani, 2018); Karınca Aslanı optimizasyonu algoritmasının çok amaçlı versiyonu (Mirjalili ve ark., 2017), Kumawat ve arkadaşları tarafından önerilen Balina Optimizasyonu Algoritmasının çok amaçlı versiyonu (Kumawat ve ark., 2017) ve son olarak Şahin optimizasyonu algoritmasının çok amaçlı versiyonu (Du ve ark., 2020) örnek olarak gösterilebilir.

Bu çalışmada tek amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilmiş olan SFLA ve GWO algoritmaları hibrit bir şekilde ele alınarak bazı çok amaçlı mühendislik tasarımı ve çok amaçlı kısıtlı problemlerin çözümü için kullanılmıştır. MOSG olarak isimlendirilen önerilen algoritmanın performansı literatürde sıklıkla kullanılan 4 adet çok amaçlı optimizasyon algoritmasının performansı ile kıyaslanmıştır. Algoritmaların performansı 4 farklı metrik ile değerlendirilmiştir. Ayrıca Friedman istatistiksel testi ve Wilcoxon anlamlılık testleri ile sonuçlar analiz

edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar önerilen algoritmanın, karşılaştırma yapılan algoritmalarından daha başarılı sonuçlar ürettiğini göstermiştir.

## 2. Çok Amaçlı Optimizasyon (Multi-objective Optimization)

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde temel amaç birden fazla amacı birlikte optimize eden karar değişkenlerine ulaşmaktır (Osyczka, 1985). Çok amaçlı bir optimizasyon probleminin matematiksel olarak ifade edilmesi Eşitlik (1) ile gösterilmiştir.

$$(min/max) y = f(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_M(x)\} \quad (1)$$

**Kısıtlar:**

$$g(x) \leq \{g_1(x), g_2(x), \dots, g_i(x)\} \leq 0 \quad (2)$$

$$h(x) = \{h_1(x), h_2(x), \dots, h_j(x)\} = 0 \quad (3)$$

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_B]^T \quad (4)$$

$$A_b \leq x_b \leq U_b, b = 1, 2, \dots, B \quad (5)$$

Eşitlik (1)'de verilen  $y=f(x)$  dizisi  $M$ -amaçlı bir vektör,  $m=1, 2, \dots, M$  olmak üzere  $f_m(x)$  minimize/maksimize edilmek istenen  $m$ . amaç fonksiyonu,  $g(x)$  ve  $h(x)$  sırasıyla sağlanması gereken eşitsizlik ve eşitlik kısıtları dizisi,  $X$  karar değişkeni vektörü ve  $A_b$  ile  $U_b$  sırasıyla ( $b$ . karar değişkeni için) alt ve üst sınırları temsil etmektedir.

Tek amaçlı optimizasyon problemlerinde bilindiği üzere algoritmalar bir amacın en iyi sağlandığı durumu elde etmeye çalışmaktadır. Elde edilen iki aday çözümün kalite kıyaslanması karar değişkenlerine bağlı olarak elde edilen amaç fonksiyonlarının değerleri karşılaştırıldığında rahatlıkla yapılabilmektedir. Bu şekilde minimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonu değeri daha düşük olan aday çözümün daha iyi olduğu veya maksimizasyon problemleri için tam tersi söylenebilmektedir. Ancak durum çok amaçlı optimizasyon problemleri için daha karışık bir hal almaktadır. Birden fazla amacı olan ve genellikle amaçları birbiri ile çatışan çok amaçlı optimizasyon problemlerinde elde edilen aday çözümlerin kalite açısından kıyaslanması tek amaçlı problemlere göre daha zor olmaktadır. Çok amaçlı optimizasyondaki bu karmaşıklığı gidermek adına Goldberg, Pareto teoreminin bu problemlere uygulanabilirliğini dile getirmiştir (Golberg, 1989).

Kökene ve çıkış noktası ekonomik refah üzerine olan Pareto teoremine göre: Toplumdaki bazı bireylerin yaşam kalitesini daha iyi hale getirip bazı bireylerin durumunu daha kötü hale getiriyorsa yapılan değişim/değişimlerin refahı ne yönde (olumlu veya olumsuz) etkilediği net bir şekilde söylenemez. Refahın artması, hiçbir bireyin durumunu kötü yapmadan bazı bireylerin durumunu iyi hale getiren değişimlerin yapılması ile söz konusu olabilir. Ayrıca hiçbir bireyin durumu kötüleşmeden bir bireyin dahi durumunu iyileştirme olanağı yok ise bu toplumda maksimum refah seviyesine ulaşılmıştır (Sağ, 2008; Özkış ve Babalık, 2017).

Bu aşamadan sonra bu teoremin temel alındığı yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Ayrıca çoğu tek amaçlı optimizasyon algoritmasının çok amaçlı problemlere uyarlanması da bu teoreme dayanmaktadır. Çok amaçlı algoritmalar elde ettikleri aday çözümlerin kalite kıyasını yapmak için Pareto teoremine başvurmaktadır. Pareto teoreminin çok amaçlı optimizasyon algoritmalarına uygulanışı dört temel kurala dayandırılmıştır (Coello ve ark., 2007; Deb, 2011; Özkış ve Babalık, 2017).  $\Omega$  arama uzayı,  $X (x_1, x_2, \dots, x_B)$  ve  $Y (y_1, y_2, \dots, y_B)$  arama uzayında birer uygun aday çözüm ( $X, Y \in \Omega$ ) olmak üzere:

- i) **Baskınlık (dominance):**  $X$  aday çözümü amaç fonksiyonlarının hiçbirinde  $Y$  aday çözümünden daha kötü olmadan eğer en az bir amaç fonksiyonu için  $Y$  aday çözümünden daha iyi bir değere sahip ise  $X$  aday çözümü  $Y$  aday çözümünü baskılar (bastırır veya domine eder) denilmektedir. Bu durum  $X < Y$  şeklinde gösterilmektedir.  $M$  amaç fonksiyonu sayısı olmak üzere Eşitlik (6) baskınlık durumunun matematiksel ifadesini vermektedir.

$$\text{Eğer } \begin{cases} \forall i \in \{1, 2, \dots, M\} f_i(X) \leq f_i(Y) \\ \wedge \exists j \in \{1, 2, \dots, M\} f_j(X) < f_j(Y) \end{cases} \quad X < Y \quad (6)$$



Aday çözümlerin her zaman birbirini bastırması beklenilemez.  $X$  ve  $Y$  aday çözümleri amaç fonksiyonlarının en az birer tanesi için birbirlerine üstünlük sağlamışlarsa birbirini bastıramama (*non-dominated*) durumu söz konusudur. Bu durumda bu iki aday çözüm birbirini bastıramamış denmektedir.

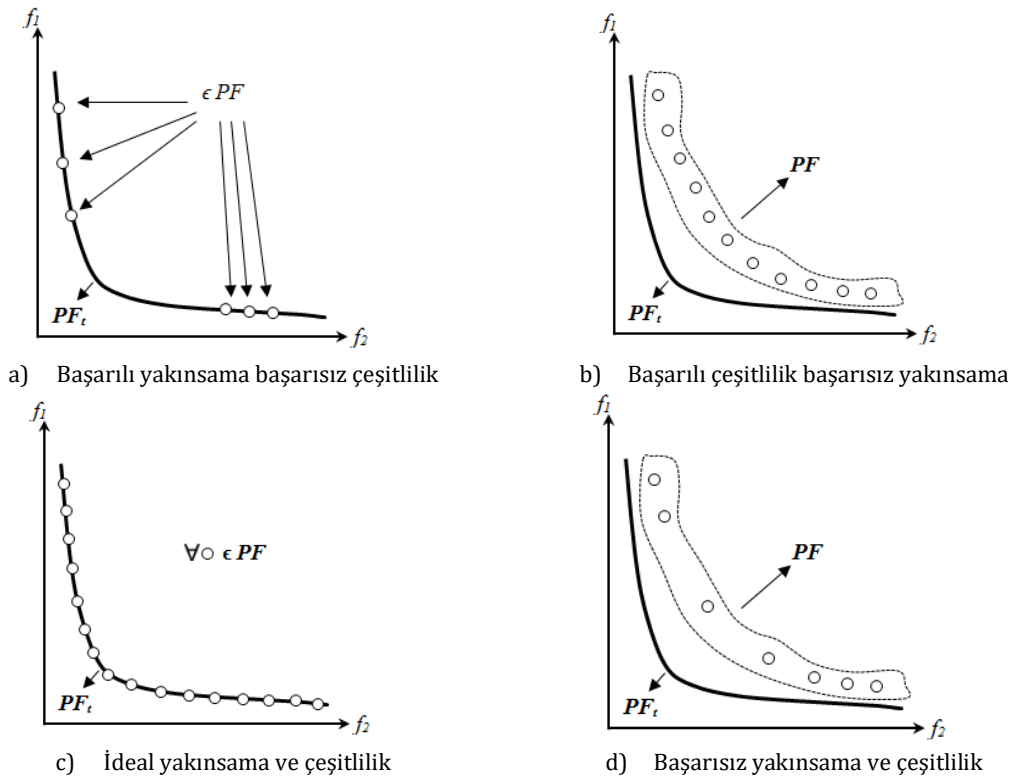
- ii) **Pareto optimal:**  $X$  aday çözümü arama uzayındaki hiçbir çözüm tarafından bastırılamıyorsa bu çözüme Pareto optimal çözüm denmektedir. Bu durum matematiksel olarak: Eğer  $\neg \exists Z \in \Omega: Z < X$  gösterilmekte ve bu durum sağlandığında  $X$  aday çözümü Pareto optimal bir çözüm olarak değerlendirilmektedir.
- iii) **Pareto optimal set (PS):** Arama uzayındaki bastırılamayan (Pareto optimal) çözümlerden oluşan kümeye denmektedir.  $PS$  matematiksel olarak Eşitlik (7) ile gösterilmiştir.

$$PS = \{X \in \Omega | \neg \exists Z \in \Omega: Z < X\} \quad (7)$$

- iv) **Pareto optimal yüzey (Pareto front, PF):** Pareto optimal çözümlerin karar değişkenlerine karşılık gelen amaç uzayındaki konumların oluşturduğu yüzeye denmektedir.  $PF$  matematiksel olarak Eşitlik (8) ile gösterilmiştir.

$$PF = \{F(X) | X \in PS\} \quad (8)$$

Çok amaçlı optimizasyon algoritmaları problemin çıktısı olarak en iyi tek çözüm yerine birbirini bastıramayan bir çözümler kümesi sunmaktadır. Söz konusu algoritma için Pareto optimal yüzeyi (*Pareto front, PF*) oluşturan bu çözümlerin gerçek Pareto optimal (*Pareto front true, PF<sub>t</sub>*) yüzeyi en başarılı şekilde tahmin etmesi istenmektedir. Çok amaçlı bir algoritmanın elde ettiği çözümler kümesinin başarısını ölçmek için kullanılan temel iki ölçüt vardır: Çeşitlilik (*diversity*) ve yakınsama (*convergence*).  $PF$ 'yi oluşturan çözümlerin  $PF_t$  çözümleri boyunca geniş bir dağılıma sahip olması çeşitlilik açısından başarı anlamına gelmektedir. Yakınsama başarısında ise  $PF$  çözümlerinin  $PF_t$  çözümlerine yakın olması beklenmektedir. Şekil 1 çok amaçlı bir algoritmanın elde ettiği  $PF$  çözümlerinin olası durumlarını göstermektedir.



Şekil 1.  $PF$  için yakınsama ve çeşitlilik durumları (Possible convergence and diversity situations for  $PF$ )

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

#### 3.1. Problem Seti (Problem Set)

Bu çalışmada kullanılan problem seti, farklı karar değişkeni sayılarına sahip on adet mühendislik tasarım ve kısıtlı problemlerden oluşmaktadır. Bu problem setinde bulunan problemlerin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. *Water* problemi hariç geriye kalan problemlerin amaç sayısı ikidir. *Four-bar truss* ve *gear train* problemleri kısıtsız iken diğer tüm problemlerin kısıtları mevcuttur (Durillo ve Nebro, 2011; Özkış, 2017).

**Tablo 1.** Çok amaçlı mühendislik tasarımı ve kısıtlı problemler (Multi-objective engineering design and constrained problems)

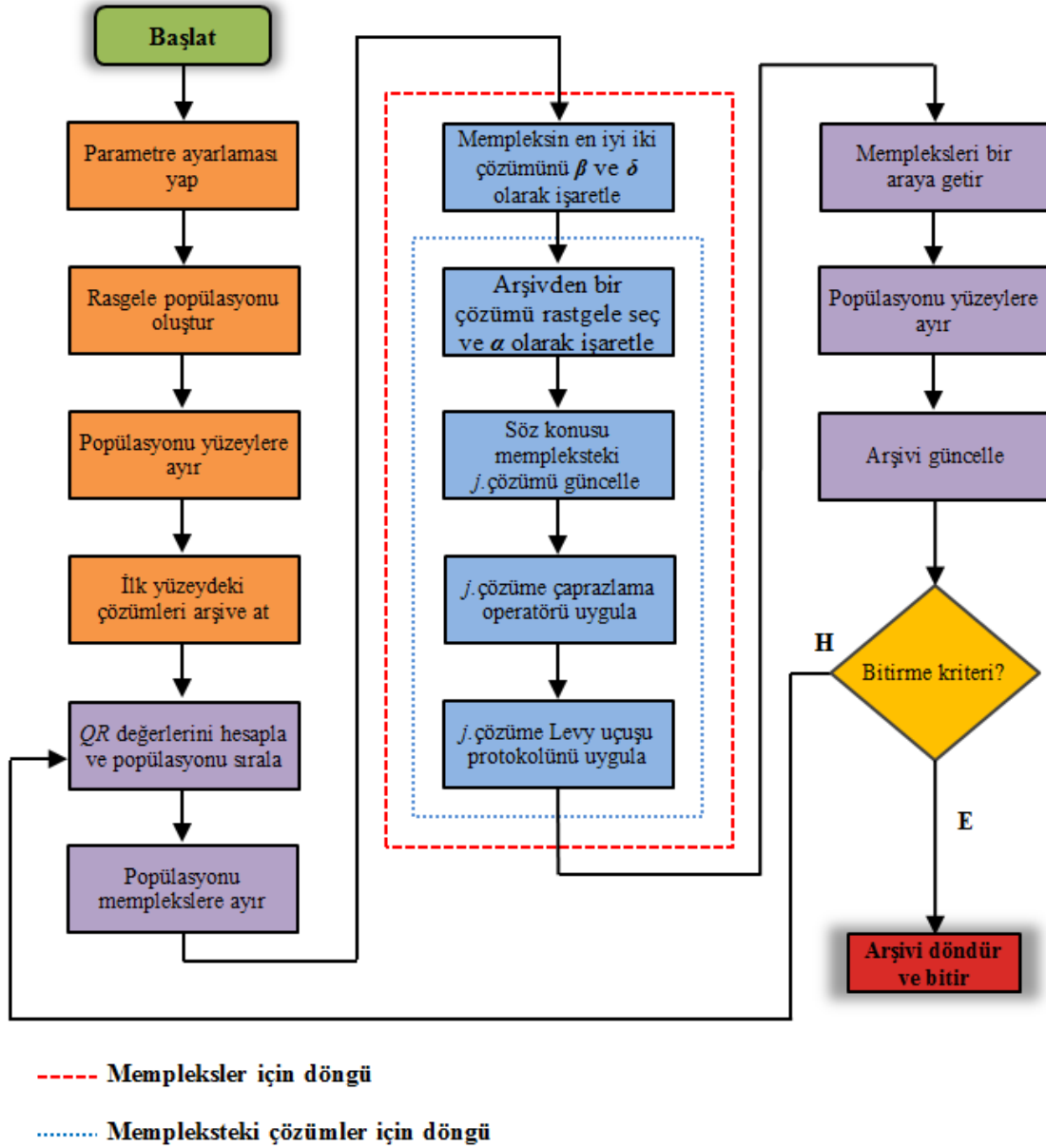
| Problem                 | Boyut | #Amaç | Kısıt |
|-------------------------|-------|-------|-------|
| Binh2                   | 2     | 2     | Var   |
| ConstrEx                | 2     | 2     | Var   |
| Srinivas                | 2     | 2     | Var   |
| KITA                    | 2     | 2     | Var   |
| Water                   | 3     | 5     | Var   |
| Four-bar truss tasarım  | 4     | 2     | Yok   |
| Disk brake tasarım      | 4     | 2     | Var   |
| Centilever beam tasarım | 2     | 2     | Var   |
| Spring                  | 3     | 2     | Var   |
| Gear train              | 4     | 2     | Yok   |

#### 3.2. Önerilen MOSG Algoritması (The Proposed MOSG Algorithm)

MOSG (Karakoyun ve ark., 2020) algoritması SFLA'nın memleksi yapısının GWO algoritması üzerine uygulanması sonucu elde edilen hibrit bir algoritmadır. Algoritma çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümü için önerilmiştir. Temel amaç memleksi stratejisi ile arama uzayını detaylı ve etkin bir şekilde tarayarak en uygun çözüm kümesini tespit etmektir. Bununla beraber algoritmanın başarısını arttırmak amacıyla bazı modifikasyon ve yaklaşımlar da kullanılmıştır. GWO algoritmasındaki alfa çözümünün konum güncellemesine etkisini arttırmak amacıyla dinamik katsayı yaklaşımı önerilmiştir. Ayrıca yakınsama ve yerel en iyi çözüme takılma sorunlarını aşmak için çaprazlama operatörü ve Levy uçuşu stratejisi kullanılmıştır.

Önerilen algoritma ilk olarak kullanılan parametrelerin ayarlanması ile başlar. Bu aşamada algoritmada kullanılan popülasyon büyüklüğü, iterasyon sayısı, memleksi sayısı vb. gibi değişkenlerin değerleri atanır. Daha sonra arama uzayı sınırları içerisinde belirtilen popülasyon büyüklüğü kadar rastgele çözüm üretilerek ilk popülasyon oluşturulur. Arama uzayında elde edilen çözümlerin amaç uzayındaki karşılıkları, yani uygunluk değerleri hesaplanır. Popülasyonun yüzeylere ayrılıp bastırılmayan çözümler ile ilk arşivin oluşturulması için hızlı bastırılmayan yaklaşım uygulanır. Burada arşiv, algoritmanın mevcut aşamaya kadar elde ettiği çözümlerin içerisinde bastırılmayan çözümlerin listesini temsil etmektedir. Çözümler yüzeylere ayrılıp ilk arşiv elde edildikten sonra popülasyonun memleksele ayrılması için sırasıyla kalabalık mesafeler ve ardından kalite sıralaması yaklaşımı uygulanır. Popülasyondaki tüm çözümlerin *QR* değeri hesaplandıktan sonra sıralama işlemi gerçekleştirilir. Sıralama işleminden sonra popülasyon memleksele ayrılır. Her bir memlekseledeki çözümlerin güncellenmesi için gerekli döngüler başlatılır. İlk döngüde her memlekselede ele alınması sağlanırken, içerideki ikinci döngüde ise söz konusu memlekseledeki çözümlerin işlenmesi yapılır. GWO algoritmasında konum güncelleme aşamasında alfa, beta ve delta bireylerden oluşan lider takım referans olarak alınmaktadır. MOSG algoritmasında her memleksi kendi lider takımına sahiptir. Bu lider takımın oluşturulması *alfa* çözümün arşivden seçilmesi ve memlekseledeki en iyi *QR* değerlerine sahip ilk iki çözümün sırasıyla *beta* ve *delta* olarak işaretlenmesi şeklinde olmaktadır. Bundan sonra çaprazlama operatörü ve ardından Levy uçuşu protokolü uygulanır. Bu şekilde her memleksi ve içerisindeki her çözüm için konum güncellemeleri yapıldıktan sonra memlekseleler bir araya getirilerek yeni popülasyon elde edilir. Bu aşamadan sonra arşiv güncellenir. Arşiv güncellemesi, elde edilen yeni çözümler ile arşivin hızlı bastırılmayan sıralama prosedürüne sokularak bastırılmayan çözümlerin elde edilmesi ve arşive aktarılması şeklinde olmaktadır. Bu çalışmada arşiv büyüklüğü popülasyon büyüklüğüne eşit olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla arşiv güncellemesi yapıldığında arşivdeki çözüm sayısı maksimum sınırı aştığında *QR* değerlerine göre en iyi çözümlerin arşivde kalması sağlanmaktadır. Arşiv güncellemesi yapıldıktan sonra bitirme kriterinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Eğer bitirme kriteri henüz sağlanmadıysa popülasyon tekrar sıralanır ve memlekselelere ayrılır. Bu adımlar bitirme kriteri sağlanana kadar devam ettirilir. Bitirme kriteri sağlandığında ise elde edilen arşiv (*PF*) algoritmanın çıktısı olarak verilir. MOSG algoritması için daha detaylı bilgi

edinmek istenirse algoritmanın ilk önerildiği (Karakoyun ve ark., 2020) çalışması incelenebilir. MOSG algoritmasının akış diyagramı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Önerilen algoritmanın (MOSG) akış diyagramı (Flowchart of the proposed (MOSG) algorithm)

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

Mühendislik tasarımı ve kısıtlı fonksiyonlardan oluşan problem setinde MOSG algoritmasının performansı dört farklı çok amaçlı algoritma (NSGA-II (Srinivas ve Deb, 1994), IBEA (Zitzler ve Künzli, 2004), MOCcell (Nebro ve ark., 2007), PAES (Knowles ve Corne, 1999)) ile karşılaştırılmıştır. Bu problem seti üzerinde yapılan deneylerde MAXFes (maksimum uygunluk fonksiyonu çağrılma sayısı) değeri 5000 ile sınırlı tutulmuştur. Bunun nedeni kullanılan problemlerin karar değişken sayılarının az olmasıdır. Algoritmalar her problem için 100 tekrar ile çalıştırılmıştır. Performans karşılaştırması için dört metrik (HV (Zitzler ve Thiele, 1999), IGD (Coello ve Cortés, 2005), Spread (Li, 2003), Epsilon (Durillo ve Nebro, 2011)) kullanılmıştır. Metriklerden HV ve IGD algoritmaların hem yakınsama hem de çeşitlilik başarısını ölçerken, Spread metriği çeşitlilik başarısını ve Epsilon metriği yakınsama başarısını ölçmektedir. Bu metriklerden HV metriğinin değeri maksimum olması istenirken diğer üç metriğin değerinin minimum olması istenmektedir. HV metriğinin hesaplanmasında kullanılan denklem Eşitlik (9)'da verilmiştir.

$$HV = \text{volume} \left( \bigcup_{i=1}^{|PF|} v_i \right) \quad (9)$$

$HV$  değerinin hesaplanmasında  $PF_t$  çözümlerine ihtiyaç duyulmamaktadır. Ancak bazı çalışmalarda bu metriğin normalize edilmiş değeri kullanılmaktadır. Normalize  $HV$  değerinin hesaplanacağı durumlarda ise  $PF_t$  çözümlerine ve bu çözümlerden elde edilecek olan  $HV_t$  değerine ihtiyaç duyulmaktadır.  $HV_t$  Eşitlik (9) ile hesaplanır ve bu aşamada  $PF$  çözümleri yerine  $PF_t$  çözümleri kullanılır. Normalize edilmiş  $HV$  ( $HVN$ ) değeri Eşitlik (10) ile hesaplanmaktadır.

$$HV_N = \frac{HV}{HV_t} \quad (10)$$

IGD metriğinin hesaplanmasında kullanılan denklem Eşitlik (11)'de verilmiştir. Eşitlik (11)'deki  $n$  değeri  $PF_t$  çözümlerinin sayısını ve  $d_i$  ise  $PF_t$  'deki  $i$ . çözüm ile kendisine en yakın olan  $PF$  çözümü arasındaki Öklit mesafesini göstermektedir.

$$IGD = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n d_i^2}}{n} \quad (11)$$

$x$ :  $PF$  çözümler kümesinde bir çözümü

$d(x, PF)$ :  $x$  çözümü ile en yakın çözümler arasındaki en düşük mesafe

$\bar{d}$ :  $d(x, PF)$  mesafelerinin ortalaması

$e_i$ :  $i$ . amaç fonksiyonu için  $PF_t$  çözümler kümesine ait uç çözüm

$d(e_i, PF)$ :  $PF$  ve  $PF_t$  kümelerinin uç çözümleri arasındaki mesafe olmak üzere Spread metriğinin hesaplanmasında Eşitlik (12) kullanılmaktadır.

$$\text{Spread} = \frac{\sum_{i=1}^m d(e_i, PF) + \sum_{x \in PF} |d(x, PF) - \bar{d}|}{\sum_{i=1}^m d(e_i, PF) + |PF| * \bar{d}} \quad (12)$$

$$d(x, PF) = \min_{y \in PF, y \neq x} \|f(x) - f(y)\|^2 \quad (13)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{|PF_t|} \sum_{x \in PF_t} d(x, PF) \quad (14)$$

$PF$  çözümlerinin her birinin tek tek ele alınarak  $PF_t$  çözümlerinden en az birini bastırması için gereken minimum değişiminin hesaplanması ile elde edilen Epsilon ( $\epsilon$ ) metriğinin değeri Eşitlik (15) kullanılarak hesaplanır.

$$\epsilon = \inf_{\epsilon \in R^+} \{ \forall \vec{p} \in PF_t, \exists \vec{\alpha} \in PF : \vec{\alpha} < \epsilon \vec{p} \} \quad (15)$$

Algoritmaların problem seti üzerinde 100 tekrarlı çalıştırma sonucu ürettikleri ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 2-5'te verilmiştir. Kullanılan problem setindeki her bir problem için en iyi ortalama değeri bulan algoritmanın bulunduğu değer koyu gri ile işaretlenirken ikinci en iyi ortalama değer ise açık gri ile işaretlenmiştir.

Tablo 2'deki sonuçlar algoritmaların problem seti üzerindeki çalışmalarının  $HV$  metriğindeki karşılıklarını göstermektedir.  $HV$  metriği üzerinde elde edilen sonuçlara bakıldığında MOSG algoritmasının 10 problemde 9 tanesi için en iyi ortalama değerleri üretirken 1 tane problem için de en iyi ikinci ortalama değeri ürettiği görülmektedir. Diğer algoritmaların bu problemler üzerinde en iyi ve ikinci en iyi ortalama değerleri bulma sayıları tablodaki sıralamalarına göre sırasıyla [1/5], [1/1], [1/5] ve [0/0] şeklindedir.  $HV$  metriği üzerinde elde edilen ortalama sonuçlara bakıldığında MOSG algoritmasının diğer algoritmalara bariz bir üstünlük sağladığı görülmektedir.

**Tablo 2.** HV metriği için algoritmaların ortalama ve standart sapma değerleri (The mean and standard deviation values of the algorithms for the HV metric)

| Algoritma<br>Problem | NSGA-II  |           | IBEA     |           | MOCcell  |           | PAES     |           | MOSG     |           |
|----------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                      | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. |
| Binh2                | 8.10E-01 | 3.2E-04   | 8.08E-01 | 1.8E-03   | 8.11E-01 | 7.1E-05   | 8.07E-01 | 3.1E-03   | 8.12E-01 | 4.3E-05   |
| ConstrEx             | 7.73E-01 | 4.5E-04   | 7.59E-01 | 5.1E-03   | 7.71E-01 | 3.0E-03   | 7.36E-01 | 3.9E-02   | 7.73E-01 | 2.2E-03   |
| Srinivas             | 5.32E-01 | 3.2E-04   | 5.34E-01 | 1.6E-04   | 5.34E-01 | 1.4E-04   | 5.29E-01 | 8.7E-04   | 5.35E-01 | 6.9E-05   |
| KITA                 | 6.42E-01 | 1.4E-03   | 6.36E-01 | 2.0E-03   | 6.41E-01 | 4.0E-03   | 6.22E-01 | 1.7E-02   | 6.45E-01 | 1.8E-03   |
| Water                | 3.90E-01 | 9.7E-03   | 2.60E-01 | 5.3E-02   | 4.03E-01 | 8.5E-03   | 2.91E-01 | 8.3E-02   | 4.32E-01 | 1.7E-03   |
| FourBarTruss         | 1.82E-01 | 9.4E-04   | 1.86E-01 | 3.0E-04   | 1.85E-01 | 5.8E-04   | 1.57E-01 | 4.6E-02   | 1.85E-01 | 2.8E-04   |
| DiskBrake            | 8.73E-01 | 1.4E-03   | 8.69E-01 | 3.7E-03   | 8.71E-01 | 4.1E-03   | 8.70E-01 | 5.0E-03   | 8.77E-01 | 3.8E-04   |
| CentileverBeam       | 8.71E-01 | 2.9E-04   | 7.91E-01 | 3.0E-02   | 8.72E-01 | 3.4E-05   | 8.70E-01 | 3.7E-04   | 8.72E-01 | 2.5E-05   |
| Spring               | 7.46E-01 | 6.5E-03   | 6.70E-01 | 3.8E-02   | 7.29E-01 | 1.6E-02   | 6.99E-01 | 3.2E-02   | 7.63E-01 | 9.0E-04   |
| GearTrain            | 9.02E-01 | 1.3E-02   | 9.00E-01 | 6.5E-03   | 8.93E-01 | 1.9E-02   | 7.85E-01 | 1.3E-01   | 9.05E-01 | 1.1E-06   |

Tablo 3'teki sonuçlar algoritmaların problem seti üzerindeki çalışmalarının IGD metriğindeki karşılıklarını göstermektedir. Tablo 3'teki sonuçlara bakıldığında MOSG algoritmasının 10 problemde 9 tanesi için en iyi ortalama değerleri üretirken 1 tane problem için de en iyi ikinci ortalama değeri ürettiği görülmektedir. Diğer algoritmaların bu problemler üzerinde ortalama en iyi ve ikinci en iyi değerleri bulma sayıları tablodaki sıralamalarına göre sırasıyla [1/5], [1/0], [0/5] ve [0/0] şeklindedir. IGD metriği üzerinde elde edilen ortalama sonuçlara bakıldığında MOSG algoritmasının diğer algoritmalarından daha iyi ortalama sonuçlar ürettiği açıkça görülmektedir.

**Tablo 3.** IGD metriği için algoritmaların ortalama ve standart sapma değerleri (The mean and standard deviation values of the algorithms for the IGD metric)

| Algoritma<br>Problem | NSGA-II  |           | IBEA     |           | MOCcell  |           | PAES     |           | MOSG     |           |
|----------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                      | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. |
| Binh2                | 1.50E-04 | 8.9E-06   | 1.42E-03 | 4.2E-04   | 1.11E-04 | 3.2E-06   | 6.85E-04 | 5.9E-04   | 1.07E-04 | 2.0E-06   |
| ConstrEx             | 2.01E-04 | 3.5E-05   | 4.40E-03 | 1.4E-03   | 3.21E-04 | 2.3E-04   | 2.40E-03 | 2.2E-03   | 2.47E-04 | 1.1E-04   |
| Srinivas             | 1.44E-04 | 7.7E-06   | 1.25E-04 | 8.9E-06   | 1.04E-04 | 4.9E-06   | 2.12E-04 | 3.5E-05   | 9.85E-05 | 1.9E-06   |
| KITA                 | 5.44E-04 | 6.2E-05   | 9.65E-04 | 1.9E-04   | 6.43E-04 | 2.6E-04   | 1.63E-03 | 1.1E-03   | 5.19E-04 | 1.4E-04   |
| Water                | 2.51E-03 | 1.4E-04   | 1.52E-02 | 1.9E-03   | 2.35E-03 | 1.9E-04   | 9.62E-03 | 3.0E-03   | 1.99E-03 | 1.1E-04   |
| FourBarTruss         | 2.02E-02 | 2.1E-05   | 2.01E-02 | 1.3E-05   | 2.02E-02 | 3.4E-05   | 2.22E-02 | 4.0E-03   | 2.01E-02 | 5.8E-06   |
| DiskBrake            | 8.60E-04 | 5.8E-04   | 4.92E-03 | 3.9E-04   | 2.08E-03 | 1.1E-03   | 2.60E-03 | 1.1E-03   | 2.89E-04 | 3.0E-05   |
| CentileverBeam       | 3.09E-04 | 2.3E-05   | 1.14E-02 | 1.5E-03   | 2.24E-04 | 4.2E-06   | 4.15E-04 | 5.4E-05   | 2.23E-04 | 4.8E-06   |
| Spring               | 2.85E-03 | 1.1E-03   | 1.40E-02 | 4.2E-03   | 5.83E-03 | 3.1E-03   | 9.36E-03 | 4.9E-03   | 1.43E-03 | 8.6E-04   |
| GearTrain            | 1.31E-02 | 7.0E-03   | 3.28E-02 | 6.2E-03   | 2.10E-02 | 9.1E-03   | 3.71E-02 | 2.0E-02   | 6.82E-03 | 3.6E-03   |

Tablo 4'teki sonuçlar MOSG ve diğer algoritmaların problem seti üzerindeki çalışmalarının Spread metriğindeki karşılıklarını göstermektedir. Spread metriği üzerinde elde edilen sonuçlara bakıldığında MOSG algoritmasının 10 problemde 8 tanesi için en iyi ortalama değerleri üretirken 1 tane problem için de en iyi ikinci ortalama değeri ürettiği görülmektedir. Diğer algoritmaların bu problemler üzerinde en iyi ve ikinci en iyi ortalama değerleri bulma sayıları tablodaki sıralamalarına göre sırasıyla [0/1], [0/0], [2/8] ve [0/0] şeklindedir. Spread metriği üzerinde elde edilen ortalama sonuçlara bakıldığında MOSG algoritmasının diğer algoritmalarla bariz bir üstünlük sağladığı görülmektedir. Bununla beraber Spread metriği üzerinde genellikle iyi sonuçlar elde eden MOCcell algoritması, MOSG algoritmasından sonra diğer üç algoritmaya üstünlük sağlamıştır.

**Tablo 4.** Spread metriği için algoritmaların ortalama ve standart sapma değerleri (The mean and standard deviation values of the algorithms for the Spread metric)

| Algoritma<br>Problem | NSGA-II  |           | IBEA     |           | MOCcell  |           | PAES     |           | MOSG     |           |
|----------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                      | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. |
| Binh2                | 3.98E-01 | 3.5E-02   | 5.40E-01 | 1.4E-02   | 1.59E-01 | 1.7E-02   | 6.79E-01 | 4.7E-02   | 1.29E-01 | 1.6E-02   |
| ConstrEx             | 4.53E-01 | 3.2E-02   | 1.11E+00 | 4.1E-02   | 3.80E-01 | 7.9E-02   | 8.84E-01 | 8.3E-02   | 2.91E-01 | 5.2E-02   |
| Srinivas             | 4.00E-01 | 3.4E-02   | 3.61E-01 | 2.9E-02   | 1.17E-01 | 1.5E-02   | 6.28E-01 | 5.0E-02   | 7.64E-02 | 1.1E-02   |
| KITA                 | 6.74E-01 | 1.3E-01   | 1.19E+00 | 4.2E-02   | 6.09E-01 | 1.6E-01   | 1.17E+00 | 9.4E-02   | 5.81E-01 | 1.6E-01   |
| Water                | 5.60E-01 | 5.2E-02   | 7.51E-01 | 1.3E-01   | 5.57E-01 | 4.2E-02   | 6.60E-01 | 6.3E-02   | 5.79E-01 | 3.7E-02   |
| FourBarTruss         | 6.57E-01 | 1.9E-02   | 6.58E-01 | 1.6E-02   | 5.47E-01 | 1.8E-02   | 8.18E-01 | 4.5E-02   | 5.20E-01 | 8.7E-03   |
| DiskBrake            | 5.35E-01 | 5.4E-02   | 7.54E-01 | 4.2E-02   | 5.10E-01 | 4.9E-02   | 7.84E-01 | 5.9E-02   | 3.23E-01 | 3.8E-02   |
| CentileverBeam       | 4.03E-01 | 3.6E-02   | 6.71E-01 | 4.1E-02   | 1.28E-01 | 1.6E-02   | 6.40E-14 | 4.4E-02   | 1.24E-01 | 1.7E-02   |
| Spring               | 1.26E+00 | 6.3E-02   | 1.17E+00 | 1.1E-01   | 6.42E-01 | 8.3E-02   | 1.45E+00 | 9.3E-02   | 3.29E-01 | 3.5E-02   |
| GearTrain            | 1.44E+00 | 6.4E-02   | 1.43E+00 | 8.3E-02   | 7.72E-01 | 3.8E-02   | 1.31E+00 | 1.2E-01   | 7.76E-01 | 3.0E-02   |

Tablo 5'teki sonuçlar algoritmaların problem seti üzerindeki çalışmalarının Epsilon metriğindeki karşılıklarını göstermektedir. Tablo 5'teki sonuçlara bakıldığında MOSG algoritmasının 10 problemde 7 tanesi için en iyi ortalama değerleri üretirken 3 tane problem için de en iyi ikinci ortalama değerleri ürettiği görülmektedir. Diğer algoritmaların bu problemler üzerinde ortalama en iyi ve ikinci en iyi değerleri bulma sayıları tablodaki sıralamalarına göre sırasıyla [2/3], [1/1], [0/3] ve [0/0] şeklindedir. Epsilon metriği üzerinde elde edilen ortalama sonuçlara bakıldığında MOSG algoritmasının diğer algoritmalarından daha iyi ortalama sonuçlar ürettiği görülmektedir.

**Tablo 5.** Epsilon metriği için algoritmaların ortalama ve standart sapma değerleri (The mean and standard deviation values of the algorithms for the Epsilon metric)

| Algoritma<br>Problem | NSGA-II  |           | IBEA     |           | MOCcell  |           | PAES     |           | MOSG     |           |
|----------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                      | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. | Ortalama | Std. Sap. |
| Binh2                | 1.01E+00 | 2.5E-01   | 1.08E+02 | 2.8E-01   | 4.69E-01 | 5.5E-02   | 1.60E+00 | 1.4E+00   | 4.06E-01 | 1.9E-02   |
| ConstrEx             | 1.65E-02 | 2.5E-03   | 3.95E-01 | 1.2E-01   | 2.25E-02 | 8.2E-03   | 1.08E-01 | 1.6E-01   | 1.84E-02 | 7.6E-03   |
| Srinivas             | 3.21E+00 | 5.7E-01   | 2.21E+00 | 4.4E-01   | 1.79E+00 | 3.0E-01   | 5.49E+00 | 1.7E+00   | 1.42E+00 | 1.6E-01   |
| KITA                 | 4.72E-02 | 8.2E-03   | 7.38E-02 | 1.1E-02   | 5.32E-02 | 1.6E-02   | 1.50E-01 | 8.5E-02   | 4.79E-02 | 1.3E-02   |
| Water                | 8.23E+04 | 1.8E+04   | 1.09E+06 | 3.6E+05   | 5.63E+04 | 1.5E+04   | 8.52E+05 | 6.9E+05   | 2.39E+04 | 2.5E+03   |
| FourBarTruss         | 6.90E+01 | 5.7E+00   | 7.03E+01 | 1.3E+01   | 9.14E+01 | 2.5E+01   | 2.06E+02 | 1.4E+02   | 6.36E+01 | 0.0E+00   |
| DiskBrake            | 7.34E-02 | 1.9E-02   | 2.81E-01 | 8.4E-02   | 1.40E-01 | 7.8E-02   | 1.21E-01 | 1.3E-01   | 3.12E-02 | 4.6E-03   |
| CentileverBeam       | 7.00E-04 | 6.8E-04   | 2.94E-04 | 8.0E-05   | 5.59E-04 | 5.7E-04   | 4.52E-03 | 3.5E-03   | 3.09E-04 | 2.9E-04   |
| Spring               | 2.58E+03 | 3.0E+03   | 2.71E+04 | 1.0E+04   | 8.59E+03 | 7.9E+03   | 1.61E+04 | 1.2E+04   | 2.41E+02 | 2.1E+02   |
| GearTrain            | 7.22E-01 | 1.0E+00   | 6.65E-01 | 8.4E-01   | 1.56E+00 | 1.5E+00   | 6.29E+00 | 5.6E+00   | 4.30E-06 | 2.9E-05   |

Tablo 2-5'teki sonuçlar MOSG ve diğer algoritmaların, dört metrik üzerinde, ortalama değerlerini göstermektedir. Algoritmaların her problem üzerindeki 100 bağımsız çalıştırılması değerlendirilerek elde edilen Friedman testi sonuçları ise Tablo 6'da verilmiştir. Her bir metrik için en iyi Friedman (Friedman, 1937) testi sonucuna sahip algoritmanın değeri koyu gri, ikinci en iyi değere sahip algoritmanın değeri ise açık gri ile işaretlenmiştir. Tablo 6'daki sonuçlara bakıldığında MOSG algoritmasının dört metrik için de en iyi Friedman sıralamasına sahip olduğu görülmektedir. Öte yandan NSGA-II ve MOCcell algoritmaları HV ve IGD metrikleri için ikinci en iyi dereceyi paylaşırken Spread metriğinde MOCcell, Epsilon metriğinde NSGA-II ikinci en iyi Friedman skoruna sahiptir.

**Tablo 6.** Algoritmaların dört metrik üzerindeki Friedman test sonuçları (Friedman test results of algorithms on four metrics)

|         | HV   | IGD  | Spread | Epsilon |
|---------|------|------|--------|---------|
| NSGA-II | 3.30 | 2.60 | 3.30   | 2.50    |
| IBEA    | 2.10 | 4.20 | 4.20   | 3.70    |
| MOCcell | 3.30 | 2.60 | 1.80   | 3.00    |
| PAES    | 1.40 | 4.40 | 4.40   | 4.50    |
| MOSG    | 4.90 | 1.20 | 1.30   | 1.30    |

MOSG algoritması ve diğer algoritmaların dört metrik için elde ettikleri ortalama değerler ve bu değerlere bağlı Friedman sonuçları önceki tablolarda gösterilmiştir. Elde edilen bu ortalama sonuçların birbirinden farklı ve anlamlı sonuçlar olup olmadığını kontrol etmek amacıyla Wilcoxon (Johnson ve Bhattacharyya, 2019) sıra toplamı testi uygulanmıştır. %95 güven aralığı ile yapılan Wilcoxon testi sonuçları HV, IGD, Spread ve Epsilon metrikleri için sırasıyla Tablo 7-10'da verilmiştir. MOSG algoritması ve kıyas yapılan algoritma için anlamlı bir sonuç elde edilmesi durumunda "+" simgesi ile aksi takdirde "-" simgesi ile işaretlenmiştir.

Tablo 7'deki sonuçlar algoritmaların HV metriği üzerinde elde ettikleri değerlere Wilcoxon testi uygulanması sonucu elde edilen bulgulardır. Tablodaki sonuçlara bakıldığında MOSG algoritmasının problem setindeki 10 problem için elde ettiği değerlerin tamamının diğer algoritmaların ürettiği değerlerden farklı ve anlamlı olduğu görülmektedir.

**Tablo 7.** HV metriği için Wilcoxon testi sonuçları (Wilcoxon test results for the HV metric)

| MOSG vs.       | NSGA-II          |   | IBEA             |   | MOCcell          |   | PAES             |   |
|----------------|------------------|---|------------------|---|------------------|---|------------------|---|
|                | <i>p</i> -değeri | S | <i>p</i> -değeri | S | <i>p</i> -değeri | S | <i>p</i> -değeri | S |
| Binh2          | 7.07E-18         | + | 1.01E-17         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| ConstrEx       | 7.07E-18         | + | 7.80E-11         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| Srinivas       | 9.26E-03         | + | 7.15E-09         | + | 2.07E-17         | + | 2.20E-17         | + |
| KITA           | 7.07E-18         | + | 7.97E-18         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| Water          | 7.07E-18         | + | 2.80E-03         | + | 3.13E-17         | + | 5.64E-17         | + |
| FourBarTruss   | 1.49E-16         | + | 1.86E-14         | + | 6.12E-18         | + | 6.14E-18         | + |
| DiskBrake      | 4.20E-13         | + | 5.40E-11         | + | 7.97E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| CentileverBeam | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| Spring         | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| GearTrain      | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |

Tablo 8'deki, IGD metriği için yapılan Wilcoxon testi sonuçlarına bakıldığında MOSG algoritmasının problem setindeki 10 problemde; NSGA-II algoritması için 9, IBEA algoritması için 8, MOCcell ve PAES algoritmaları için 10 tanesinden farklı ve anlamlı sonuçlar ürettiği görülmektedir.

**Tablo 8.** IGD metriği için Wilcoxon testi sonuçları (Wilcoxon test results for the IGD metric)

| MOSG vs.       | NSGA-II          |   | IBEA             |   | MOCcell          |   | PAES             |   |
|----------------|------------------|---|------------------|---|------------------|---|------------------|---|
|                | <i>p</i> -değeri | S | <i>p</i> -değeri | S | <i>p</i> -değeri | S | <i>p</i> -değeri | S |
| Binh2          | 7.07E-18         | + | 4.12E-10         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| ConstrEx       | 7.07E-18         | + | 4.06E-01         | - | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| Srinivas       | 1.12E-01         | - | 7.82E-02         | - | 7.07E-18         | + | 1.55E-14         | + |
| KITA           | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| Water          | 7.07E-18         | + | 1.01E-17         | + | 1.31E-15         | + | 7.97E-18         | + |
| FourBarTruss   | 3.24E-08         | + | 4.55E-15         | + | 6.82E-18         | + | 4.07E-17         | + |
| DiskBrake      | 8.71E-03         | + | 2.35E-04         | + | 2.54E-16         | + | 4.46E-17         | + |
| CentileverBeam | 1.15E-11         | + | 1.13E-16         | + | 8.46E-18         | + | 2.47E-17         | + |
| Spring         | 7.07E-18         | + | 6.31E-13         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| GearTrain      | 1.29E-17         | + | 3.02E-15         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |

Tablo 9'deki, Spread metriği için yapılan Wilcoxon testi sonuçlarına bakıldığında MOSG algoritmasının problem setindeki 10 problemde; IBEA algoritması için 7, NSGA-II, MOCcell ve PAES algoritmaları için tamamından farklı ve anlamlı sonuçlar ürettiği görülmektedir.

**Tablo 9.** Spread metriği için Wilcoxon testi sonuçları (Wilcoxon test results for the Spread metric)

| MOSG vs.       | NSGA-II          |   | IBEA             |   | MOCcell          |   | PAES             |   |
|----------------|------------------|---|------------------|---|------------------|---|------------------|---|
|                | <i>p</i> -değeri | S | <i>p</i> -değeri | S | <i>p</i> -değeri | S | <i>p</i> -değeri | S |
| Binh2          | 7.07E-18         | + | 8.59E-12         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| ConstrEx       | 7.07E-18         | + | 1.99E-01         | - | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| Srinivas       | 1.07E-16         | + | 1.12E-09         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| KITA           | 7.07E-18         | + | 8.99E-18         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| Water          | 7.07E-18         | + | 3.10E-12         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| FourBarTruss   | 6.85E-18         | + | 2.68E-01         | - | 6.85E-18         | + | 6.85E-18         | + |
| DiskBrake      | 7.39E-04         | + | 4.14E-01         | - | 7.07E-18         | + | 7.97E-18         | + |
| CentileverBeam | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| Spring         | 7.07E-18         | + | 1.54E-17         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| GearTrain      | 5.89E-03         | + | 5.29E-03         | + | 1.76E-13         | + | 4.28E-11         | + |

Tablo 10'daki, Epsilon metriği için yapılan Wilcoxon testi sonuçlarına bakıldığında MOSG algoritmasının problem setindeki 10 problemde; algoritmaların tablodaki dizilişlerine göre sırasıyla 8, 10, 9 ve 10 tanesinden farklı ve anlamlı sonuçlar ürettiği görülmektedir.

**Tablo 10.** Epsilon metriği için Wilcoxon testi sonuçları (Wilcoxon test results for the Epsilon metric)

| MOSG vs.       | NSGA-II          |   | IBEA             |   | MOCcell          |   | PAES             |   |
|----------------|------------------|---|------------------|---|------------------|---|------------------|---|
|                | <i>p</i> -değeri | S | <i>p</i> -değeri | S | <i>p</i> -değeri | S | <i>p</i> -değeri | S |
| Binh2          | 7.07E-18         | + | 6.53E-14         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| ConstrEx       | 6.20E-04         | + | 1.06E-02         | + | 3.40E-01         | - | 8.38E-16         | + |
| Srinivas       | 4.80E-01         | - | 2.87E-03         | + | 7.07E-18         | + | 3.46E-14         | + |
| KITA           | 7.07E-18         | + | 2.33E-17         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |
| Water          | 3.31E-20         | + | 3.31E-20         | + | 3.31E-20         | + | 3.31E-20         | + |
| FourBarTruss   | 4.24E-16         | + | 4.16E-16         | + | 5.14E-18         | + | 5.87E-18         | + |
| DiskBrake      | 5.79E-01         | - | 3.58E-02         | + | 3.99E-13         | + | 4.46E-17         | + |
| CentileverBeam | 8.56E-15         | + | 1.10E-13         | + | 7.07E-18         | + | 1.29E-17         | + |
| Spring         | 7.07E-18         | + | 2.22E-11         | + | 2.07E-17         | + | 7.07E-18         | + |
| GearTrain      | 7.07E-18         | + | 7.97E-18         | + | 7.07E-18         | + | 7.07E-18         | + |

Problem seti için yapılan Wilcoxon sıra toplamı testi sonuçlarına genel olarak bakıldığında MOSG algoritmasının ürettiği sonuçların kıyaslama yapılan algoritmaların ürettiği sonuçlardan farklı ve anlamlı olduğu açık bir şekilde söylenebilir.

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

Bu çalışmada önerilen MOSG algoritması çok amaçlı mühendislik tasarımı ve kısıtlı problemlerden oluşan problem setine uygulanmıştır. MOSG algoritmasının performansı çok amaçlı optimizasyon için önerilen NSGA-II, IBEA, MOCcell ve PAES algoritmalarının performansı ile kıyaslanmıştır. Algoritmaların performansı farklı özellikteki algoritmaların çeşitlilik ve yakınsama başarısını ölçen HV, IGD, Spread ve Epsilon metrikleri ile ölçülmüştür. Algoritmaların performans analizi elde edilen ortalama sonuçlar, Friedman sıralama testi ve Wilcoxon anlamlılık testi kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar önerilen algoritmanın diğer algoritmalarından tüm metriklerde daha başarılı sonuçlar ürettiğini göstermiştir. Bu da önerilen algoritmanın, çok amaçlı optimizasyon problemlerindeki başarı kıstaslarından olan gerek yakınsama gerekse çeşitlilik yönünden umut verici bir algoritma olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmanın çok amaçlı optimizasyon alanında başarılı olduğunu göstermiştir. Budan sonraki çalışmalarda önerilen algoritma farklı özellikteki çok amaçlı optimizasyon problemlerine uygulanabilir. Ayrıca algoritmanın yapısı paralel programlama teknolojisine uygun olduğundan bu teknoloji kullanılarak algoritma daha hızlı bir hale getirilebilir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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



**Kaynaklar (References)**

- Babalik, A., Ozkis, A., Uymaz, S. A. ve Kiran, M. S., 2018, A multi-objective artificial algae algorithm, *Applied Soft Computing*, 68, 377-395.
- Coello, C. A. C. ve Cortés, N. C., 2005, Solving multiobjective optimization problems using an artificial immune system, *Genetic programming and evolvable machines*, 6 (2), 163-190.
- Coello, C. A. C., Lamont, G. B. ve Van Veldhuizen, D. A., 2007, Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems, Springer, p.
- Deb, K., 2011, Multi-objective optimisation using evolutionary algorithms: an introduction, In: Multi-objective evolutionary optimisation for product design and manufacturing, Eds: Springer, p. 3-34.
- Du, P., Wang, J., Hao, Y., Niu, T. ve Yang, W., 2020, A novel hybrid model based on multi-objective Harris hawks optimization algorithm for daily PM2.5 and PM10 forecasting, *Applied Soft Computing*, 96, 106620.
- Durillo, J. J. ve Nebro, A. J., 2011, jMetal: A Java framework for multi-objective optimization, *Advances in engineering software*, 42 (10), 760-771.
- Eusuff, M., Lansey, K. ve Pasha, F., 2006, Shuffled frog-leaping algorithm: a memetic meta-heuristic for discrete optimization, *Engineering optimization*, 38 (2), 129-154.
- Friedman, M., 1937, The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance, *Journal of the american statistical association*, 32 (200), 675-701.
- Golberg, D. E., 1989, Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning, *Addison wesley*, 1989 (102), 36.
- Holland, J. H., 1992, Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence, MIT press, p.
- Johnson, R. A. ve Bhattacharyya, G. K., 2019, Statistics: principles and methods, John Wiley & Sons, p.
- Karaboga, D., 2005, An idea based on honey bee swarm for numerical optimization, *Citeseer*.
- Karakoyun, M., Ozkis, A. ve Kodaz, H., 2020, A new algorithm based on gray wolf optimizer and shuffled frog leaping algorithm to solve the multi-objective optimization problems, *Applied Soft Computing*, 96, 106560.
- Kennedy, J. ve Eberhart, R., 1995, Particle swarm optimization, *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*, 1942-1948.
- Knowles, J. ve Corne, D., 1999, The pareto archived evolution strategy: A new baseline algorithm for pareto multiobjective optimisation, *Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406)*, 98-105.
- Kumawat, I. R., Nanda, S. J. ve Maddila, R. K., 2017, Multi-objective whale optimization, *Tencon 2017-2017 IEEE Region 10 conference*, 2747-2752.
- Li, X., 2003, A non-dominated sorting particle swarm optimizer for multiobjective optimization, *Genetic and evolutionary computation conference*, 37-48.
- Mirjalili, S., Jangir, P. ve Saremi, S., 2017, Multi-objective ant lion optimizer: a multi-objective optimization algorithm for solving engineering problems, *Applied Intelligence*, 46 (1), 79-95.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M. ve Lewis, A., 2014, Grey wolf optimizer, *Advances in engineering software*, 69, 46-61.
- Nebro, A. J., Durillo, J. J., Luna, F., Dorronsoro, B. ve Alba, E., 2007, Design issues in a multiobjective cellular genetic algorithm, *International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization*, 126-140.
- Osyczka, A., 1985, Multicriteria optimization for engineering design, In: Design optimization, Eds: Elsevier, p. 193-227.
- Özkış, A. ve Babalık, A., 2017, A novel metaheuristic for multi-objective optimization problems: The multi-objective vortex search algorithm, *Information Sciences*, 402, 124-148.
- Özkış, A., 2017, Girdap arama ve yapay alg algoritmalarının çok amaçlı optimizasyon problemlerine uyarlanması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sağ, T., 2008, Çok kriterli optimizasyon için genetik algoritma yaklaşımları, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Srinivas, N. ve Deb, K., 1994, Multiobjective optimization using nondominated sorting in genetic algorithms, *Evolutionary computation*, 2 (3), 221-248.
- Tawhid, M. A. ve Savsani, V., 2018, A novel multi-objective optimization algorithm based on artificial algae for multi-objective engineering design problems, *Applied Intelligence*, 48 (10), 3762-3781.
- Uymaz, S. A., Tezel, G. ve Yel, E., 2015, Artificial algae algorithm (AAA) for nonlinear global optimization, *Applied Soft Computing*, 31, 153-171.
- Zitzler, E. ve Künzli, S., 2004, Indicator-based selection in multiobjective search, *International conference on parallel problem solving from nature*, 832-842.
- Zitzler, E. ve Thiele, L., 1999, Multiobjective evolutionary algorithms: a comparative case study and the strength Pareto approach, *IEEE transactions on Evolutionary Computation*, 3 (4), 257-271.



## V TİPİ HAVALI BİR GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN ISIL PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ

Doğan Burak SAYDAM<sup>1,2\*</sup>, Kamil Neyfel ÇERÇİ<sup>3</sup>, Ertaç HÜRDOĞAN<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Enerji Eğitim-Etüt Uygulama ve Araştırma Merkezi, Osmaniye, Türkiye

<sup>3</sup> Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Havalı Güneş Kolektörü,  
V tipi,  
Isıl Verim,  
Tahminleme,  
Yapay Sinir Ağlar.

### Öz

Bu çalışmada, V tipi emici plaka yüzey geometrisine sahip çift geçişli havalı bir güneş kolektörü tasarlanarak imal edilmiş ve kolektörün performansı Osmaniye ili iklim koşullarında deneysel olarak incelenmiştir. Deney düzeneğinde sıcaklık, nem, ışınım ve hava hızı gibi farklı parametreler ölçülmüş ve elde edilen veriler kullanılarak termodinamiğin birinci yasasına göre kolektörün enerji analizi yapılmıştır. Çalışmada ayrıca deneysel olarak elde edilen kolektör çıkış sıcaklığı, üç farklı Yapay Sinir Ağı modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. Çalışma sonucunda kolektör giriş ve çıkış sıcaklığı arasında maksimum 36,07°C'lik bir fark olduğu tespit edilmiştir. Isıl verim deney süresince maksimum %71,42 değerine ulaşmış ve ortalama ısı verim ise %56,21 olarak hesaplanmıştır. Çıkış sıcaklığının tahminlenmesi için oluşturulan her üç model (YSA-1,2,3) için de yakınsamanın çok iyi olduğu fakat LevenbergMarquardt eğitim algoritmasının kullanıldığı YSA-1 modelinin diğer modellere göre deneysel sonuçların tahmininde daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Tahminlenen kolektör çıkış sıcaklığı değerleri kullanılarak hesaplanan kolektör ısı verimi, deneysel verilerle hesaplanan ısı verim ile uyum içerisinde.

## INVESTIGATION OF THERMAL PERFORMANCE OF V TYPE SOLAR AIR COLLECTOR AND MODELING USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

### Keywords

Solar Air Collector,  
V type,  
Thermal Efficiency,  
Estimation,  
Artificial Neural Networks.

### Abstract

A double pass air solar collector with V type absorber plate surface geometry was designed and manufactured in this study. The performance of the collector was experimentally investigated in the climatic conditions of Osmaniye. In the experimental setup, different parameters such as temperature, humidity, radiation, and air velocity were measured. The energy analysis of the collector was made according to the first law of thermodynamics using the obtained data. In addition, the experimentally obtained collector outlet temperature was estimated using three different Artificial Neural Network models. As a result of the study, it was determined that there is a temperature difference between the collector inlet and outlet with maximum value of 36,07 °C. Thermal efficiency reached a maximum value of 71,42% during the experiment, and the average thermal efficiency was calculated as 56.21%. It was determined that the convergence was very good for all three models (ANN-1,2,3) created to predict the outlet temperature but, the ANN-1 model, which use LevenbergMarquardt training algorithm, was more effective in predicting the experimental results compared to the other models. The collector thermal efficiency calculated using the estimated collector outlet temperature values follows the thermal efficiency calculated with experimental data.

### Alıntı / Cite

Saydam, D. B., Çeçi, K. N., Hürdoğan, E., (2021). V Tipi Havalı Bir Güneş Kolektörünün Isıl Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi ve Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1212-1223.

\* İlgili yazar / Corresponding author: doganburaksaydam@osmaniye.edu.tr, +90-328-827-1000/2304

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process         |            |
|--|---|------------|
| D. B. Saydam, 0000-0001-8453-2917        | <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 09.05.2021 |
| K. N. Çerçi, 0000-0002-3126-707X         | <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 17.07.2021 |
| E. Hürdoğan, 0000-0003-1054-9964         | <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 31.08.2021 |
|  | <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

## 1. Giriş (Introduction)

Son yıllarda, yaşam kalitesindeki iyileşme ve sanayileşme süreci ile enerji tüketimi önemli ölçüde artmış ve bu durum, yenilenemez enerji kaynakları tüketimini hızlandırmıştır. Fosil yakıt kullanımının sera gazları oluşumu ve çevreye verdiği zararlar dikkate alındığında daha sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır (Leong vd., 2016). Güneş enerjisi, dünyada kullanılan enerji türleri arasında önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Farklı ülkeler güneş enerjisi ile doğrudan elektrik üretimi için teknolojiler geliştirmiş olsalar da evsel sıcak su veya hava sistemlerinde bir ısı kaynağı olarak kullanımında teknoloji gelişiminde yetersiz kalmıştır (Garcia vd., 2019). Güneş enerjisini kullanmanın en basit ve en verimli yolu, güneş kolektörlerinin kullanıldığı ısıtma uygulamaları için onu termal enerjiye dönüştürmektir. Havayı bir iş akışkanı olarak kullanan güneş enerjili hava ısıtıcıları (kolektörleri), ucuz olması, kolay üretilebilmesi, basit kurulumu sahip olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışma esnasında gürültü açığa çıkartmamaları, radyoaktif maddeler gibi istenmeyen atıklar üretmemeleri, havalı güneş kolektörlerini temiz ve yenilenebilir teknolojilerden biri yapmaktadır. Güneş kolektörü temelde güneş ışınımını ısıya dönüştüren bir ısı eşanjörüdür (Oztop vd., 2013; Jafarkazemi ve Ahmadifard, 2013; Acir vd., 2017). Güneş kolektörleri içerisinde, örtü ve soğurucu tabaka arasında sıcaklık farkından dolayı doğal konveksiyon yolu ile veya bir fan yardımı ile zorlanmış taşınım ile ısı transferi gerçekleştirilebilir. Güneş kolektörleri genellikle düz tabaka olarak tasarlanmakta, ancak emici yüzey farklı geometrik (oluklu, dalgalı vb.) yapılarda da olabilmektedir. Ayrıca, kolektörlerin daha fazla güneş radyasyonu alabilmesi için eğik olarak kurulumları yapılabilmektedir (Varol ve Oztop 2008; Saxena vd., 2013). Özellikle düz yüzeylere sahip emiciden havaya ısı geçişinin düşük olması nedeniyle, havalı güneş hava kolektörlerinin verimi düşüktür. Güneş kolektörlerinin ısı performansını iyileştirmek için çeşitli ısı transfer iyileştirme teknikleri geliştirilmiştir (Alta vd., 2010; Kumar vd., 2016; Colangelo vd., 2016). Emici plaka üzerinde oluşturulan yapay pürüzlülük elemanları (kanat yapıları, engeller, türbülötörler vb.) tasarımlarının basitliği sebebiyle ısı transferini arttırmada yaygın olarak kullanılmaktadır (Manjunath vd., 2018; Sharma vd., 2017). Bu uygulamalardaki temel amaç türbülanslı akış yaratarak, ısı transfer katsayısını arttırmaktır (Deo vd., 2016).

Hesaplama tekniklerinin kullanıldığı deneysel ve analitik çalışmalarda doğru bir sonuca ulaşmak için çok zaman alan karmaşık diferansiyel denklemlerin çözümü ve kapsamlı bilgisayar kodları gereklidir. Yapay Sinir Ağlarının (YSA) kullanımı zamandan tasarruf ve ayrıca çok boyutlu bir bilgi alanında anahtar bilgi kalıpları sağlamaktadır. YSA, verilerden yararlanarak, öğrenme, bağlantı kurma, gruplandırma vb. farklı birçok işlemleri yapmak için kullanılan modellerdir. Bu nedenle YSA kullanımı, bilim ve mühendislik alanlarında giderek daha popüler bir hale gelmektedir. Farklı sistemlerde (rüzgâr, PV sistemlerinin boyutlandırılması ve tahminlenmesi, klima ve ısı pompası sistemleri, farklı termal sistemler vb.) tahminleme amacıyla YSA kullanılmaktadır (Ghritlahre ve Prasad 2018a; Ghritlahre ve Prasad 2018b; Abu Salam ve Keskin 2018; Ghritlahre vd., 2020; Aylak vd., 2021).

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Literatürde havalı güneş kolektörlerinde emici plaka üzerinde farklı yüzey pürüzlülüklerinin ve yüzey geometrilerinin kullanıldığı ve aynı zamanda YSA ile tahminlemenin yapıldığı farklı çalışmalar yer almaktadır. Karsli (2007), kolektör içerisinde yer alan soğurucu levha üzerine farklı açılarda kanatlar yerleştirilerek havalı güneş kolektörünün performansını termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre incelemiştir. Çalışma sonunda araştırmacı, ısı veriminin %20 ile %80 arasında değiştiğini ve maksimum ısı veriminin ise 75° kanat açısına sahip kolektörde elde edildiğini göstermiştir. Ucar ve Inallı, M. (2006), havalı güneş kolektörlerinde ısı transferinin iyileştirilmesi amacıyla kolektör emici plakası üzerinde farklı yüzey geometrileri kullanarak kolektörlerin performansını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda araştırmacılar, emici plakanın farklı bölmelere ayrılması, emici yüzeye kanatçıklar eklenmesi, emici levha yüzeyine belirli bir açı (2°) verilmesi gibi işlemlerin güneş kolektörünün verimini, geleneksel güneş kolektörlerine göre yaklaşık %10-30 oranında artırabileceğini tespit etmişlerdir. Özkaya vd., (2007), düzlemsel güneş kolektörlerinde farklı emici plakaların kullanıldığı durumlar için sistemin performansını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda yazarlar, düz yüzeyli kolektörün, zikzak kanallı boru birleşimi üstteki emici plakanın, zikzak kanallı boru birleşimi ortadaki emici plakanın, parabolik kanallı kolektörün ortalama verimi sırasıyla %32,9, %32,1, %36,3 ve %26,7 olarak hesaplamışlardır. Kavak Akpınar ve Daş (2018), mantar ürününün kuruma karakteristiğini incelemek için havalı güneş kolektörlü bir kurutma sistemi tasarlamışlar ve deneylerden elde edilen veriler doğrultusunda hesaplanan nem içeriği (Nİ), ayrılabilir nem oranı (ANO) ve kurutma hızı (KH) parametrelerini farklı yapay sinir ağı (YSA) modelleri kullanarak modellemişlerdir. Araştırmacılar, elde edilen sonuçlar doğrultusunda, deneysel verilerin YSA modelleri sonucunda elde edilen

veriler ile tutarlı olduğunu açığa çıkartmışlardır. Abuşka, vd., (2017), yeni bir yutucu plaka geometrisi (yüzeyle konik yayların çapraz sıralı yerleşimi) tasarlamışlar ve düz yutucu yüzeyle sahip güneş kolektörü ile kıyaslamışlardır. Yazarlar ayrıca deneysel veriler ile sistemin bulanık mantık modelini oluşturarak kolektör çıkış sıcaklığı ve ısı verimi modellemişlerdir. Çalışma sonucunda bulanık mantık ile üçgen üyelik fonksiyonu yöntemine göre incelenen modellemelerin sıcaklık için %96, ısı verim için ise %94-95 mertebesinde deneysel verilere yakınsadığını tespit etmişlerdir. Caner vd. (2011), iki farklı emici yüzeyle (zikzak ve düz) sahip havalı güneş kolektörlerinin ısı performansını karşılaştırmışlar ve kolektörlerin ısı performanslarını yapay sinir ağı (YSA) modeli kullanarak tahmin etmişlerdir. Çalışma sonucunda araştırmacılar, hesaplanan performans değerleri ile tahmin edilen değerlerin birbirleri ile tutarlı olduğunu göstermişlerdir. Daş ve Kavak Akpınar (2020), güneş enerji destekli bir kurutucuda elmanın kurutulmasını ve kurutma işleminin ekserji analizini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, ayrıca ekserji analizleri doğrultusunda elde edilen ekserji oranını (AEO) tahmin etmek için yapay sinir ağı kullanarak tahmin etmişlerdir. Çalışma sonucunda araştırmacılar, kuruma süresi ile paralel bir şekilde AEO'nun arttığını tespit etmişler ve YSA kullanılarak oluşturulan modelin AEO'nun tahminlenmesinde başarılı sonuçlar açığa çıkarttığını öne sürmüşlerdir.

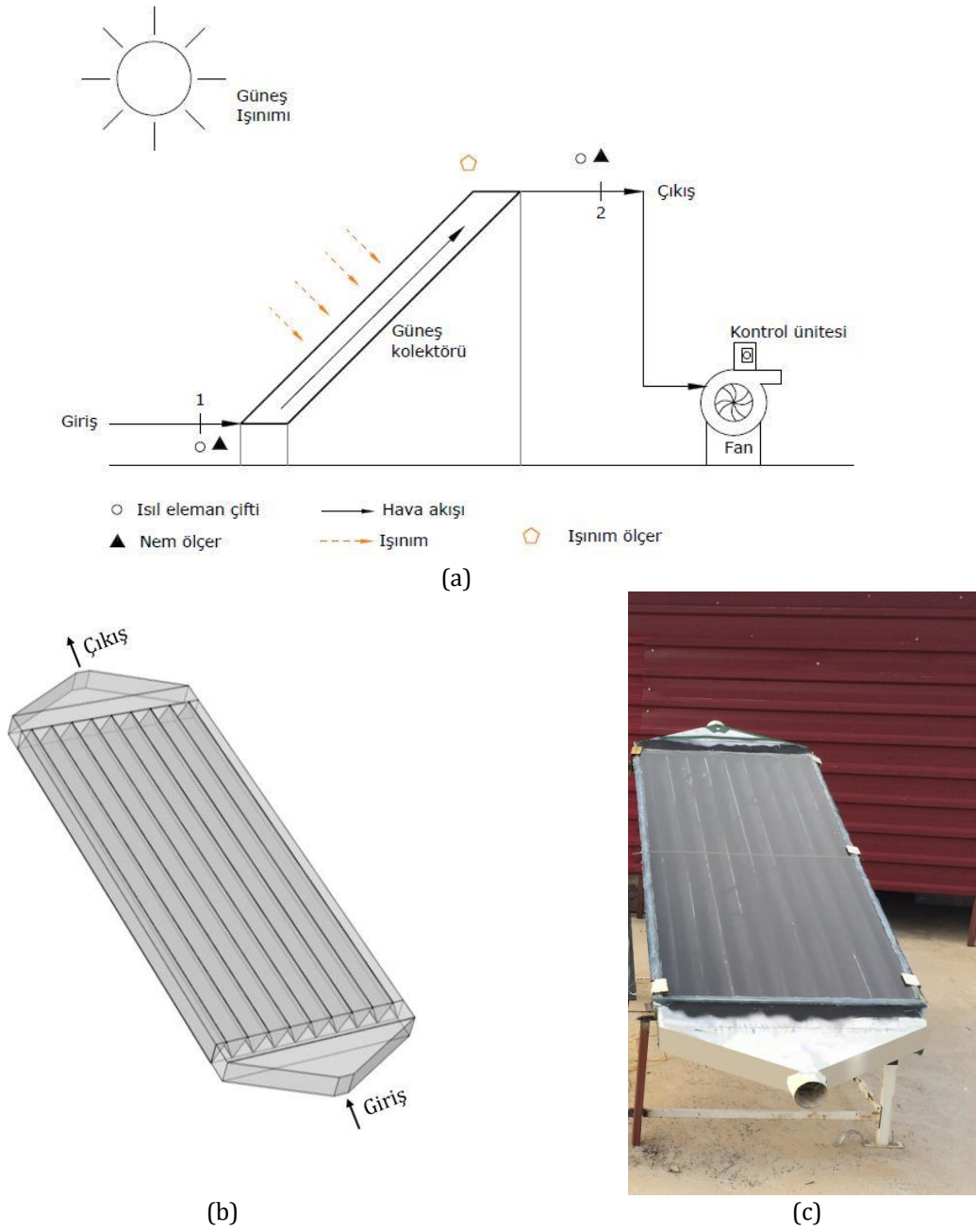
Havalı güneş kolektörlerinde V-oluk tasarımları (V tip), ısı transfer yüzey alanını artırarak hava ile emici arasındaki ısı geçişini arttırmak ve dolayısıyla ısı performansı iyileştirilebilmek için kullanılmaktadır (Karim ve Hawlade 2006; Naphon ve Kornkumjayrit 2008). V tip tasarıma sahip havalı güneş kolektörleri havanın kolektör içerisinde dolaşma şekline göre tek geçişli (Zulkifile vd., 2018), çift geçişli (Karim vd., 2014), üç ve dört geçişli (Khanlari vd., 2020) olarak sınıflandırılabilir. Bu uygulamalarda temel amaç, kolektör geçiş sayısı veya oluk geometrisi ile emici plaka üzerinden daha uzun süre hava akışı sağlanarak ısı transferinin artırılmasıdır.

V tipi havalı güneş kolektörleri ilgili literatür incelendiğinde, kolektör emici plakasında hava akışına dik yönde olukların oluşturulduğu kolektörlerle ilgili çalışmaların yaygın olduğu, olukların hava akışına paralel olduğu kolektör çalışmalarının ise çok az olduğu ve bu tip kolektörlerin gelişime ihtiyacı olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, V tipi emici plaka yüzey geometrisine sahip çift geçişli havalı bir güneş kolektörü tasarlanarak imal edilmiş ve Osmaniye ili iklim koşullarında test edilmiştir. Çalışmada ayrıca kolektör çıkış sıcaklığını tahmini için Yapay Sinir Ağı (YSA) tekniği kullanılmıştır. Çalışma bu yönüyle yapılacak olan bilimsel araştırmalara ve mühendislik uygulamalarına özgün bir örnek teşkil etmeyi hedeflenmektedir.

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

#### 3.1. Deneysel Sistemi (Experimental System)

Şekil 1'de, tasarımı yapılan V tipi havalı güneş kolektörünün teknik çizimi, gerçek resmi ve deneylerin gerçekleştirildiği düzeneğin şematik resmi yer almaktadır. 190x90x10 cm ölçülerindeki kolektörün kasası pleksiglastan yapılmış olup kolektörün alt ve yan yüzeyleri, ısı kayıplarının azaltılması için alüminyum kaplı camyünü ile yalıtılmıştır. Havanın kolektör içerisinde daha fazla dolaşmasını sağlayarak plaka ve akışkan arasında ısı transferini artırmak için alüminyum plaka üzerine yine alüminyumdan imal edilen V şeklinde oluklar (engel, kanatçık) yerleştirilmiştir. Kolektör camı ve bağlantı yerleri de hava kaçakları nedeniyle oluşabilecek kayıpların önüne geçilebilmesi için silikon ile yalıtılmış ve sızdırmazlık sağlanmıştır. Tüm iç yüzeyler, yutucu plaka emiciliği yüksek kolektör boyası ile boyanmış bu sayede kolektör yüzeyine düşen ışımdan maksimum oranda faydalanmak hedeflenmiştir (Saydam vd., 2019). Deneysel düzeneğine (Şekil 1-a) bir fan vasıtasıyla (zorlanmış taşınım) 1 noktasından giren hava ısınarak (2 noktası) kolektörden çıkarak sistemi terk etmektedir. Deneysel çalışmalarda, elde edilen sonuçlar kadar önemli bir başka nokta ise ölçülen değerlerin doğruluğudur. Doğruluğu etkileyen en önemli etken ise, deneyler sırasında farklı nedenlerden (cihazlardan, deneyleri gerçekleştiren personelden kaynaklı, vb.) ortaya çıkabilecek hatalardır. Hata analizi Holman (Holman 2001) tarafından önerilen metod kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de deneysel çalışmada kullanılan cihazlara ait özellikler ve hesaplanan değerlere ait hata analizleri yer almaktadır. Yapılan analizler sonucunda sıcaklık ve ısı verim için hata oranları sırasıyla %1,41 ve %5,01 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 1.** Deneysel düzeneğin şematik gösterimi (a), kolektörün teknik çizimi (b) ve gerçek resmi (c) (Schematic view of the experimental setup (a), the technical drawing (b) and the real picture of the collector (c))

**Tablo 1.** Deneysel çalışmada kullanılan cihazlara ait özellikler (Properties of the devices used in the experimental study)

| Ölçüm Parametresi              | Cihaz                                | Hassasiyet      |
|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| Sıcaklık                       | COLE PARMER K tipi Isıl Eleman Çifti | 0,1 °C          |
| Rölatif nem                    | EPLUSE nem ölçer                     | %2-3            |
| Hava hızı                      | TESTO 435 hava hızı ölçüm probu      | 0,1 m/s         |
| Işınım                         | TRITEC ışınım sensörü                | %±5             |
| Veri kayıt                     | IOTECH PD3001                        | 16 bit          |
| <b>Hesaplanan Parametreler</b> |                                      | <b>Hata (%)</b> |
| Sıcaklık                       |                                      | 1,41            |
| Isıl verim                     |                                      | 5,01            |

### 3.2. Enerji Analizi

İmalatı yapılan V tipi emici plakaya sahip havalı güneş kolektöründe, havaya aktarılan enerji miktarı faydalı enerji olarak adlandırılmakta ve Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_g - T_c) \quad (1)$$

Eşitlikte,  $\dot{m}$ , iş akışkanı olarak kullanılan havanın kütle debisini (kg/s),  $C_p$  havanın özgül ısısını (J/kgK),  $T_g$  ve  $T_c$  sırasıyla kolektör hava giriş ve çıkış sıcaklıklarını (°C) ifade etmektedir. Havanın kütle debisi Eşitlik 2 ile belirlenmiştir.

$$\dot{m} = \rho \cdot V A_c \quad (2)$$

Eşitlik 2'de  $\rho$  havanın yoğunluğunu (kg/m<sup>3</sup>),  $V$  hava hızını (m/s),  $A_c$  ise kolektör çıkışı kesit alanını (m<sup>2</sup>) ifade etmektedir.

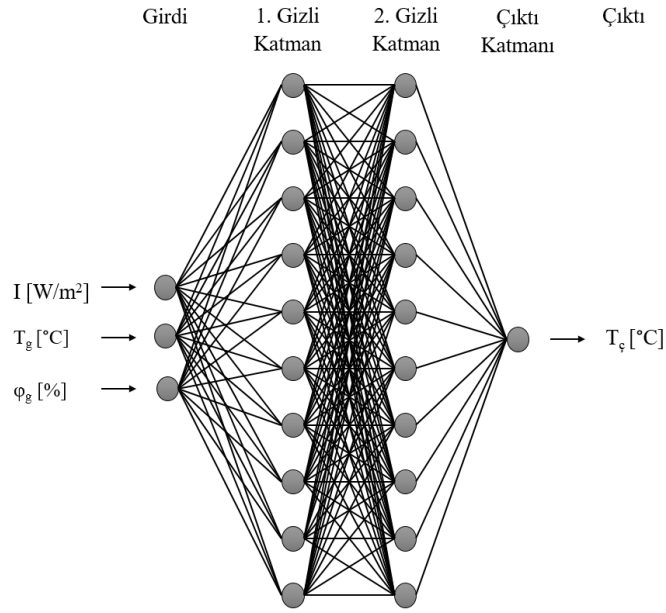
Güneş kolektörün ısı verimi ( $\eta_c$ ) ise Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta_c = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_g - T_c)}{I \cdot A_k} \quad (3)$$

Eşitlikte,  $I$  kolektör yüzeyine düşen güneş ışınımı (W/m<sup>2</sup>),  $A_k$  ise güneş kolektörü yüzey alanını (m<sup>2</sup>) ifade etmektedir (Akpınar ve Toraman 2016; Çerçi vd., 2020).

### 3.3. Yapay Sinir Ağları (YSA) (Artificial Neural Networks (ANN))

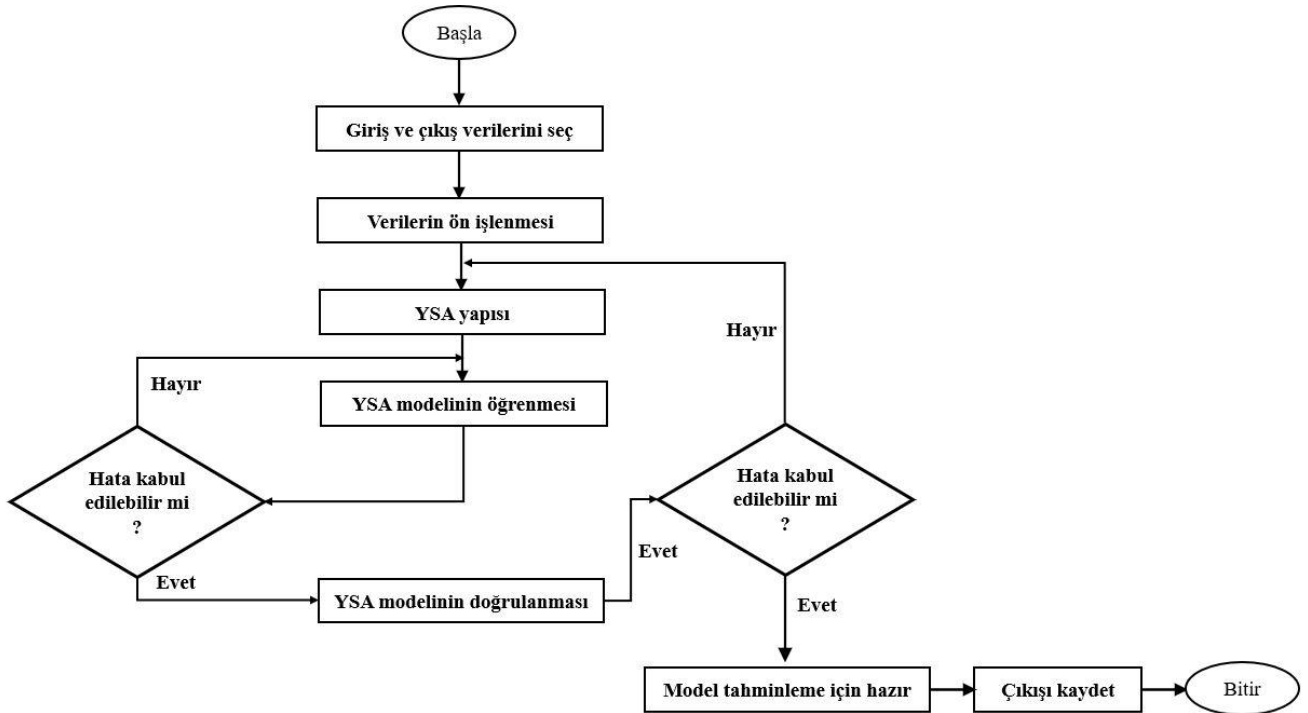
V tipi havalı güneş kolektöründe yapılan testler sonucunda elde edilen kolektör çıkış sıcaklığının YSA ile modellenmesi (tahmin edilmesi) için MATLAB paket programından faydalanılmıştır. Şekil 2 ve 3'te, sırasıyla oluşturulan YSA'ların ağ yapısı ve YSA modelinin akış şeması yer almaktadır. Kolektör çıkış sıcaklığı için yapılan tahminleme çalışmasında, giriş parametreleri olarak ışıma, dış ortam sıcaklığı ve dış ortam rölatif nemi kullanılarak üç farklı eğitim algoritmalarına (YSA-1: LevenbergMarquardt, YSA-2: BFGS Quasi-Newton, YSA-3: Resilient Backpropagation) sahip örnek modeller üretilmiştir. YSA modelleri giriş, çıkış ve iki tane gizli katman olmak üzere toplamda dört katmandan oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında oluşturulan örnek YSA modellerde, logsig aktivasyon fonksiyonuna sahip her biri 10 nörondan oluşan 2 gizli katman bulunmaktadır. Verilerin 573'ü girdi parametresi olarak, 191 adeti ise çıktı parametresi olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan YSA modelleri için deneysel verilerin % 60'ı eğitim, % 20'si test ve % 20'si doğrulama işlemine kullanılmıştır. Literatürde yer alan benzer çalışmalar incelendiğinde Levenberg–Marquardt, scaled conjugate gradient (SCG), Pola–Ribiere conjugate gradient (CGP), Jacobien matrix, BFGS quasi-Newton gibi farklı eğitim algoritmalarının kullanıldığı ve çalışmalarda katman sayısının ise 2-13 arasında değiştiği görülmüştür (Esen vd., 2009; Ghritlahre ve Prasad 2018; Elsheikh vd., 2019). Çalışma kapsamında kullanılan katman ve nöron sayılarının literatürde çalışılan aralıklarda olmasına dikkat edilmiştir. Tablo 2'de oluşturulan YSA modellerin detayları verilmiştir. Tahmin edilen değerlerin doğruluğunu belirlemek için çoklu belirlilik katsayısı (multiple coefficient of determination, R<sup>2</sup>), ortalama karesel hata (mean square error, MSE) ve kök ortalama karesel hata (root mean square error, RMSE) kriterlerine bakılmıştır. Bu kriterler Eşitlik 4-6 arasında yer almaktadır.



Şekil 2. YSA'ların ağ yapısı (Network structure of ANNs)

Tablo 2. YSA modellerinin yapıları (Structures of ANN models)

|                        |   |
|------------------------|---|
| Gizli katman sayısı    | 2   |
| Katmanlardaki nöronlar | 3-10-10-1   |
| Ağırlık değerleri      | Rastgele  |
| Aktivasyon fonksiyonu  | Logsig-Logsig-Purelin   |
| Öğrenme Algoritması    | İleri Beslemeli Geri Yayılım  |
| Eğitim Algoritması     | YSA-1: LevenbergMarquardt<br>YSA-2: BFGS Quasi-Newton, YSA-3: Resilient Backpropagation |



Şekil 3. YSA modelinin akış şeması (Flow chart of ANN model)

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N e_n^2 \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N e_n^2} \quad (5)$$

Burada, N veri sayısı, n o anki verinin değeridir.  $e_n$  hata değeri olup, Eşitlik 6 ile ifade edilmektedir.

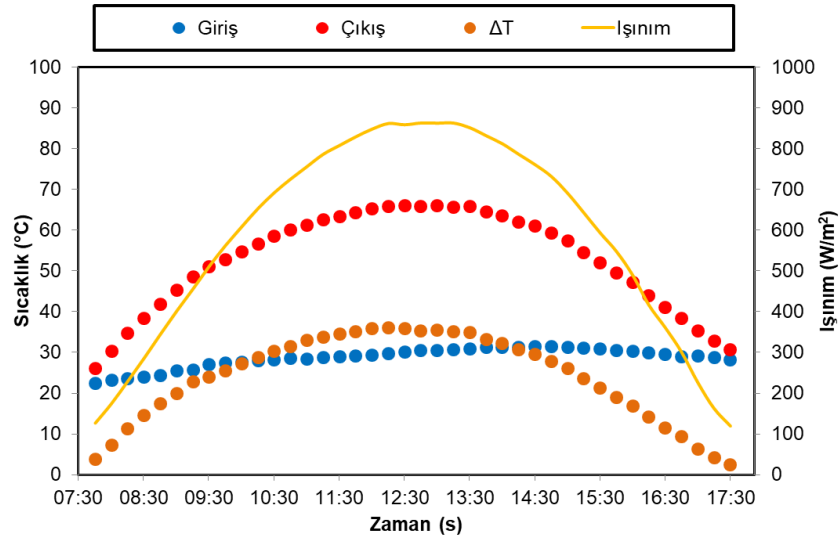
$$e_n = y_d - y_t \quad (6)$$

Burada,  $y_d$ , deneysel olarak elde edilen veriler,  $y_t$  ise YSA ile tahmin edilen verilerdir (Chai ve Draxler 2014).

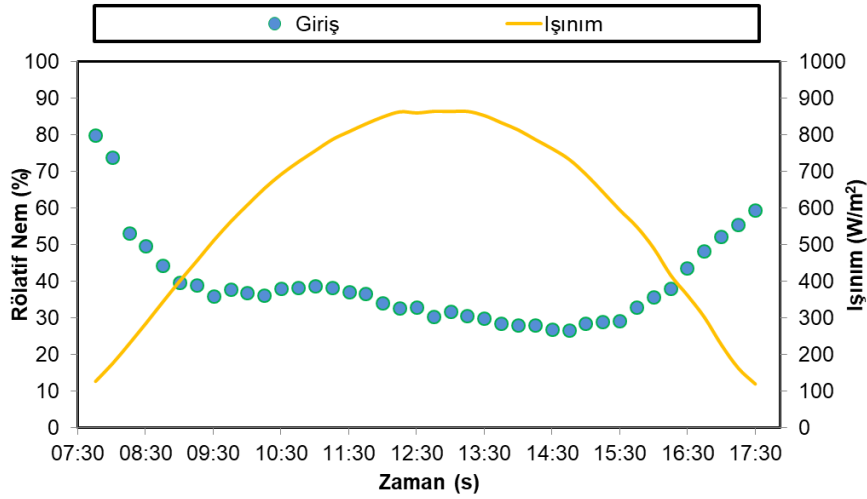
#### 4. Deneysel ve Tahminlenen Sonuçlar (Experimental and Predicted Results)

Yapılan çalışmada, V tipi emici plaka yapısına sahip havalı bir güneş kolektörü deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel kapsamında, farklı noktalarda ölçülen parametrelerin deney süresince zamana göre değişimi incelenmiştir. Deneylere sabah 07:30'da başlanmış ve akşam 17:30'da sonlandırılmıştır. Deney süresince hava kütle debisi gıda kurutma uygulamaları da göz önüne alınarak 0,034 kg/s olarak sabit tutulmuştur. Deney süresince dış ortam havası iş akışkanı olarak kullanılmış ve deney sürecince sürekli olarak dış ortamdan çekilmiştir. Hava hızı sabit 3,1 m/s olarak alınmıştır. Isınan hava kolektörden dış ortama atılmıştır. Şekil 4'te havalı güneş kolektörünün giriş (dış hava) ve çıkışında ölçülen sıcaklıkların, kolektörde oluşan sıcaklık farkının ( $\Delta T$ ) ve ışınlam değerlerinin zaman ile değişimi yer almaktadır. Şekilden değerlerin iklim şartlarına bağlı olarak gün içerisinde değişim gösterdiği görülmektedir. Özellikle deney süresince ışınlamın yüksek olduğu 12:00 ile 14:00 saatleri arasında kolektör çıkışında yüksek sıcaklık değerlerine (maksimum 66,06°C) ulaşılmıştır. Şekilden ayrıca  $\Delta T$ 'de ışınlama bağlı olarak öğle saatlerine kadar artış (maksimum 36,07°C) ve ışınlamın düşmesiyle de daha sonra azalış olduğu görülmektedir. Şekil 5'te dış ortam rölatif nemi ve ışınlamın zaman ile değişimine ait grafik yer almaktadır. Deney başlangıcında yaklaşık %80 civarında olan rölatif nemin dış ortamın ısınması ile birlikte yaklaşık %26'ya kadar düştüğü görülmüştür. Şekil 6'te kolektör verimi ve faydalı enerjinin gün içerisindeki değişimi verilmiştir. Şekilden faydalı enerjinin özellikle ışınlamın yüksek olduğu öğlen saatlerinde maksimum değerlere ulaştığı görülmektedir. Deney süresince kolektörün ısı verimi maksimum %71,42 olarak hesaplanmıştır. Kolektörün günlük ortalama verimi ise %56,21'dir. Kolektör veriminde kütle debisi, yoğunluk, kolektör yüzey alanı sabit değerler olurken, sıcaklık farkı ve ışınlam değişken parametrelerdir. Kolektör verimi 08:15-09:00 saatleri arasında maksimum seviyeye ulaşmıştır. 08:15-09:00 saatleri arasında kolektör giriş sıcaklığı 23,49-25,42°C, ışınlam miktarı ise 286,21-401,66 W/m<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Aynı saat aralığında giriş-çıkış sıcaklık farkının 11,25-19,92°C arasında değiştiği görülmektedir. ışınlam değerlerinin gün içerisinde benzer sonuçlar (225,92-360,71 W/m<sup>2</sup>) açığa çıkarttığı 16:30-17:00 saat aralığında ise kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının 6,25-11,49 °C arasında değiştiği görülmektedir. Bu durum sabah saatlerinde düşük dış ortam sıcaklığına karşın aynı ışınlam değerlerinde kolektörden çıkışında daha yüksek sıcaklık değerlerinin elde edilmesine neden olmuştur. Dolayısıyla sabah saatlerinde, öğle saatlerine göre daha düşük ışınlam değerlerinde giriş-çıkış sıcaklık farkının yükselmesi verim değerini sabah saatlerinde artırmıştır. Şekil 7'da kolektör çıkış sıcaklığının tahmin edilebilmesi için oluşturulan YSA modellerinden elde sonuçların doğrusal bir eğri üzerindeki dağılımları verilmiştir. Tablo 3'te ise tahmin edilen değerlerin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan kriterlerin değerleri verilmiştir. Şekil 7 ve Tablo 3'ten her üç model içinde yakınsamanın çok iyi olduğu (yüksek R<sup>2</sup> değeri) tespit edilmiştir. Fakat tüm kriterler dikkate alındığında en iyi modelin YSA-1 olduğu tespit edilmiştir. Tablo 4'te yapılan çalışma sonucunda elde edilen verilerin literatürde benzer çalışmalardan elde edilen veriler ile kıyaslaması yapılmıştır. Çalışma sonucunda benzer giriş parametrelerine göre elde edilen sonuçların yakınsamaları değerlendirilmiştir. Çalışmada elde edilen R<sup>2</sup> değerleri ile literatürde yer alan R<sup>2</sup> değerlerinin uyum içinde olduğu görülmektedir. Şekil 8'de deneysel ve tahminlenen kolektör çıkış sıcaklığının zaman ile değişimi, Şekil 9'de ise deneysel ve tahminlenen çıkış sıcaklığı kullanılarak hesaplanan kolektör veriminin zaman ile değişim grafikleri yer almaktadır. Her iki şekil de incelendiğinde, deneysel ve tahminleme sonucunda elde edilen verilerin birbiri ile tutarlı ve uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

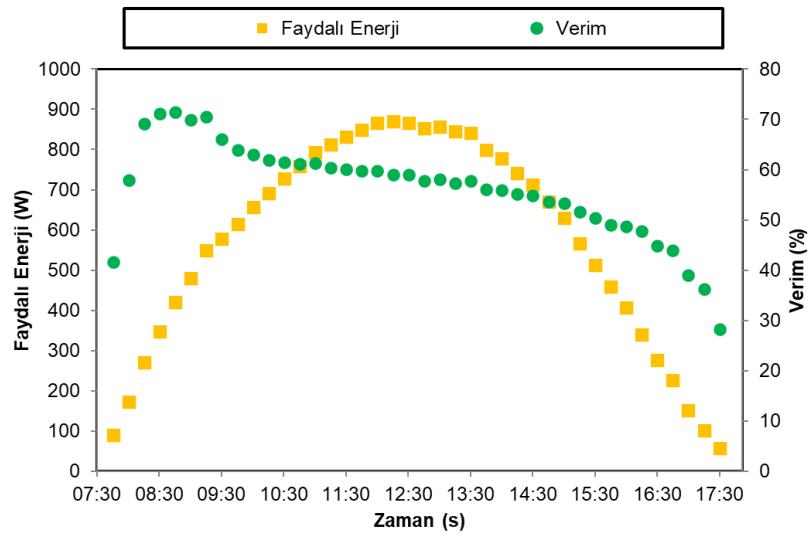




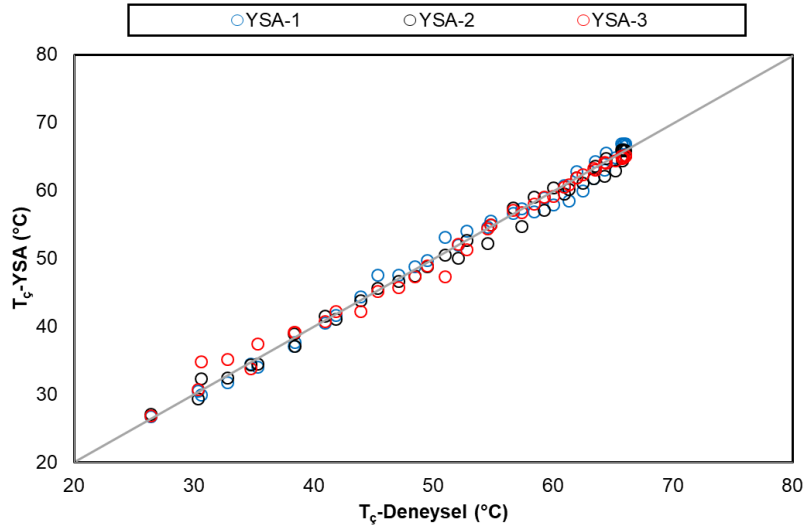
Şekil 4. Sıcaklık ve ışınım değerlerinin zaman ile değişimi (Variation of temperature and solar radiation with time)



Şekil 5. Dış ortam rölatif nemi ve ışınımın zaman ile değişimi (Variation of ambient relative humidity and solar radiation with time)



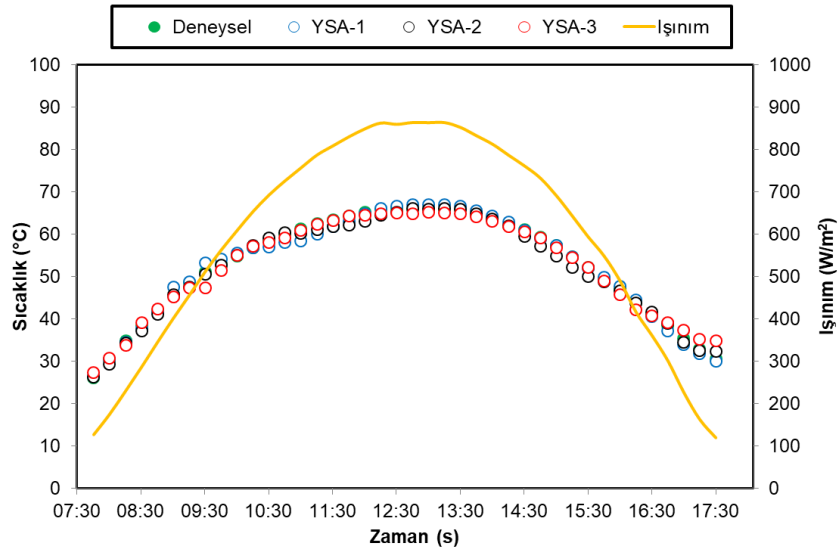
Şekil 6. Kolektör verimi ve faydalı enerjinin zaman ile değişimi (Variation of collector efficiency and useful energy with time)



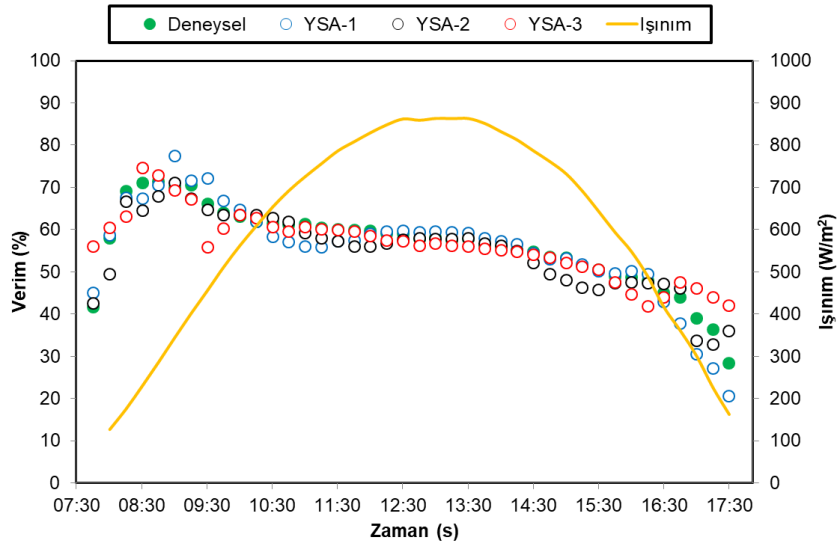
Şekil 7. Elde edilen sonuçların doğrusal eğri üzerindeki dağılımı (Distribution of the obtained results on the linear curve)

Tablo 3. Model sonuçlarının doğrulukları (The accuracy of the results of the model)

| Parametre          | Model | RMSE   | MSE    | R <sup>2</sup> |
|--------------------|-------|--------|--------|----------------|
| T <sub>çıkış</sub> | YSA-1 | 1,1329 | 1,2833 | 0,9914         |
|                    | YSA-2 | 1,1663 | 1,3603 | 0,9934         |
|                    | YSA-3 | 1,2458 | 1,5520 | 0,9916         |



Şekil 8. Kolektör çıkış sıcaklığının ve ışınımın zaman ile değişimi (Variation of collector outlet temperature and radiation with time)



Şekil 9. Kolektör veriminin ve ışınımın zaman ile değişimi (Variation of collector efficiency and radiation with time)

Tablo 4. Model sonuçlarının literatür ile kıyaslanması (Comparison of model results with literature)

| Model | Giriş Parametresi   | Çıkış Parametresi       | Sonuç        | Referans               |
|-------|---|-------------------------|--------------|------------------------|
| YSA   | Gün<br>Zaman<br>$T_{yüzey}$<br>Işınım<br>Azimut Açısı<br>Güneşin Eğim Açısı<br>Kolektörün Eğim Açısı          | Termal Verim ( $\eta$ ) | $R^2=0,983$  | (Sözen vd., 2008)      |
| YSA-1 | $T_{giriş}$<br>$T_{emiciplaka}$<br>Işınım   | $T_{çıkış}$             | $R^2=0,9986$ | (Esen vd., 2009)       |
| YSA-2 |   |                         | $R^2=0,9979$ |                        |
| YSA-3 |   |                         | $R^2=0,9984$ |                        |
| YSA   | Model numarası<br>Zaman<br>$T_{çıkış}$<br>$T_{giriş}$<br>$T_{dışortam}$<br>$T_{depolanmış su}$<br>$T_{yüzey}$ | Termal Verim ( $\eta$ ) | $R^2=0,9995$ | (Caner vd., 2011)      |
| YSA-1 | Kütle debisi<br>$T_{dışortam}$<br>$T_{giriş}$<br>$T_{ortalama}$<br>$T_{yüzey}$<br>Rölatif nem<br>Işınım       | Termal Verim ( $\eta$ ) | $R^2=0,9969$ | (Ghritlahre vd., 2020) |
| YSA-2 | $T_{giriş}$<br>$T_{ortalama}$<br>$T_{yüzey}$<br>Rölatif nem<br>Işınım   |                         | $R^2=0,8970$ |                        |
| YSA-1 | Işınım<br>$T_{giriş}$<br>Rölatif Nem  | $T_{çıkış}$             | $R^2=0,9914$ | Bu Çalışma             |
| YSA-2 |   |                         | $R^2=0,9934$ |                        |
| YSA-3 |   |                         | $R^2=0,9916$ |                        |

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

Bu çalışmada, V tipi emici plaka yapısına sahip havalı bir güneş kolektörünün performansı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada deney düzeneği üzerinden farklı noktalardan alınan ölçümler ile kolektörün enerji analizi yapılmış ayrıca deneysel veriler doğrultusunda güneş kolektörü çıkış sıcaklığı farklı YSA algoritmaları kullanılarak tahmin edilmiştir. Çalışma sonucunda; özellikle ışınım değerinin yüksek olduğu öğle saatlerinde (12:00-14:00) kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının maksimum olduğu görülmüştür. Bu durum kolektörün ısı verimine de yansımış ve deney süresince maksimum kolektör ısı verimi %71,42, günlük ortalama verimi ise %56,21 olarak hesaplanmıştır. Sabah saatlerinden itibaren hem ışınım hem de ortam sıcaklığının artmaya başladığı, öğle saatlerinde zirveye ulaştığı ve öğleden sonra azalmaya başladığı görülmüştür. Işınımın yüksek olduğu 12:00 ile 14:00 saatleri arasında kolektör çıkış sıcaklığı maksimum 66,06°C ulaşılmıştır.  $\Delta T$  trendinin ışınıma bağlı olarak öğle saatlerine kadar artış gösterdiği ve ışınımın düşmesiyle de azalış eğilimine girdiği tespit edilmiştir.

Çalışmada, YSA modelleri giriş, çıkış ve iki tane gizli katman olmak üzere toplamda dört katmandan oluşturulmuştur. Sistem performansını doğrudan etkileyen parametreler giriş katmanındaki giriş parametreleri olarak seçilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda her üç model içinde yakınsamanın çok iyi olduğu ve çıkış sıcaklığını yüksek doğrulukla tahmin edebildiği görülmüştür. Fakat YSA-1 modelinin deneysel sonuçlarına diğer modellerden daha iyi yakınsadığı tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen hata değerlerinin literatürde yer alan benzer çalışmalar ile kıyaslandığında ortalama kare hatası, hesaplama algoritmaları ve katman sayıları doğrultusunda değerlendirildiğinde sonuçların uyum içinde olduğu görülmüştür. Deneysel verilerin YSA ile tahminlenmesi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada farklı parametrelere göre deneyler yapılabilir ve elde edilen sonuçlar yine farklı algoritma ve farklı hesapsal zeka yöntemleri ile tahminlenerek literatüre sunulmak üzere benzer problemlerin çözümlerini kolaylaştırmak için modeller oluşturulabilir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır. There is no conflict of interest between the authors.

## Kaynaklar (References)

- Abu Salam, Z., Keskin M. E. 2018. Yapay Sinir Ağları ile Dibis Barajı'nın Seviye Tahmini. Mühendislik Bilimleri ve Tasarımı Dergisi, 6(4), 564 – 569.
- Abuşka, M., Akgül, M., Altıntaş, V., 2017. Yutucu Plaka Üzerine Konik Yayların Yerleştirildiği Güneş Enerjili Hava Kolektörünün Bulanık Mantık ile Modellenmesi. Politeknik Dergisi, 20 (4), 907-914.
- Acır, A., Canlı, M. E., Ata, İ., Çakıroğlu, R., 2017. Parametric optimization of energy and exergy analyses of a novel solar air heater with grey relational analysis. Applied Thermal Engineering, 122, 330-338.
- Akpınar, E. K., Toraman, S., 2016. Determination of drying kinetics and convective heat transfer coefficients of ginger slices, Heat Mass Transfer, 52, 2271–2281.
- Alta, D., Bilgili, E., Ertekin, C., Yaldiz, O., 2010. Experimental investigation of three different solar air heaters: Energy and exergy analyses. Applied Energy, 87(10), 2953-2973.
- Aylak, B. L., Özdemir, M. H., İnce, M., Oral, O. 2021. Prediction of Turkey's Electricity Generation by Sources Using Artificial Neural Network and Bidirectional Long Short - Term Memory Mühendislik Bilimleri ve Tasarımı Dergisi, 9(2), 425-435.
- Caner, M., Gedik, E., Keçebaş, A., 2011. Investigation on thermal performance calculation of two type solar air collectors using artificial neural network. Expert Systems with Applications, 38(3), 1668-1674.
- Chai, T., Draxler, R. R., 2014. Root Mean Square Error (RMSE) or Mean Absolute Error (MAE)? -Arguments against avoiding RMSE in literature. Geoscientific Model Development Discussions, 7: 1247- 1250.
- Colangelo, G., Favale, E., Miglietta, P., de Risi, A., 2016. Innovation in flat solar thermal collectors: A review of the last ten years experimental results. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57, 1141-1159.
- Çerçi, K., Saydam, D., Hürdoğan, E., 2020. Estimation of the Experimental Drying Performance Parameters Using Polynomial SVM and ANN Models. European Mechanical Science, 4 (3), 123-130.
- Daş, M., Akpınar, E. K. 2018. Mushroom drying in air heated solar collector drying system and modeling of drying performance with artificial neural network. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(1), 23-30.
- Daş, M., Akpınar, E. K. 2020. Güneş enerjili bir kurutucudaki ekserjetik faktörlerin hesaplanması ve yapay sinir ağı ile modellenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11(2), 593-609.
- Deo, N. S., Chander, S., Saini, J. S., 2016. Performance analysis of solar air heater duct roughened with multigap V-down ribs combined with staggered ribs. Renewable Energy, 91, 484-500.
- Elsheikh, A. H., Sharshir, S. W., Abd Elaziz, M., Kabeel, A. E., Guilan, W., Haiou, Z. 2019. Modeling of solar energy systems using artificial neural network: A comprehensive review. Solar Energy, 180, 622-639.
- Esen, H., Ozgen, F., Esen, M., & Sengur, A. 2009. Artificial neural network and wavelet neural network approaches for modelling of a solar air heater. Expert systems with applications, 36(8), 11240-11248.
- Garcia, R. P., del Rio Oliveira, S., Scalon, V. L., 2019. Thermal efficiency experimental evaluation of solar flat plate collectors when introducing convective barriers. Solar Energy, 182, 278-285.

- Ghritlahre, H. K., Chandrakar, P., Ahmad, A., 2020. Application of ANN model to predict the performance of solar air heater using relevant input parameters. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 40, 100764.
- Ghritlahre, H. K., Prasad, R. K., 2018. Application of ANN technique to predict the performance of solar collector systems-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 84, 75-88.
- Ghritlahre, H. K., Prasad, R. K., 2018. Development of optimal ANN model to estimate the thermal performance of roughened solar air heater using two different learning algorithms. *Annals of Data Science*, 5(3), 453-467.
- Holman J.P., 2001. *Experimental methods for engineers*, McGraw Hill, USA.
- Jafarkazemi, F., Ahmadifard, E., 2013. Energetic and exergetic evaluation of flat plate solar collectors. *Renewable energy*, 56, 55-63.
- Karim, M. A., Hawlader, M. N. A., 2006. Performance investigation of flat plate, v-corrugated and finned air collectors. *Energy*, 31(4), 452-470.
- Karim, M. A., Perez, E., Amin, Z. M., 2014. Mathematical modelling of counter flow v-grove solar air collector. *Renewable energy*, 67, 192-201.
- Karsli, S., 2007. Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications. *Renewable Energy*, 32(10), 1645-1660.
- Khanlari, A., Sözen, A., Afshari, F., Şirin, C., Tuncer, A. D., Gungor, A., 2020. Drying municipal sewage sludge with v-groove triple-pass and quadruple-pass solar air heaters along with testing of a solar absorber drying chamber. *Science of The Total Environment*, 709, 136198.
- Kumar, R., Kumar, A., Chauhan, R., Sethi, M., 2016. Heat transfer enhancement in solar air channel with broken multiple V-type baffle. *Case Studies in Thermal Engineering*, 8, 187-197.
- Leong, K. Y., Ong, H. C., Amer, N. H., Norazrina, M. J., Risby, M. S., Ahmad, K. K., 2016. An overview on current application of nanofluids in solar thermal collector and its challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1092-1105.
- Manjunath, M. S., Karanth, K. V., Sharma, N. Y., 2018. Numerical investigation on heat transfer enhancement of solar air heater using sinusoidal corrugations on absorber plate. *International Journal of Mechanical Sciences*, 138, 219-228.
- Naphon, P., Kornkumjayrit, K., 2008. Numerical analysis on the fluid flow and heat transfer in the channel with V-shaped wavy lower plate. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35(7), 839-843.
- Oztop, H. F., Bayrak, F., Hepbasli, A., 2013. Energetic and exergetic aspects of solar air heating (solar collector) systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 59-83.
- Özkaya, M. G., Variyenli, H. İ., Korkmaz, M., 2007. Düzlemsel Güneş Kolektörlerinde Farklı Profillerdeki Emici Plakaların Deneysel İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 10(2), 173-177.
- Saxena, A., Agarwal, N., Srivastava, G., 2013. Design and performance of a solar air heater with long term heat storage. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 60, 8-16.
- Saydam, D. B., Çerçi, K. N., Hürdoğan, E., Özalp, C., 2019. Manufacturing of a Finned Type Solar Air Collector and Investigation of Its Performance in Osmaniye Climate Conditions. *UEMK 2019 Bildiriler Kitabı 24-25 Ekim 2019, Gaziantep*, 1239-1247.
- Sharma, A., Chauhan, R., Singh, T., Kumar, A., Kumar, R., Sethi, M., 2017. Optimizing discrete V obstacle parameters using a novel Entropy-VIKOR approach in a solar air flow channel. *Renewable Energy*, 106, 310-320.
- Sözen, A., Menlik, T., Ünvar, S. 2008. Determination of efficiency of flat-plate solar collectors using neural network approach. *Expert Systems with Applications*, 35(4), 1533-1539.
- Ucar, A., Inalli, M., 2006. Thermal and exergy analysis of solar air collectors with passive augmentation techniques. *International communications in heat and mass transfer*, 33(10), 1281-1290.
- Varol, Y., Oztop, H. F., 2008. A comparative numerical study on natural convection in inclined wavy and flat-plate solar collectors. *Building and environment*, 43(9), 1535-1544.
- Zulkifle, I., Alwaeli, A. H., Ruslan, M. H., Ibarahim, Z., Othman, M. Y. H., Sopian, K., 2018. Numerical investigation of V-groove air-collector performance with changing cover in Bangi, Malaysia. *Case studies in thermal engineering*, 12, 587-599.



## EĞİRDİR GÖLÜ DİP SEDİMENTİNDE AĞIR METAL FRAKSİYONLARININ İNCELENMESİ

Bülent KIRKAN<sup>1\*</sup>, Hakan ŞENÇİMEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Su Enstitüsü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Bilimleri Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye

| Anahtar Kelimeler  | Öz   |
|--|--|
| <i>Eğirdir Gölü,<br/>Sediment,<br/>Ağır Metal,<br/>Ardışık Ekstraksiyon Yöntemi,<br/>Risk Değerlendirme.</i> | Eğirdir Gölü'nde kirlilik, özellikle tarımsal aktiviteler başta olmak üzere insan kaynaklı kirlenme etmenleri nedeniyle her geçen gün artış göstermektedir. Bu kirlilik kaynaklarının başında ağır metaller önemli bir yer tutmaktadır. Söz konusu kirlilik besin zinciri ile sucul canlılardan insanlara kadar gelebilmektedir. Bu çalışma kapsamında Eğirdir Gölü'nde 8 dip sediment örnekleme istasyonu belirlenmiştir. Alınan dip sediment örneklerinin pH, iletkenlik, organik karbon tayini, karbonat tayini, katyon değişim kapasitesi ve organik madde tayini (%) gibi bazı fizikokimyasal parametre değerleri belirlenmiştir. Daha sonra dip sediment örneklerinde mevcut Cd, Pb, Cu, Fe, Ni, Mn, Cr ve Zn ağır metalleri 4 farklı kimyasal fraksiyona ayrılarak incelenmiştir. Örneklerde mevcut ağır metallerin kimyasal fraksiyonlarına ayrılmasında Avrupa Birliği Referans Komisyonu tarafından geliştirilen BCR (The European Community Bureau of Reference) ardışık ekstraksiyon yöntemi kullanılmıştır. Fraksiyonlara ayrılarak elde edilen çözeltilerde mevcut ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesinde ICP-OES cihazı kullanılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre örnekleme istasyonlarında belirlenen ağır metal miktarları için kirlilik ve ekolojik risk değerlendirmeleri yapılmıştır. |

## INVESTIGATION OF HEAVY METAL FRACTIONS IN EĞİRDİR LAKE BOTTOM SEDIMENT

| Keywords   | Abstract  |
|--|---|
| <i>Eğirdir Lake,<br/>Sediment,<br/>Heavy Metal,<br/>Sequential Extraction Method,<br/>Risk Assessment.</i> | The pollution of Lake Eğirdir Lake is increasing day by day due to human-induced pollutants, especially agricultural activities. Heavy metals have an important place in these pollution resources. The existing pollution can come from aquatic creatures to humans with the food chain. In this study, eight bottom sediment sampling stations were selected in Eğirdir Lake. Some physicochemical parameter values such as pH, conductivity, organic carbon determination, carbonate determination, cation exchange capacity and organic matter determination (%) of the sediment samples were determined. Then, heavy metals of Cd, Pb, Cu, Fe, Ni, Mn, Cr and Zn present in bottom sediment samples were separated into 4 different chemical fractions and analyzed. The BCR (The European Community Bureau of Reference) sequential extraction method developed by the European Community Bureau of Reference was used in the separation of the heavy metals present in the samples into chemical fractions. ICP-OES device was used to determine the heavy metal concentrations present in the solutions obtained by fractionation. According to the analysis results obtained, pollution and ecological risk assessments were made for amounts of heavy metals determined at the sampling stations. |

### Alıntı / Cite

Kırkan, B., Şençimen, H., (2021). Eğirdir Gölü Dip Sedimentinde Ağır Metal Fraksiyonlarının İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1224-1235.

\* İlgili yazar / Corresponding author: bulentkirkkan@sdu.edu.tr, +90-246-211-3210

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process         |            |
|--|---|------------|
| B. Kırcan, 0000-0003-3462-0681           | <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 21.06.2021 |
| H. Şençimen, 0000-0003-2397-592X         | <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 27.07.2021 |
|  | <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 15.08.2021 |
|  | <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

## 1. Giriş (Introduction)

Son yıllarda dünya nüfusunun katlanarak artması ve teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte yoğun endüstriyel üretimler sonucunda birçok kirletici madde de çevreyi kirletmektedir. Bu kirletici maddelerin doğrudan veya dolaylı bir şekilde çevreye atılması birçok çevresel problemin oluşumunda büyük bir paya sahiptir. Su kirliliği, su kaynaklarının kimyasal, biyolojik, fiziksel özelliklerini olumsuz yönde kaybetmesine neden olur. Oluşan kirlilik doğal kaynaklarda, insan sağlığında, suyun kalitesinde ve diğer amaçlarla kullanılmasını engellemeye neden olacak şekilde madde veya atıkların boşaltılması sonucu oluşmaktadır (Tumantozlu, 2010). Deniz, göl ve nehir gibi sucul ortamlarda bulunan kirletici maddeler, yeraltı veya yerüstü sularıyla birlikte bu ortamlara deşarj edilerek kirliliğe neden olmaktadır. Ağır metaller bu kirleticiler arasında az miktarda olsa bile birçok zarara sebep olabileceğinden dolayı önemli yer edinmektedir. Sulardaki insan kaynaklı ağır metal kirliliği evsel atıklar, endüstriyel atıklar, balıkçılık faaliyetleri ve tarımsal faaliyetlerde kullanılan ilaçlar ve gübreler tarafından oluşturulmaktadır. Farklı kaynaklardan sucul ortamlara taşınan ağır metaller düşük konsantrasyonlarda olması halinde bile çeşitli organik ve inorganik bileşiklerle (hidroksitler, oksitler ve silikatlar) kompleks oluşturularak partikül halinde veya zamanla sediment tabakasına çökerek su ve sediment ortamında konsantrasyonlarını arttırmaktadırlar (Dora, 2005). Böylece sucul ortamlarda yaşayan canlıların doku ve organlarında birikmesiyle çevre ve sağlık sorunlarının oluşmasına neden olmaktadır.

Sediment, sucul ortamda kirletici maddelerin taşınması, inorganik veya organik partiküllerin dibe çökmesiyle meydana gelmektedir. Ağır metaller sucul ortamlara girdiği zaman kısa süre içerisinde asılı partiküller üzerine tutunmasıyla zamanla çökerek sedimentte depo edilirler. Bundan dolayı sedimentler yüksek ağır metal yüküne sahiptirler (Dora, 2005). Sedimentler bünyesinde bulundurdukları ağır metalleri sucul ortamın fiziki koşulları ve doygunluk seviyelerine göre tekrar suya salabilirler (Dökmeci, 2005). İlk zamanlarda kirlilikleri üzerinde toplayıp ortamın kirliliğini azaltmış gibi görünse bile sonraki aşamalarda tekrar kirlilik oluşturabilmektedirler. Sediment, birim hacim suda bulunan ağır metal konsantrasyonundan çok daha fazla miktarda ağır metal tutabilir. Bundan dolayı toplam sediment yükünün küçük bir kısmının bile biyolojik ortama alınabilirliği sucul organizmalar açısından dikkate değer bir öneme sahiptir (Kennish, 1997). Sedimentte farklı kimyasal formlarda ağır metaller bulunur ve tutunmalarında farklılık göstermektedir. Sediment içerisinde mevcut ağır metaller, iyon değişimi yapabilen, karbonat bağlı ve Fe-Mn oksitlere bağlı, organik madde ve sülfüre bağlı, silikata bağlı fraksiyonlar olarak beş farklı fraksiyona bölünmüştür (Tessier, 1979). Bu fraksiyonlardan iyon değişimi yapabilen, karbonat bağlı, Fe-Mn oksitlere bağlı fraksiyonların sucul ortamlara alınabilirliği yüksek, organik madde ve sülfüre bağlı fraksiyonun alınabilirliği düşük, silikat bağlı fraksiyonun ise alınabilirliği yoktur. Sedimentte bulunan metallerin kimyasal fraksiyonları ortamdaki silikat, hidroksit, oksit, karbonat gibi iyonlar ve organik maddelerle birlikte sedimentin, pH, elektriksel iletkenlik, redoks potansiyeli, katyon değişim kapasitesi, toplam organik madde, kalsiyum karbonat miktarı gibi parametrelere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla bu faktörlerinde göz önüne alınarak sedimentte meydana gelen ağır metal birikiminin ve hangi metalin potansiyel olarak su ortamına alınabileceğinin tespit edilmesi sucul ortamlardaki ağır metal kirliliğinin anlaşılabilmesi için önemli bir göstergedir.

Çalışma alanımız olan Eğirdir Gölü Türkiye'nin ikinci en büyük tatlı su gölü olan ve bulunduğu bölgede çok amaçlı kullanılmasından dolayı değerlidir. Eğirdir Gölü'nde özellikle tarımsal aktiviteler başta olmak üzere insan kaynaklı kirletici etmenler nedeniyle kirlilik her geçen gün artmaktadır. Bu kirlilik kaynaklarının başında ağır metaller önemli bir yer tutmaktadır. Söz konusu kirlilik besin zinciri ile sucul canlılardan insanlara kadar gelmektedir. Eğirdir gölünde günümüze kadar su, sediment ve farklı balık örneklerinde mevcut toplam ağır metal miktarlarının belirlenmesi için birçok çalışmalar (Şener, 2010; Kaptan ve Özcan, 2014; Bulut, 2015) yapılmıştır. Fakat özellikle dip sedimentinde birikme eğiliminde olan ağır metallerin sediment/su dengesi ardışık ekstraksiyon yöntemi kullanılarak farklı fazlarda ve fraksiyonlarda bulunma oranları ve mevcut dağılımın risk faktörleri hakkında değerlendirmeler yapılmamıştır.

Bu tez çalışması kapsamında Eğirdir gölünden alınmış olan dip sediment örneklerinin farklı fraksiyonlarda mevcut ağır metallerin konsantrasyonları Avrupa Birliği Referans Komisyonu tarafından geliştirilen BCR ardışık ekstraksiyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Sediment örneklerinin bazı fizikokimyasal parametreleride analiz edilmiştir. Elde edilen istasyonlara göre ağır metal miktarlarının dağılımına göre kirlilik ve risk indeksi değerlendirmeleri yapılmıştır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Eğirdir gölü ve havzasında farklı dönemlerde su kaynaklarının hidrojeokimyası ve kullanılabilirlik özelliklerinin incelenmesi (Davraz ve Batur, 2020); su, dip sedimenti ve bazı su ürünlerinde (Şener, 2010; Şener vd., 2011; Bulut 2015) ağır metal tayini kapsamında çalışmalar yapılmış olmasına rağmen dip sedimentinin kimyasal fraksiyonlarını ortaya konan bir çalışma yapılmamıştır.

Keskin yapmış olduğu çalışmada (2012), Köyceğiz Gölü'nde üç dönem için beş istasyondan sediment örnekleri almıştır. Sediment örneklerinde fizikokimyasal parametreler yanında sediment örneklerinde mevcut ağır metallerin kimyasal fraksiyonlarına ayrılmasında BCR yöntemini kullanarak Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn metallerinin kimyasal fraksiyonlarını incelemiştir. Daha sonra her bir metal için risk değerlendirme kodu (RAC) kullanarak metallerin risk seviyeleri ortaya koymuştur. Köyceğiz Gölü sedimentinde Mn ve Pb'nin oldukça yüksek risk oluşturduğu Cr ve Fe'in herhangi bir risk oluşturmadığı diğer metallerin risk derecelerinin ise aylara ve istasyonlara bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini rapor etmiştir.

Pradita ve diğerleri (2019) çalışmalarında BCR sıralı ekstraksiyon yöntemini kullanarak Songkhla gölünden aldıkları sedimentlerde eser elementlerin (Zn, As, Cd ve Pb) konsantrasyonlarını belirlemiştir. Asitte çözünür fraksiyonda (F1) Zn (%37,20-64,42) ve Cd (%63,44-77,50) baskın olarak bulmuşlardır. İndirgenabilir fraksiyonda (F2) Pb (%62,01-89,48) baskın olarak tespit etmişlerdir. As (%49,92-73,45) F2 fraksiyonunda ve %48,71-68,02 konsantrasyonlarında oksitlenebilir fraksiyonda (F3) baskın olarak bulmuşlardır. Bütün eser elementleri (Zn, As, Cd ve Pb) biyolojik olarak temin edilebilir fraksiyonlar olan ilk üç fraksiyonda belirlemişler ve F4 fraksiyonundaki metal konsantrasyonlarının ise düşük olduğunu rapor etmişlerdir. Cd elementinin ekolojik risk değerlendirmesinden tüm istasyonlarda bireysel konsantrasyon faktörü (ICF)>6 olarak, küresel konsantrasyon faktörünün (GCF)> 24 olduğunu ve risk değerlendirme kodunun ise (RAC)> %50 olarak sınıflandırıldığını bu değerlerin sudaki organizmalar açısından risk teşkil ettiğini bildirmişlerdir.

Küçüksezgin ve Aydın (2012) Bakırçay ve Gediz Nehirleri havzasında yapmış oldukları çalışmada, sediment örneklerinde ağır metal fraksiyonlarını araştırmışlardır. Çalışmalarında sediment örneklerinde ardışık ekstraksiyon prosedürü kullanılarak Fe, Pb, Zn, Ni, Cu, Mn, Cr metallerini fraksiyonlara ayırıp konsantrasyonlarını belirlemiştir. Elde etmiş oldukları sonuçlara göre Cr, Zn, Cu ve Ni ağır metallerinin en yüksek miktarda mobil olmayan fraksiyonlarda bulunduğunu, Pb'un daha yüksek yüzdesinin kalıntı ve indirgenbilir fraksiyonda, Mn'in en yüksek kalıntı ve karbonat fraksiyonlarında, Fe'in ise en yüksek derişimde kalıntı fraksiyonunda olduğunu belirlemiştir. Hesaplamış oldukları risk değerlendirme kodlarına göre; Fe, Pb, Zn, Ni, Cu ve Cr ağır metallerinin her iki nehir için düşük ve orta derece risk kategorisi arasında olduğu, Mn'in ise Bakırçay'da yüksek risk, Gediz Nehri'nde orta derecede risk kategorisinde olduğunu belirtmişlerdir.

Şener (2010) Eğirdir gölünde yapmış olduğu çalışmada sediment örneklerinde ağır metal derişimlerini incelemiş ve Pb metalinin doğal ve antropojenik kaynaklı olup inorganik tarımsal ilaçlardan kaynaklandığını belirlemiştir. Cu metalinin tarımsal ve endüstriyel kirleticilerden dolayı yüksek konsantrasyonda olduğunu gözlemlemiştir. Ni metalinin tarım ve antropojenik kaynaklı olduğunu tespit etmiştir. Zn metalinin bazı bölgelerde yüksek çıkmasının antropojenik girdilerden kaynaklandığı belirtmiştir. Fe metali özellikle yalvaç deresinin boşaltım noktasında yüksek olduğunu tespit etmiştir. Mn metalinin antropojenik etkilerden ve kayaç-su etkileşiminden dolayı yüksek bulunduğunu belirtmiştir. Cr metalinin ise pupa çayı, çay dere ve yalvaç deresinin boşaltımından kaynaklandığını tespit etmiştir.

Bulut Eğirdir Gölü sedimentinde yapmış olduğu çalışmada (2015) Hg, Pb, Cd ve Zn ağır metallerinin derişimlerinin dört eşik etki değerinin altında olduğunu belirlemiştir. As ve Ni metal derişim değerlerinin yüksek çıkmasının jeolojik etkiler ve tarım aktivitelerden kaynaklandığını belirtmiştir.

Li ve arkadaşları (2018) Honghu Gölü'nden yapmış oldukları çalışmada sediment örneklerinde BCR yöntemini kullanarak ağır metallerin kimyasal fraksiyonlarını incelemiştir. Belirlenen ağır metallerin biyolojik etkilerinin belirlenmesi sonrasında beş metal için Cr> Cu> Zn> Pb> Cd sıralamasını elde etmişlerdir. Sediment örneklerindeki ağır metallerin RAC değerlerini Cd (önemli risk)> Cu (orta risk)> Zn (düşük risk)> Pb> Cr olarak elde etmişler ve Cd ve Cu metalleri yönünden kirlenmenin yüksek riskli olduğunu belirlemiştir.

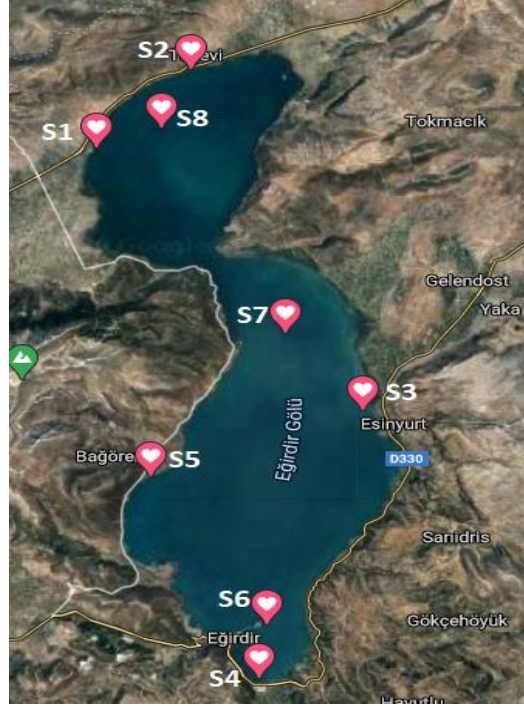
## 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

### 3.1. Çalışma Alanı (The Study Area)

Çalışma alanımız olan Eğirdir Gölü ülkemizin Akdeniz Bölgesinde yer almaktadır. Ülkemizin en büyük dördüncü, tatlı su olarak ikinci en büyük gölü olmakla birlikte 420 km<sup>2</sup> bir alana sahiptir. Eğirdir gölü uydu görüntüsü ve



örnekleme noktaları Şekil 1’de verilmiştir. Eğirdir Gölü’ndeki derinlikler 5 – 15 m arasında değişmektedir. Eğirdir Gölü havzasında birçok akarsu bulunmaktadır. En çok bilinen akarsular Yalvaç (Sücüllü), Pupa çayı (Üyüllü) ve Gelendost çayıdır. Eğirdir Gölü bulunduğu bölgede çok amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bunlar içerisinde ilk sırada bölge halkı için içme suyu kaynağı olması gelmektedir. Daha sonrasında etrafında bulunan birçok tarım arazilerinin sulanması, balıkçılık ve turizm gibi birçok faaliyet gerçekleştirilmektedir. Analiz için gerekli örnekler alınırken Eğirdir Gölü’nde, göle deşarj noktalarına yakın ve kirliliği temsil edebilecek sediment yapısına sahip noktalardan sekiz farklı istasyon seçilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı ve istasyonların uydu görüntüsü (Satellite view of workspace and stations)

### 3.2. Çalışma Yöntemleri (Methods)

Belirlediğimiz istasyonlardan sediment örnekleri Eckmann Kepçesi ile alınmış ve 1L’lik plastik kaplara doldurularak laboratuvara getirilmiştir. Bu yöntemle alınmış olan örnekler sedimentin ilk 10 cm’lik kısmının kompozit karışımını temsil etmektedir. Aldığımız sediment örneklerinin fizikokimyasal ölçümleri ve ağır metalleri fraksiyonlarına ayırma işlemleri Süleyman Demirel Üniversitesi Su Enstitüsü Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir. Sediment örnekleri kurutulduktan sonra <1mm boyuttaki elekten geçirilerek elenmiştir.

#### 3.2.1. Sediment örneklerinin fizikokimyasal analiz yöntemleri (Physicochemical analysis methods of sediment samples)

##### 3.2.1.1. pH, iletkenlik (pH, conductivity)

Sediment-su oranı 1:3 (w/v) olacak şekilde bidestile saf su ile sediment çamur haline getirilerek pH, iletkenlik WTW İmolab cihazı ile ölçülmüştür.

##### 3.2.1.2. Karbonat tayini (%CaCO<sub>3</sub>) (Carbonate determination)

50,0 mL 0,5 M HCl çözeltisi 5,0 g sediment örneği üzerine eklenip 5 dakika çözelti ısıtılmıştır. Yeterli soğukluğa ulaşıncaya kadar beklenip sonrasında sediment-asit karışımı filtre kullanılarak süzülmüş ve asitlik tam olarak giderilinceye kadar kalan çökelti kısmı dört kez 5-10 mL saf su ile yıkama işleminden sonra süzünüye fenolftalein ekleyip 0,25 M NaOH ile renk değişimi gözleninceye kadar titre edilmiştir (Bech vd., 2008; Keskin, 2012).

##### 3.2.1.3. Organik Karbon tayini (Organic Carbon determination)

0,5 g sediment örneğine 10,0 mL 1N K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> eklenerek karıştırılmış ve ardından 20,0 mL derişik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ilave edilerek karıştırılmaya devam edilmiştir. 30 dakika bekleyip soğuduktan sonra, 200 mL saf su, 10,0 mL H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ve

3-4 damla (0,025M) ferroin indikatörü ilave edilip, 0,5 N FeSO<sub>4</sub> çözeltisi ile titrasyon işlemi yapılarak tayin edilmiştir (Walkley-Black Metodu; Keskin, 2012).

#### 3.2.1.4. Katyon değişim kapasitesi (KDK) (Cation exchange capacity)

4,0 g sediment örneği santrifüj tüpüne aktarıldıktan sonra 33,0 mL 1N sodyum asetat (NaCH<sub>3</sub>COO) çözeltisi ilave edildikten sonra tüpün ağzı kapatılarak çalkalanmıştır. Çalkalama işleminden sonra santrifüj işlemi uygulanmıştır. Üst kısımda kalan şeffaf sıvı dökülmüştür ve bu işlem iki kere daha uygulanmıştır. Yıkama işlemi için 33 mL etil alkol ilave edilerek tüpün ağzı tekrar kapatılarak çalkalanmış sonra santrifüj işlemi uygulanmış ve üstteki şeffaf sıvı dökülmüştür. Bu işlem üç kez tekrar edilmiştir. Daha sonra sedimente 33,0 mL 1N amonyum asetat (NH<sub>4</sub>CH<sub>3</sub>COO) ilave edilerek çalkalandıktan sonra santrifüj işlemi uygulanmış ve üstteki şeffaf sıvı 100 mL'lik balon jode toplanmıştır. Amonyum asetat ilave edilerek iki defa daha aynı işlem uygulanmış ve elde edilen sıvılar balon jode toplanarak amonyum asetat ile 100 mL'ye tamamlanmıştır. Çözeltinin sodyum konsantrasyonu ICP-OES cihazında okunarak; meq= Na<sup>+</sup> (mg)/mol kütlesi x tesir değeri formülünden KDK hesaplanmıştır (EPA Method 9081; Keskin, 2012).

#### 3.2.1.5. Organik madde tayini (%) (Determination of organic matter)

Sabit tartıma getirilmiş porselen kroze içerisine belli miktarda (3-5 g) sediment örneği alınarak ilk tartım yapılmış ve not edilmiştir. Örnekler kül fırınında 550 °C'de 4 saat yakma işleminden sonra desikatörde soğutulmuş ve sabit tartıma getirilerek son tartım alınıp not edilmiştir. İlk tartım ile son tartım arasındaki farktan % organik madde tayini yapılmıştır (APHA, 2005; Keskin, 2012).

#### 3.2.2. Sediment örneklerinde ağır metallerin fraksiyonlara ayrılması ve analizleri (Fractionation and analysis of heavy metals in sediment samples)

Ağır metallerin fraksiyonlara ayrılmasında genellikle BCR ve Tessier prosedürleri uygulanmaktadır. BCR prosedürü, Tessier'in önerdiğine göre farklı olarak ağır metal fraksiyonlarını; değişebilir ve asitte çözünebilir (karbonata bağlı), indirgenebilir (Fe-Mn oksihidroksitlere bağlı), oksitlenebilir (organik maddelere ve sülfürlere bağlı) ve kalıntı (silikatlara bağlı) fraksiyonlar olarak dört basamakta değerlendirilmektedir. Fraksiyonlara ayırma işlemine geçmeden önce sediment örneklerinde mevcut ağır metallerin analizi yaptırılmış ve örneklerde belirlenmiş olan ağır metallerin fraksiyonlara göre dağılımı incelenmiştir. Bu işlem için dip sediment örneklerinden 1,0'er g alındı ve BCR ardışık kimyasal ekstraksiyon prosedürü uygulanarak ağır metaller fraksiyonlarına ayrıldı. Her örnek için fraksiyonlarına ayırma işlemi 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen çözeltiler birleştirilmiştir. Ardından elde edilen çözeltilerde mevcut ağır metal miktarları ICP - OES cihazı ile analiz edilmiştir (Keskin, 2012).

##### 3.2.2.1. Değişebilir fraksiyon (F1) (Exchangeable fraction)

1,0 g dip sediment örneği santrifüj tüpüne aktarılmış ve üzerine 40,0 mL 0,11M CH<sub>3</sub>COOH çözeltisi eklenmiştir. Oluşan karışım 16 saat oda sıcaklığında çalkalanmıştır. Ekstraktant santrifüj işlemi uygulanarak katı fazdan ayrılmış ve polietilen saklama kabına konarak (50mL) analiz gerçekleştirilinceye kadar buzdolabında bekletilmiştir. Santrifüj tüpünde kalan katı kısım 20,0 mL saf su ile 15 dakika çalkalanarak yıkama işlemi uygulanmış ve santrifüj edildikten sonra yıkama suyu atılmıştır. Ardından bir sonraki fraksiyon basamağına geçilmiştir (Keskin, 2012).

##### 3.2.2.2. İndirgenebilir fraksiyon (F2) (Reducible fraction)

İlk basamaktan elde edilen santrifüj tüpündeki katı kısma 40,0 mL 0,5 M NH<sub>2</sub>OH.HCl çözeltisi ilave edilmiştir. Ardından elde edilen karışım 16 saat oda sıcaklığında çalkalayıcıda çalkalanmıştır. Çalkalama işleminden sonra 15 dakika santrifüj işlemi uygulanmıştır. Elde edilen çözelti polietilen saklama kabına konarak analiz gerçekleştirilinceye kadar buzdolabında bekletilmiştir. Santrifüj tüpünde kalan katı kısım ilk basamakta olduğu gibi yıkama işleminin ardından sonraki basamak için hazır hale getirilmiştir (Keskin, 2012).

##### 3.2.2.3. Oksitlenebilir fraksiyon (F3) (Oxidizable fraction)

İkinci basamaktan elde edilen katı kısma 10,0 mL 8,8M H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> çözeltisi ilave edilmiştir. Ardından santrifüj tüpünün kapağı kapatılarak çözünürleştirme için 22 °C 60 dakika çalkalanmıştır. Çözünürleştirme işlemine tüplerin kapakları açılarak 60 dakika boyunca 85 ± 2 °C'de su banyosunda devam edilmiştir. Sonrasında santrifüj tüplerinde çözelti hacmi 3,0 mL'den az kalana kadar devam edilmiştir. İşlem tamamlandığında 8,8 M H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> çözeltisinden ikinci bir 10,0 mL ilave edilmiş ve tüplerin kapakları kapatılarak tekrar 85 ± 2 °C'de 60 dakika ısıtılmıştır. Daha sonra tüplerin kapakları açılarak çözelti hacmi 1,0 mL kalana kadar buharlaştırmaya devam

edilmiştir. Bu kısımda çökeltinin kurumamasına dikkat edilmiştir. Santrifüj tüpleri soğutulduktan sonra üzerine 50,0 mL 1M NH<sub>4</sub>CH<sub>3</sub>COO çözeltisi ilave edilmiş ve 16 saat 22±5 °C çalkalanmıştır. Ekstraktant santrifüj uygulanarak katı fazdan ayrılmış ve polietilen saklama kabına konarak analiz gerçekleştirilinceye kadar buzdolabında bekletilmiştir. Kalan katı kısım daha önceki basamaklarda olduğu gibi yıkanama işlemi uygulanarak bir sonraki aşama için hazır hale getirilmiştir (Keskin, 2012).

#### 3.2.2.4. Kalıntı fraksiyon (F4) (Residual fraction)

En son ardışık ekstraksiyonlardan her örnek için elde edilen numuneler birleştirilerek içerisinde kalan ağır metallerin miktarlarının analiz edilmesi için ICP-OES cihazı laboratuvarına verilmiştir.

### 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

#### 4.1. Sediment Örneklerinin Fizikokimyasal Özellikleri (Physicochemical Properties of Sediment Samples)

Sediment örnekleri içerisindeki ağır metallerin dağılımlarını fizikokimyasal koşullar ciddi seviyede etkilemektedir. Bu parametrelerden en önemlisi pH parametresidir. pH ölçülmesi ile sedimentin salınımı ve birikimleri kontrol edilmektedir. Ağır metallerin mobilitesi sediment içerisinde pH'ın düşmesi ile arttığından dolayı sucul ortama salınım gerçekleştirme riski yüksektir (Peng vd., 2009; Keskin 2012; Wang vd. 2020). İstasyonlardan alınan dip sediment örneklerinin fizikokimyasal analiz sonuçları Tablo 1' de verilmiştir.

**Tablo 1.** Alınan örneklerin istasyonlara göre fizikokimyasal parametrelerin analiz sonuçları (Analysis results of physicochemical parameters of the samples taken according to the stations)

| İstasyon No | pH  | İletkenlik (µS/cm) | %CaCO <sub>3</sub> | % Organik C | %Organik Madde | KDK (meq/100g) |
|-------------|-----|--------------------|--------------------|-------------|----------------|----------------|
| S1          | 8,1 | 147,5              | 24,7               | 1,58        | 5,35           | 18,3           |
| S2          | 7,9 | 186,2              | 24,9               | 1,42        | 2,37           | 4,3            |
| S3          | 8,7 | 96,6               | 23,8               | 0,74        | 5,51           | 21,3           |
| S4          | 8,1 | 215,0              | 24,1               | 1,80        | 5,31           | 17,9           |
| S5          | 8,9 | 83,2               | 23,8               | 1,25        | 1,37           | 4,6            |
| S6          | 7,7 | 245,0              | 24,6               | 2,67        | 10,31          | 35,2           |
| S7          | 8,4 | 163,4              | 24,7               | 1,91        | 5,43           | 16,0           |
| S8          | 8,2 | 195,0              | 24,6               | 3,19        | 9,95           | 21,1           |

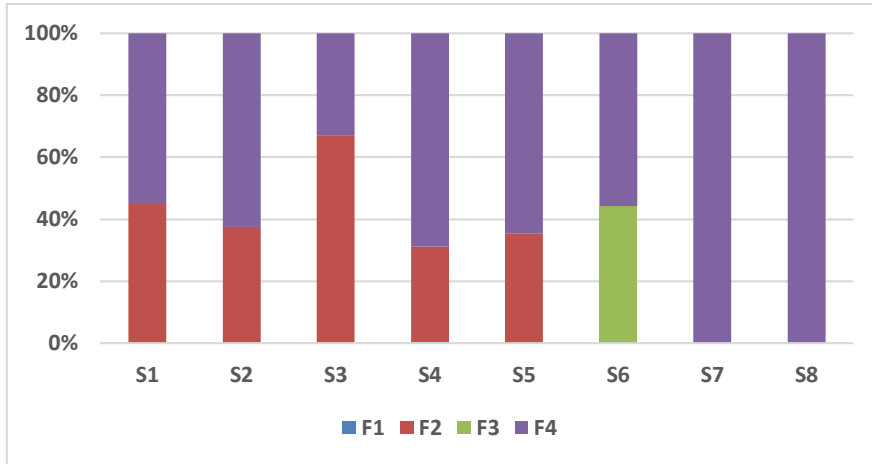
Bu çalışma ile yapılan ölçümler sonucunda pH değerleri 7,76 – 8,81 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre dip sedimentinde bulunan ağır metallerin sulu ortama salınımlarının kısıtlı olacağı düşünülmektedir. İletkenlik, tuzluluğun bir başka ifadesi olarak değerlendirilebilir ve metallerin sediment içerisinde metal dağılımlarını etkilemektedir. Sediment örneklerinin yapılan iletkenlik ölçüm sonucu 83,2 – 245,0 (µS/cm) aralığında olduğu belirlenmiştir ve elde edilen sonuçlar bir içme suyu kaynağı olarak kullanılan Eğirdir gölü için sediment içerisinde çözünmüş iyonların miktarının düşük olması ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Dip sediment örnekleri için belirlenen iletkenlik değerleri literatürde benzer çalışmalarda da elde edilmiştir (Ates vd., 2020). Elde edilen sonuçlarda % CaCO<sub>3</sub> değerleri %23,8 – 24,9 aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Organik maddeye bağlı olan oksitlenebilir fraksiyonun açıklanması açısından % organik C ve % organik madde miktarları büyük önem taşımaktadır. Yapılan ölçümler sonucunda % organik C miktarı % 0,74 – 3,19 aralığında, % organik madde miktarı ise %1,37 – 10,31 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Katyon değişim kapasitesi sedimentin birim miktarda adsorplayabileceği katyon miktarını ifade etmektedir. Yapılan çalışma sonucunda KDK değerleri 4,3 – 35,2 meq/100g aralığında değiştiği tespit edilmiştir.

#### 4.2. Ağır Metal Fraksiyonların Yüzde Dağılımı (Percentage Distribution of Heavy Metal Fractions)

Ağır metallerin çevresel etkilerini değerlendirmek için ağır metallerin fraksiyonlarının belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Çünkü toplam ağır metal konsantrasyonu ile yalnızca sedimentlerin kalitesi değerlendirilebilirken ağır metallerin fraksiyonlarının konsantrasyonunun tespit edilmesi ile metallerin potansiyel riskleri ve mobiliteyi hakkında bilgi edinilebilmektedir. Aşağıda BCR ardışık kimyasal ekstraksiyon yönetimi kullanılarak belirlenen Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn metallerinin fraksiyonlarının istasyonlar arasındaki yüzde dağılımları Şekil 2-8'de verilmiş ve her bir metal için ayrı ayrı değerlendirmeler yapılmıştır.

#### 4.2.1. Bakır (Cu) (Copper)

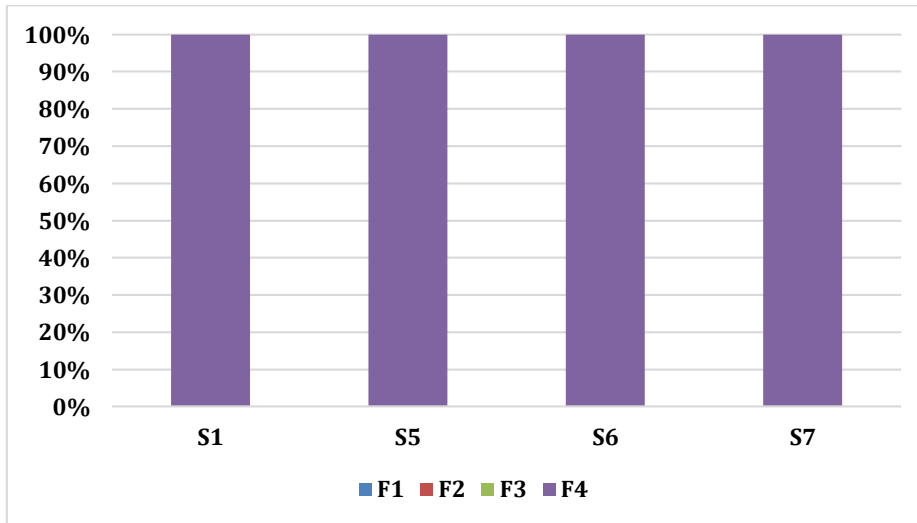
Elde edilen analiz sonuçlarına göre 8 istasyondan alınan örneklerden sadece S4 no'lu istasyonda değişebilir fraksiyon miktarı %0,6 olarak; S1, S2, S3, S4, S5 no'lu istasyonlarda ise indirgenebilir fraksiyon miktarı %30,5-67,2 arasında; S6 no'lu istasyonda oksitlenebilir fraksiyon miktarı %44,3 ve tüm istasyonlarda kalıntı fraksiyonu miktarları %32,8 – 100 aralığından tespit edilmiştir. Bakır metali için bakıldığında en yüksek konsantrasyonların indirgenebilir ve kalıntı fraksiyonlarında olduğu tespit edilmiştir. Bu durum doğal kaynaklar dışında antropojenik kaynaklı kirleticilerin göle deşarj edildiğini göstermektedir. Bakır için indirgenebilir fraksiyona bağlı fraksiyonun ilk beş istasyon için yüksek mobilite ve potansiyel riske sahip olduğunu göstermektedir. Bakır metali için LOQ (tayin limiti) değeri 6 µg/L' dir. İstasyonlara göre Cu ağır metalinin fraksiyonlara göre yüzde dağılımı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Cu metali fraksiyonlarının istasyonlar arasındaki yüzde dağılımı (Percentage distribution of Cu metal fractions between stations)

#### 4.2.2. Çinko (Zn) (Zinc)

Elde edilen analiz sonuçlarına göre 8 istasyondan alınan örneklerde değişebilir fraksiyon, indirgenebilir fraksiyon ve oksitlenebilir fraksiyonlarında Zn metali belirlenememiştir. S1, S5, S6, S7 no'lu istasyonlarda mevcut Zn metalinin tümü kalıntı fraksiyonunda tespit edilmiştir. Söz konusu istasyonlar için bu durum Zn ağır metalinin doğal kaynaklı olduğunu göstermektedir. Çinko metali için LOQ değeri 6 µg/L' dir. İstasyonlara göre Zn ağır metalinin fraksiyonlara göre yüzde dağılımı Şekil 3'de verilmiştir.

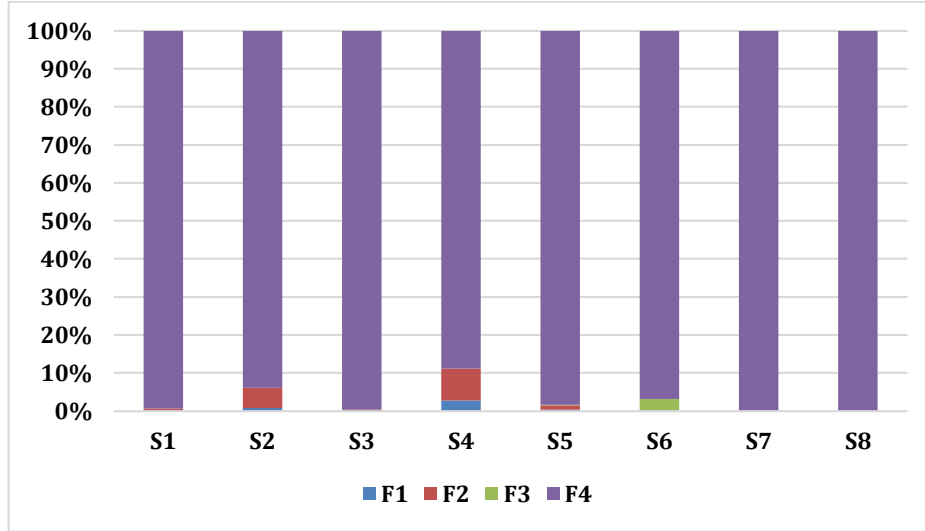


Şekil 3. Zn metali fraksiyonlarının istasyonlar arasındaki yüzde dağılımı (Percentage distribution of Zn metal fractions between stations)

#### 4.2.3. Demir (Fe) (Iron)

Elde edilen analiz sonuçlarına göre S1, S2, S4, S5, S6 istasyonlarından alınan örneklerde değişebilir fraksiyon miktarı %0,04 – 2,8 aralığında değişirken; S3, S7, S8 no'lu istasyonlarda ise belirlenememiştir. İndirgenebilir fraksiyon miktarları %0,3 – 8,4 olarak ilk beş istasyonda tespit edilmişken diğer istasyonlarda tespit

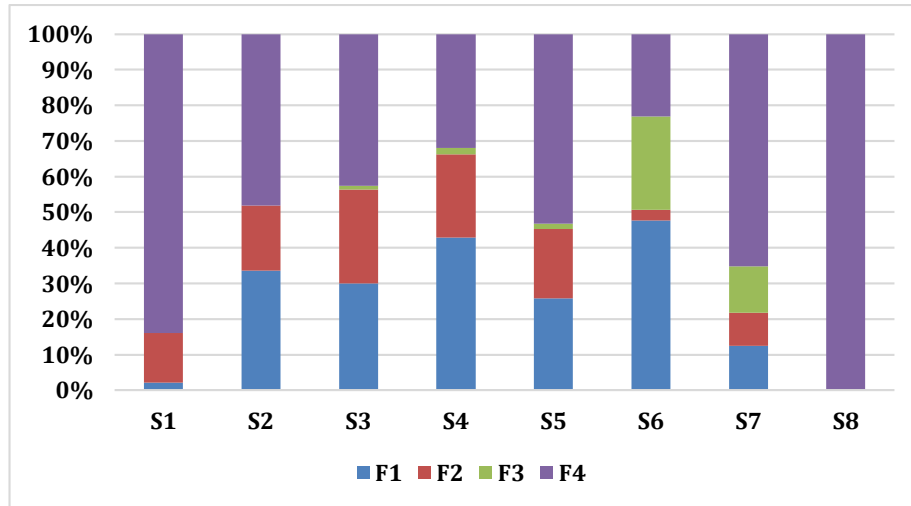
edilememiştir. Oksitlenebilir fraksiyon miktarı %0,1 – 3,1 arasında S5 ve S6 istasyonlarında tespit edilmişken, diğer istasyonlarda ise tespit edilememiştir. Tüm istasyonlar için kalıntı fraksiyon miktarı %88,8 – 100 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre Fe metali için değişebilir, indirgenebilir ve oksitlenebilir fraksiyon miktarlarının düşük olması nedeniyle önemli derecede potansiyel risk içermediği belirlenmiştir. Kalıntı fraksiyon miktarlarının yüksek yüzdelere sahip olması ise Fe metalinin doğada çok fazla miktarda bulunması ve yağmur suları, erozyonlar gibi doğal süreç sonucu sucul ortama taşınıp sediment içerisinde biriktiği düşünülmektedir. Demir metali için LOQ değeri 15 µg/L' dir. İstasyonlara göre Fe ağır metalinin fraksiyonlara göre yüzde dağılımı Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Fe metali fraksiyonlarının istasyonlar arasındaki yüzde dağılımı (Percentage distribution of Fe metal fractions between stations)

#### 4.2.4. Mangan (Mn) (Manganese)

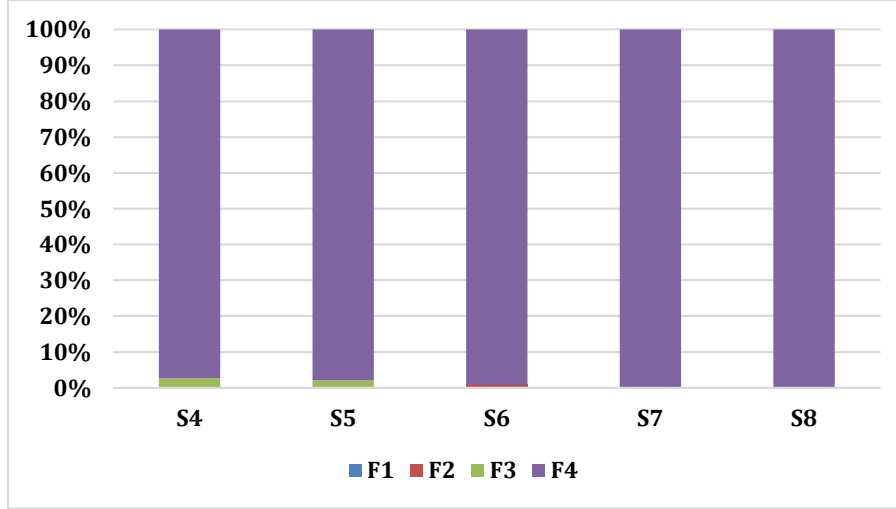
Elde edilen analiz sonuçlarına göre 8 istasyondan alınan örneklerde değişebilir fraksiyon miktarları %2,1 – 47,7 aralığında, indirgenebilir fraksiyon miktarları %3,0 – 26,3 aralığında, oksitlenebilir fraksiyon miktarları %1,1 – 26,3 aralığında olduğu tespit edilmiştir. S8 no'lu istasyon örneğinde ise ilk üç fraksiyonda Mn metaline rastlanmamıştır. Tüm istasyonlar için sediment örneklerinde kalıntı fraksiyon miktarları %23,1-100 arasında değiştiği belirlenmiştir. Mn değişebilir ve indirgenebilir fraksiyon yüzdesi yüksek olduğu için potansiyel risk oluşturduğu ve organizmalar için biyokullanılabilir olabileceği belirlenmiştir. Ayrıca mobil fraksiyon yüzdelерinin yüksek olması Mn kaynaklarının antropojenik kaynaklı olduğu ve bölgede yoğun yapılan tarımsal aktivitelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Mangan metali için LOQ değeri 5 µg/L' dir. İstasyonlara göre Mn ağır metalinin fraksiyonlara göre yüzde dağılımı Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Mn metali fraksiyonlarının istasyonlar arasındaki yüzde dağılımı (Percentage distribution of Mn metal fractions between stations)

#### 4.2.5. Krom (Cr) (Chromium)

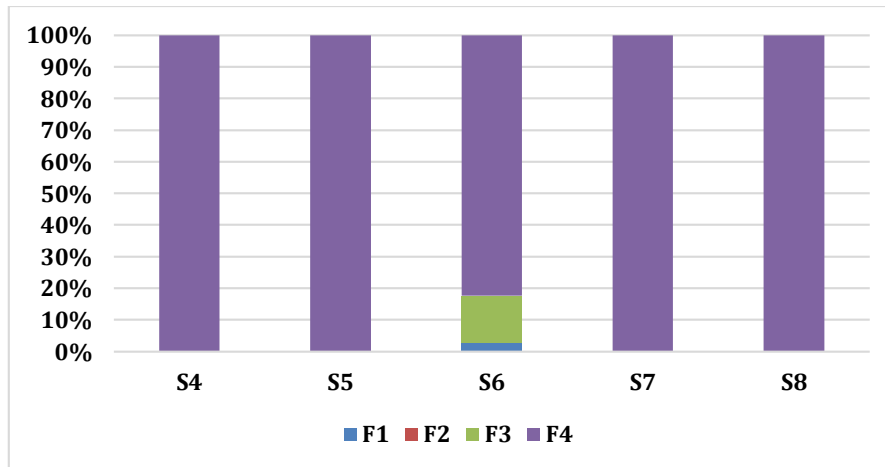
Elde edilen analiz sonuçlarına göre S1, S2 ve S3 istasyonlarında krom metali tespit edilememiştir. Diğer istasyonlar için değişebilir fraksiyonda krom elementi tespit edilemezken, sadece S6 istasyonunda %0,8 miktarında indirgenebilir fraksiyon elde edilmiştir. Oksitlenebilir fraksiyon miktarları %2,1 – 2,7 aralığında değişmektedir. Kalıntı fraksiyon yüzdesi ise 97,3 – 100 arasında tespit edilmiştir. Cr metali için ilk üç fraksiyon miktarları genel olarak düşük olduğu için potansiyel risk oluşturmadığı tespit edilmiştir. Krom metali için LOQ değeri 4 µg/L' dir. İstasyonlara göre Cr ağır metalinin fraksiyonlara göre yüzde dağılımı Şekil 6'de verilmiştir.



Şekil 6. Cr metali fraksiyonlarının istasyonlar arasındaki yüzde dağılımı (Percentage distribution of Cr metal fractions between stations)

#### 4.2.6. Nikel (Ni) (Nickel)

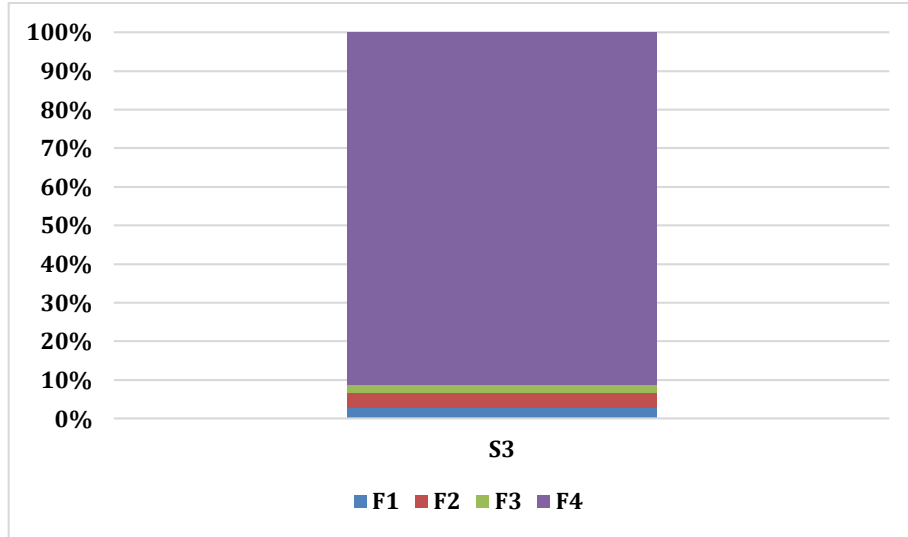
Elde edilen analiz sonuçlarına göre sadece S6 istasyonunda değişebilir fraksiyon miktarı %2,8 ve oksitlenebilir fraksiyon miktarı %14,8 olarak tespit edilmiştir. Tüm örneklerde indirgenebilir fraksiyonlarda Ni metali belirlenmemiştir. Kalıntı fraksiyon miktarları ise %82,4 – 100 aralığında belirlenmiştir. Nikel metalinin farklı fraksiyon miktarları incelendiğinde çoğunlukla kalıntı fraksiyonunda kaldığı için potansiyel risk oluşturmadığı belirlenmiştir. Nikel metali için LOQ değeri 8 µg/L' dir. İstasyonlara göre Ni ağır metalinin fraksiyonlara göre yüzde dağılımı Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Ni metali fraksiyonlarının istasyonlar arasındaki yüzde dağılımı (Percentage distribution of Ni metal fractions between stations)

#### 4.2.7. Kurşun (Pb) (Lead)

Elde edilen analiz sonuçlarına göre sadece S3 istasyonunda Pb metali belirlenmiştir. Buna göre değişebilir fraksiyon miktarı %2,8; indirgenebilir fraksiyon miktarı %3,9; oksitlenebilir fraksiyon miktarı %2,2 ve kalıntı fraksiyon miktarı %91,1 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda Pb metalinin mobilitesinin ve potansiyel riskinin düşük olduğu belirlenmiştir. Kurşun metali için LOQ değeri 3 µg/L' dir. İstasyonlara göre Pb ağır metalinin fraksiyonlara göre yüzde dağılımı Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Pb metal fraksiyonlarının istasyonlar arasındaki yüzde dağılımı (Percentage distribution of Pb metal fractions between stations)

### 4.3. Kirlilik ve Ekolojik Risk Değerlendirmesi (Pollution and Ecological Risk Assessment)

#### 4.3.1. Risk Değerlendirme Kodu (RAC) (Risk Assessment Code)

RAC, Tessier ardışık kimyasal ekstraksiyon prosedürü kullanıldığında değişebilir fraksiyon ile karbonata bağlı fraksiyonun, BCR prosedürü kullanıldığında yalnızca değişebilir fraksiyonun (% F1) toplam miktarının, toplam metal konsantrasyonu içerisindeki yüzdesi esas alınarak metallerin risk değerlendirmesinde kullanılan bir kriterdir. Değişebilir fraksiyon yüzde konsantrasyonlarına göre risk dereceleri Tablo 2'de verilmiştir (Muller, 1981; Keskin, 2012).

Tablo 2. RAC'a göre sınıflandırılmış risk düzeyleri (Risk levels classified according to RAC)

| Değişebilir fraksiyon miktarı (% F1) | Risk Derecesi              |
|--------------------------------------|----------------------------|
| <1                                   | Risk Yok                   |
| 1-10                                 | Düşük risk                 |
| 11-30                                | Orta derecede risk         |
| 31-50                                | Yüksek derecede risk       |
| >50                                  | Aşırı derecede yüksek risk |

Değişebilir fraksiyon yüzde dağılımı her metal için esas alınarak risk değerlendirme kodları hesaplanıp, risk değerlendirmesi yapılmıştır. Buna göre belirlenen istasyonlardan alınan örneklerde Zn ve Cu metallerinin risk oluşturmadığı tespit edilmiştir. Fe metalinin S4 no'lu istasyonda düşük risk oluşturduğu (%2,8), diğer tüm istasyonlar için risk oluşturmadığı (%<1) belirlenmiştir. Mn metalinin S1 no'lu istasyonda düşük risk oluşturduğu (%2,1), S2 no'lu istasyonda yüksek derece risk (%33,6), S3 no'lu istasyonda yüksek derece risk (%30,0), S4 no'lu istasyonda yüksek derece risk (%42,8), S5 no'lu istasyonda orta derece risk (%25,8), S6 no'lu istasyonda yüksek derece risk (%47,7), S7 no'lu istasyonda orta derece risk (%12,4) ve S8 no'lu istasyonda risk oluşturmadığı tespit edilmiştir. Tüm istasyonlar için Cr metalinin risk oluşturmadığı tespit edilmiştir. Ni metalinin S6 no'lu istasyonda düşük derece risk (2,8) oluştururken diğer tüm istasyonlarda risk oluşturmadığı tespit edilmiştir. Pb metalinin ise sadece S3 no'lu istasyonda düşük risk derecesine (%2,8) sahip olduğu belirlenmiştir.

#### 4.3.2. Metale göre kirlilik faktörleri (Pollution factors to metal)

Sediment örneklerinde incelenen metallerin tutulmasını incelemek için, ilk üç fraksiyonun toplamını her istasyon için kalıntı fraksiyonuna oranından ağır metale göre kirlilik faktörleri (ICF) hesaplanmıştır (Soliman vd., 2018; Pradita vd., 2019). Her bir istasyon için küresel kirlilik faktörü (GCF), her istasyonda incelenen ağır metaller için elde edilen ICF'nin toplanmasıyla hesaplandı. ICF ve GCF kirlilik sınıflandırma değerlendirme kriterleri Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** ICF-GCF'e göre kirlilik sınıflandırılması (Pollution classification according to ICF-GCF)

| ICF-GCF              | Kirlilik Değerlendirmesi |
|----------------------|--------------------------|
| ICF<1<br>GCF<6       | Düşük Kirlilik           |
| 1<ICF<3<br>GCF<12    | Orta Kirlilik            |
| 3<ICF<6<br>12<GCF<24 | Önemli Kirlilik          |
| ICF>6<br>GCF>24      | Yüksek Kirlilik          |

Elde edilen metallere göre ICF değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde Cu metali S3 no'lu istasyonu için orta kirlilik sınıfında ve tüm diğer istasyonlarda ise düşük kirliliğe sahip olduğu gözlenmiştir. Mn metali S3 ve S4 no'lu istasyonlarda orta kirliliğe ve S6 no'lu istasyon önemli kirliliğe sahipken, diğer tüm istasyonlarda düşük kirlilik sınıfına girdiği gözlemlenmiştir. Tüm istasyonlarda Cr, Zn, Fe, Ni ve Pb metallerinin ise tüm istasyonlarda düşük kirliliğe sahip olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 4.** Metallerle göre ICF kirlilik değerleri (ICF pollution values by metals)

| İstasyon | Cu   | Fe   | Mn   | Cr   | Ni   | Pb   |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| S1       | 0,82 | 0,01 | 0,19 | 0    | 0    | 0    |
| S2       | 0,60 | 0,07 | 1,07 | 0    | 0    | 0    |
| S3       | 2,05 | 0,01 | 1,34 | 0    | 0    | 0,10 |
| S4       | 0,45 | 0,13 | 2,13 | 0,03 | 0    | 0    |
| S5       | 0,55 | 0,02 | 0,88 | 0,02 | 0    | 0    |
| S6       | 0,80 | 0,03 | 3,34 | 0,01 | 0,11 | 0    |
| S7       | 0    | 0    | 0,53 | 0    | 0    | 0    |
| S8       | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |

Elde edilen istasyonlara göre GCF değerleri Tablo 5'de verilmiştir ve bu değerlere göre tüm istasyonlarda küresel kirlilik faktörü GCF<6 olması nedeniyle tüm istasyonların düşük kirlilik seviyesine sahip oldukları belirlenmiştir.

**Tablo 5.** İstasyonlara göre GCF kirlilik değerleri (GCF impurity values by stations)

| İstasyon | S1   | S2   | S3   | S4   | S5   | S6   | S7   | S8 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| GCF      | 1,02 | 1,74 | 3,49 | 2,73 | 1,47 | 4,28 | 0,53 | 0  |

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

Çalışma alanı genel olarak incelendiğinde fizikokimyasal parametreler açısından elde edilen değerlerin normal seviyelerde olarak gözlemlendiği belirlenmiştir. Dip sediment örneklerinin içerisindeki ağır metal dağılımları incelendiğinde bazı bölgeler dışarıdan ekstra yoğun antropojenik kirleticilerin girdiği sonucuna ulaşılmaktadır. BCR ardışık ekstraksiyon yöntemi kullanılarak 4 farklı fraksiyonda mevcut ağır metallerin bağlanma durumları, miktarı ve doğal kaynaklı veya insan faaliyetleri kaynaklı olduğunun analiz sonuçlarına göre yorumlanabileceği belirlenmiştir. Elde edilen ağır metal konsantrasyonlarına göre dip sedimentinden kaynaklı kirlilik ve ekolojik risk değerlendirmeleri yapılabilmektedir. Değişebilir fraksiyon yüzde dağılımı her metal için esas alınarak risk değerlendirme kodları hesaplanıp, risk değerlendirmesi yapılmıştır. Örneklem istasyonlarından elde edilmiş olan fraksiyonlara göre metal miktarı değerlerine göre Zn, Cu ve Cr metallerinin risk oluşturmadı fakat Fe, Mn, Ni ve Pb metallerinin ise bazı örneklem istasyonları için farklı derecelerde risk oluşturdukları belirlenmiştir. Metallerle göre ICF değerlerine göre Cu metali S3 no'lu istasyonu için orta kirlilik sınıfında, Mn metali S3 ve S4 no'lu istasyonlarda orta kirliliğe ve S6 no'lu istasyon önemli kirliliğe sahipken, diğer tüm istasyonlarda tüm metallerin düşük kirliliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Elde edilen istasyonlara göre GCF değerlerine göre ise tüm istasyonlarda küresel kirlilik faktörü GCF<6 olması nedeniyle düşük kirlilik seviyesine sahip oldukları 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)**

- APHA, AWWA, WEF, 2005. Standart Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 21st Edition, American Public Health Association, Washington, 4-103 – 4-169.
- Ates, A., Demirel, H., Mergul, N., 2020. Risk Assessment and Chemical Fractionation of Heavy Metals by BCR Sequential Extraction in Soil of the Sapanca Lake Basin, Turkey, *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 29, No. 2 (2020), 1523-1533.
- Bech, J., Tume P., Longan, L., Reverter, F., Tempio, M., 2008. Concentration Of Cd, Cu, Pb, Zn, Al And Fe İn Soils Of Manresa, NE Spain, *Environ. Monit. Assess.*, 145: 257-266.
- Bulut, C., 2015. Eğirdir Gölü ve Göldeki Bazı Su Ürünlerinde Ağır Metal Düzeyleri ile Stres Parametrelerinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
- Davraz, A., Batur, B., 2020. Yalvaç-Gelendost (Isparta) Havzası Su Kaynaklarının Hidrojeokimyası ve Kullanılabilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 8(4), 1072 – 1085.
- Dora, E.Ç., 2005. İzmir Körfezi'nde Bazı Poliket Türleri (Hediste Diversicolor, Diopatra Neapolitana) ile Bunların Yaşadığı Sedimentte Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması, Ege Üniversitesi, Doktora Tezi, 190s, İzmir.
- Dökmeçi, H.A., 2005. Gala Gölü ve Gölü Besleyen Su Kaynaklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Trakya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 115s, Edirne.
- elements in sediments of Baiyangdian Lake, China, *Science of the Total Environment* 724, 138046, 1-8
- Kaptan, H., Özcan, S.T., 2014. Eğirdir Gölü'nün (Isparta) Suyunda, Sedimentinde ve Gölde Yaşayan Sazan'ın (*Cyprinus carpio* L., 1758) Bazı Doku ve Organlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi, *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 9 (2): 44-60.
- Kennish, N.J., 1997. *Practical Handbook Of Eustuarine And Marine Pollution, Heavy Metals, Chapter 6 (253-327)*, Florida.
- Keskin, F., 2012. Köyceğiz Gölü Sedimentinde Ağır Metal Fraksiyonlarının İncelenmesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Muğla.
- Küçüksezgin, F., Aydın, Ş., 2012. Distribution And Chemical Speciation Of Heavy Metals İn The Surficial Sediments Of The Bakırcay And Gediz Rivers, Eastern Aegean, *Environ. Earth Sci.*, 65:789–803.
- Li, F., Xiao, M., Zhang, J., Liu, C., Qiu, Z., Cai, Y., 2018. Spatial Distribution, Chemical Fraction And Fuzzy Comprehensive Risk Assessment Of Heavy Metals İn Surface Sediments From The Honghu Lake, China, *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 15(2), 207-218.
- Muller G., 1981. The Heavy Metal Pollution Of The Sediments Of Neckars And İts Tributary: A Stocktaking, *Chem. Zeit*, 105:157–164.
- Peng, J., Song, Y., Yuan, P., Cui, X., Qui, G., 2009. The remediation of heavy metals contaminated sediment, *Journal of Hazardous Materials*, 161: 633-640.
- Pradita, S., Shazili, N.A.M., Pattaratumrong, M. S., Chotikarn, P., Yucharoen, M., Prawit, T., 2019. Chemical fractionation of trace elements in mangrove sediments from the Songkhla Lake, Thailand using BCR technique, *Science Asia*, 45, 465-473.
- Soliman, N.F., El Zokm, G.M., Okbah, M.A., 2018. Risk assessment and chemical fractionation of selected elements in surface sediments from Lake Qarun, Egypt using modified BCR technique, *Chemosphere*, 191, 262–271.
- Şener, Ş., 2010. Eğirdir Gölü ve Dip Sedimanlarının Hidrojeokimyasal İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
- Şener, Ş., Elitok, Ö., Şener, E., Davraz, A., 2011. An Investigation of Mn Contents in Water and Bottom Sediments from Eğirdir Lake, Turkey, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 1:3, 145-149.
- Tessier, A., Campbell, P.G.C., Bisson, M., 1979. Sequential Extraction Procedure Fort He Speciation Of Particulate Trace-Metals, *Anal. Chem.*, 51: 844-851.
- Tumantozlu, H., 2010. Karacaören II Baraj Gölü'ndeki Su, Sediment ve Sazan (*Cyprinus Carpio* L., 1758) Örneklerinde Bazı Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 54s, Isparta.
- Wang, J., Zeng, X., Xu, D., Gao, L., Li, Y., Gao, B., 2020. Chemical fractions, diffusion flux and risk assessment of potentially toxic



## EKSTRÜDER VİDALAR İÇİN AŞINMAYA DİRENÇLİ KROM OKSİT ESASLI KAPLAMALARIN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Ali İlkay SEMERCİ\*, Ekrem ALTUNCU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Programı, Sakarya, Türkiye

<sup>2</sup> Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Ekstrüder Vida,  
Aşınma,  
Yüzey İşlemleri,  
Alev Sprey.*

### Öz

Hızla gelişen polimer endüstrisinde kullanılan ekstrüder vidalar prosesin en önemli mekanik elemanlarıdır. Proses sürecinde vida üzerinde zaman içerisinde abrasiv ve adhezif aşınma nedenli problemler artmakta, bu durum proses verimliliğini önemli ölçüde düşürmektedir. Çok çeşitli yüzey işlem ve kaplama teknikleri ile yeni veya aşınmış iş parçalarının yüzeylerinin korunması, yüzey direncinin artırılması, parçanın boyut tolerans sınırlarına ulaştırılması ve tamiri mümkündür. Vida yüzeylerinin aşınma direncinin artırılması amacı ile çeşitli ısı işlem ve kaplama teknikleri uygulanmaktadır. Uygulanan yüzey işlem ve kaplama teknikleri yüksek ısı girdisi nedeni ile altlık malzemenin mikroyapısal özelliklerini etkilemekte kaplamanın yüzeyden dökülmesine neden olabilmekte ve aşınma direnci zayıflamaktadır. Bu sebeple bu çalışmada daha düşük ısı girdi ile sağlanabilecek termal sprej kaplama tekniği ile Krom oksit esaslı kaplama kompozisyonunu gerekli koşullarda üretilmiş ve ısı işlem uygulanmıştır. Üretilen kaplamalar ile günümüzde hali hazırda kullanılan 4140 nitrasyon çeliği ısı işlemli ve ısı işlemsiz olmak üzere ASTM G65 Aşınma testine, Sertlik Ölçümlerine ve Mikroskopik incelemelere tabii tutulmuşlardır. Yapılan testler sonrası elde edilen sonuçlarda 4140 çeliğinde hacimce 85,96 mm<sup>3</sup> aşınma kaybı gözlemlenirken, oksit esaslı Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamasının ısı işlem görmüş hali hacimce kütle kaybı 6,76 mm<sup>3</sup> olarak gözlenmiştir.

## PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF WEAR-RESISTANT CHROME OXIDE BASED COATINGS FOR EXTRUDER SCREWS

### Keywords

*Extruder Screw,  
Wear,  
Surface Treatments,  
Flame Spray.*

### Abstract

Extruder screws used in the rapidly developing polymer industry are the most important mechanical elements of the process. During the process, problems caused by abrasive and adhesive wear increase over time on the screw, which significantly reduces process efficiency. With various surface treatment and coating techniques, it is possible to protect the surfaces of new or worn work pieces, increase the surface resistance, reach the size tolerance limits and repair. Various heat treatment and coating techniques are applied to increase the wear resistance of the screw surfaces. The applied surface treatment and coating techniques affect the microstructural properties of the substrate material due to high heat input, causing the coating to be poured from the surface and its wear resistance is weakened. For this reason, in this study, chrome oxide based coating composition was produced under necessary conditions and thermal treatment was applied with the thermal spray coating technique that can be provided with lower thermal input. 4140 nitration steel, which is currently used with the coatings produced, has been subjected to ASTM G65 Abrasion test, Hardness Measurements and Microscopic examinations, with and without heat treatment. In the results obtained after the tests, a wear loss of 85.96 mm<sup>3</sup> in volume was observed in 4140 steel, while the heat treatment of oxide-based Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating was observed as mass loss in volume of 6.76 mm<sup>3</sup>.

\* İlgili yazar / Corresponding author: ilkay\_semerci@hotmail.com, +90-545-818-1536

**Alıntı / Cite**

Semerci, A.İ., Altuncu, E., (2021). Ekstrüder Vidalar İçin Aşınmaya Dirençli Krom Oksit Esaslı Kaplamaların Üretimi Ve Karakterizasyonu, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1236-1245.

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

A.İ Semerci, 0000-0002-7476-9379

E. Altuncu, 0000-0002-1395-9013

**Makale Süreci / Article Process**

**Başvuru Tarihi / Submission Date** 07.08.2020

**Revizyon Tarihi / Revision Date** 16.09.2021

**Kabul Tarihi / Accepted Date** 13.11.2021

**Yayın Tarihi / Published Date** 20.12.2021

**1. Giriş (Introduction)**

Günümüzde hızla gelişen yüzey mühendisliği konuları kapsamında çok çeşitli yüzey işlem, ısı işlem ve yüzey kaplama tekniklerinin kullanımıyla, metalik esaslı iş parçalarının (ekstrüzyon vidaları gibi) yüzeylerinin korunması, yüzey direncinin ve aşınma direncinin artırılması, hasar görmüş veya aşınmış bir parçanın boyut tolerans sınırlarına ulaştırılması ve tamiri mümkündür. Bu avantaj; parça yenileme maliyetlerinin ve bakım maliyetlerinin azalmasına bunun yanında parça ömrünün ve proses verimliliğinin artmasına neden olmaktadır. Hızla gelişen polimer endüstrisinde kullanılan ekstrüder vidalar, prosesin en önemli mekanik elemanlarıdır. Proses sürecinde vida üzerinde zamanla çok çeşitli nedenlerden (tasarımsal hatalar, yanlış malzeme seçimi, yanlış yüzey/ kaplama/ tamir uygulamaları, anormal çalışma şartları ve farklı kompozisyonlarda hammaddeye dayalı üretim vb.) kaynaklı olarak abrasiv, adhezif ve korozyif aşınma nedenli problemler artmaktadır. Bu durum proses verimliliğini ve ürün kalitesini önemli ölçüde düşürmektedir. Üretim yapan bir firmada üretim duruşu, bakım, tamir ve yenileme nedenli kayıplar sonucunda ürün kalitesinde ve üretim kapasitesinde azalma oldukça önemli mali kayıplara yol açmaktadır. Bu bağlamda en etkin çözüm uygun kaplama kompozisyonu ile birlikte uygun kaplama yönteminin belirlenmesi ve doğru şekilde uygulanmasıdır.



**Şekil 1.** Ekstrüder vidası aşınma bölgesi (Extruder screw wear zone)

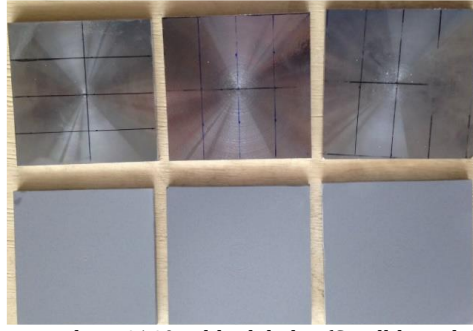
Ekstrüder vida yüzeylerinin aşınma direncinin artırılması amacı ile çeşitli ısı işlem (nitrasyon) ve kaplama teknikleri (plazma transfer ark (PTA), sert krom, termal sprej) uygulanmaktadır. Mevcut durumunda PTA teknikleri ile kobalt esaslı karbür takviyeli toz (stellite) türleri kullanılarak uygulanan dolgu sert kaplama tekniklerinde prosesin doğası gereği tozu eritmek ve yüzeyde biriktirmek için harcanan yüksek ısı girdisi nedeni ile altlık malzemenin ve kaplamanın mikro yapısal özelliklerini etkilemekte termal gerilmeler etkisiyle kaplamanın yüzeyden dökülmesine neden olabilmekte ve tane irileşmesi, karbür azalması sonucunda sertlik dalgalanması artmakta ve aşınma direnci zayıflamaktadır. Sert krom kaplamalar ise yeterli sertlik direncini sağlamakta zorlanmaktadır. Bu bağlamda termal sprej kaplama yöntemleri birçok açıdan avantaj ve esneklik göstermektedir. Gerek kaplama kompozisyonu çeşitliliği gerekse kaplama özellikleri aşınma nedenli problemlerde öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada mevcut yüksek hızda oksijen yakıt sprej (HVOF) esaslı termal sprej uygulamalara alternatif olarak 4140 çeliği üzerine fleksikord alev sprej tekniği ile krom oksit esaslı kaplamaların daha ekonomik üretimi, proses optimizasyonu, kaplama mikroyapı karakterizasyonu (ısı işlemli ve ısı işlemli) ve aşınma performansları (ASTM G65) karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

**2. Malzeme ve Yöntem (Material and Method)****2.1. Kaplama İşlemi (Coating Process)**

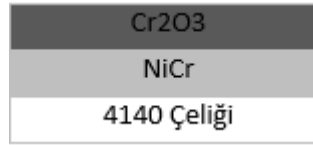
Termal sprej kaplama teknolojisinde kaplamanın altlığa yapışması ergiyik formundaki dropletlerin yüzeye hızla çarparak hızlı katılma esnasından mekanik kilitleme sonucunda oluşmaktadır. Bu yapışmanın sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi iyi bir yüzey hazırlık işlem kalitesine bağlıdır. Bu yüzey kalitesini sağlamak için sırasıyla;

yüzey temizleme (ultrasonik banyo), yüzey kumlama (6 bar, Alümina 80-100 mesh) ve kurutma işlemleri uygulanmıştır.



Şekil 2. Kumlama yapılmış 4140 çelik plakalar (Sandblasted 4140 steel plates)

4µm'luk homojen bir yüzey pürüzlülüğü elde edildikten sonra ön ısıtma (150°C) işlemi yapılarak iç gerilmeleri azaltılmıştır. Kaplama işlemi iki kademe gerçekleştirilmiştir. İlk kademe seramik esaslı kaplamanın altlığı daha iyi yapışması ve termal genleşmeyi azaltması amacıyla bir bağ kaplama tabakası (NiCr esaslı, ortalama 40-100µm) püskürtülmüştür. Sonrasında ise oksit esaslı Krom oksit tabakası yüzeye uygulanmıştır. Kaplamanın sematik gösterimi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Krom oksit kaplama sematik gösterimi (Schematic representation of chromium oxide coating)

NiCr ve Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için proses parametreleri farklı olup, optimum parametrelerin tespiti için çalışmalar yapılmış olup aşağıda Tablo 1'de verildiği gibi belirlenmiştir. Oksijen (4 bar) ve Asetilen (1,2 bar) gaz basınçları her kaplamada aynıdır.

Üretilmiş olan kaplamalar, ekstrüder vidasının çalışma koşullarında maksimum 350°C'ye ulaştığını göz önünde bulundurarak 400°C'de 60 saat açık atmosfer ortamında ısıl işlem uygulanmıştır.

## 2.2. Kaplamalara Uygulanan Testler ve Analizler (Tests and Analysis Applied to Coatings)

Kaplamaların mikroyapısal incelemelerinde standart metalografik işlemler (500–1200–2400 grit SiC zımpara ve ardından 3µ alümina pasta ile parlatma) sonrasında taramalı elektron mikroskobu (SEM), Stereo mikroskop (SM), Optik Mikroskop (OM) çalışmaları ile yüzey ve kesit mikroyapıları incelenmiştir. Kaplamaların aşınma testleri ASTM G65 standartlarına uygun şekilde 130N yük altında dakikada 300-600 gr alumina aşındırıcı beslemesi ile 6000 devir dönme mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Kaplamaların Mikrosertlik testleri ise Vickers sertlik ölçümü ile 300 gr yük uygulanarak 10 saniye süre ile gerçekleştirilmiştir. Kaplamanın her katmanından en az 3'er ölçüm yapıp ortalamaları değerlendirmeye alınmıştır.

## 3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

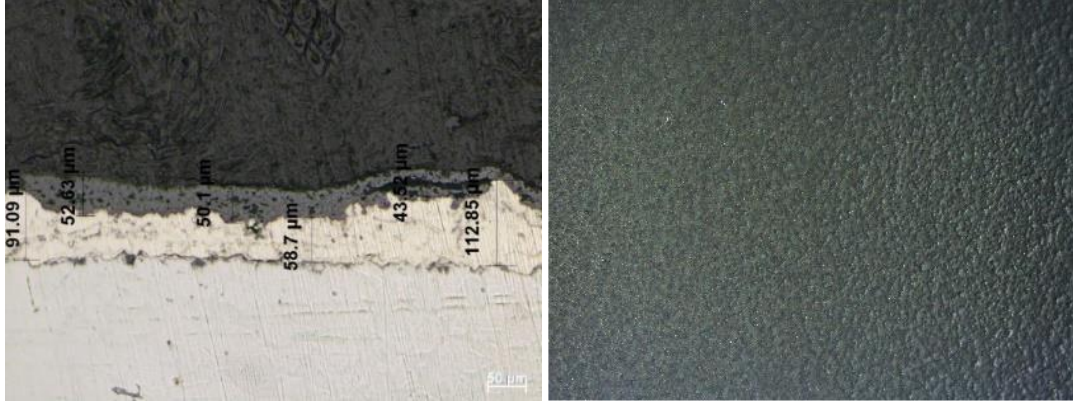
### 3.1. Kaplamaların Mikroskobik İncelemeleri (OM,SM) (Microscopic Examinations of Coatings)

Termal spreyle üretilen kaplamalarda yüzeyde biriktirilen kaplama miktarı ancak kesitten alınan optik mikroskop görüntüsüyle ölçülebilmektedir. Kaplamanın aşınma dayanımı için önemli bir kriter olan kaplama kalınlıkları her katman için ayrı ayrı 3'er ölçüm olacak şekilde ölçülmüştür. Aşınma dayanımı için kaplama kalınlığı kadar önemli olan bir diğer husus da kaplama yüzeyinin pürüzlülüğünün homojen bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Yüzey morfolojileri için de üst yüzeyden stereo mikroskop ile görüntüler tablolara eklenmiştir.

Bu yöntemle üretilen kaplamaların görüntüleri aşağıda Şekil 4'te sergilenmektedir. Krom oksit tabakası görüleceği üzere ortalama 50 µm kalınlığında biriktirilebilmiştir. Yüzeyi koyu gri renkte olup yüzey pürüzlülüğü Ra:3–5 µm seviyesindedir.

**Tablo 1.** Kaplama parametreleri (Spraying parameters)

| Tabaka                         | Hava Basıncı (bar) | Mesafe (mm) | Besleme Hızı (cm/dk) |
|--------------------------------|--------------------|-------------|----------------------|
| NiCr                           | 4,5                | 100-120     | 100                  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,5-4,5            | 100-80      | 50                   |

**Şekil 4.** Kesit ve üst yüzey görüntüsü (Cross section and top surface view)

Isıl işlem öncesi kaplamaların özellikleri Tablo 2’de özetlenmektedir. Görüleceği üzere son katta bulunacak olan Krom oksit tabakasının yüzey pürüzlülüğünden doğacak yüzey kalitesi çok yüksektir.

**Tablo 2.** Kaplamaların genel özellikleri (General properties of coatings)

| Kompozisyon (%)                       | Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) | Porozite (%) | Pürüzlülük (Ra µm) |
|---------------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------------|
| % 80 Ni<br>% 20 Cr                    | 7,25                          | 1-3          | 6-8                |
| % 99,2 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,2                           | 1            | ~3                 |

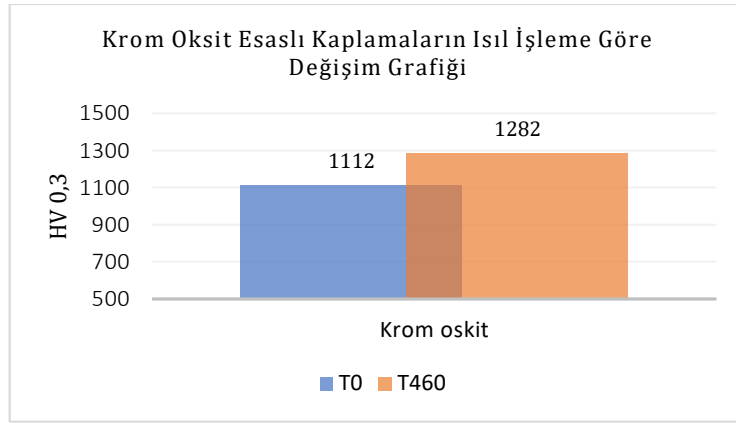
### 3.2. Kaplamaların Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları (Microhardness Measurement Results of Coatings)

Bu çalışmada kaplamanın sertliği aşınma performansı açısından oldukça önemli bir kriterdir. Bu sebeple hem oksit tabakaları hem bağ tabaka hem de altlık malzemenin hem ısıl işlemlili hem de ısıl işlemsiz durumdaki sertlikleri sistematik bir şekilde ölçülmüştür. 4140 çeliğinin ısıl işlemsiz sertliği 275±10HV iken ısıl işlem sonrasında 265±10HV olduğu gözlemlenmektedir. Bağ tabakanın ise ısıl işlemsiz halde 210±20HV iken ısıl işlem sonrasında 230±20HV olarak sertlikte bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Krom oksit esaslı kaplamalarda Tablo 3’te görüldüğü üzere ısıl işlem sonrası sertlik değerlerinde artış gözlenmektedir. Bu durum kaplamanın sinterleşme etkisiyle sertlik artışına etki ettiğini göstermektedir.

**Tablo 3.** Krom oksit esaslı kaplamaların mikrosertlik değerleri (HV<sub>0,3</sub>) (Microhardness values of chromium oxide based coatings)

|             | 4140   | NiCr   | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
|-------------|--------|--------|--------------------------------|
| <b>T0</b>   | 275±10 | 210±20 | 1112 ±16                       |
| <b>T460</b> | 265±10 | 230±20 | 1282±23                        |

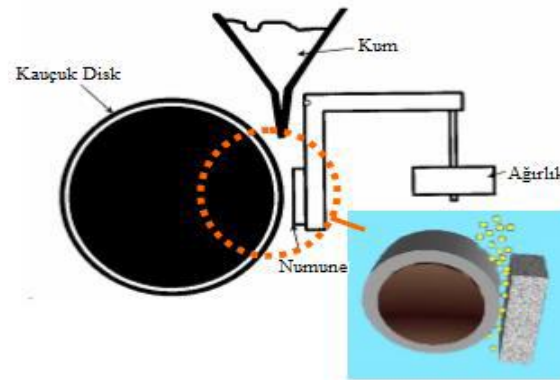


Şekil 5. Krom oksit kaplamalarında sertlik değişimi grafiği (Hardness change graph in chromium oxide coatings)

Yukarıda Şekil 5'te Krom oksit esaslı kaplamalarının ısıtılma sonucunda sertlik değişimleri sütun grafikleriyle sergilenmektedir. Bu kaplama kompozisyonu için ısıtılma şartları sertlik artışına neden olmaktadır.

### 3.3. Kaplamaların Aşınma Testi Sonuçları (Wear Test Results of Coatings)

Kaplamaların aşınma testleri ASTM G65 standardı kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu test döner bir disk (kauçuk) yardımı ile katı sert partüküllerin yüzeyde abrasiv aşındırma etkisiyle gerçekleşir. Testler her numune için aynı koşullarda yapılmış olup test sonuçları kütlece ve hacimce hesaplanmıştır.



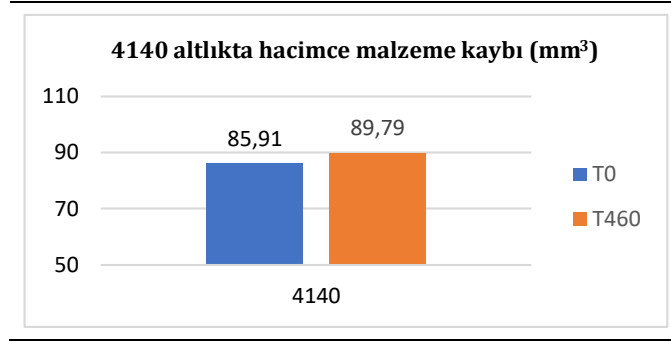
Şekil 6. ASTM G65 aşınma testi temsili şekli (ASTM G65 wear test system)

Aşınma testleri sonuçları kaplamasız ve kaplamalı yüzeyler ve ısıtılmalı ve ısıtılmıy yüzeyler için karşılaştırmalı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Aşınma testi sonrası aşınma izleri yüzey profilometre sistemi ile ölçülmüş ve sonrasında elektron mikroskopunda aşınma mekanizmaları değerlendirilmiştir.

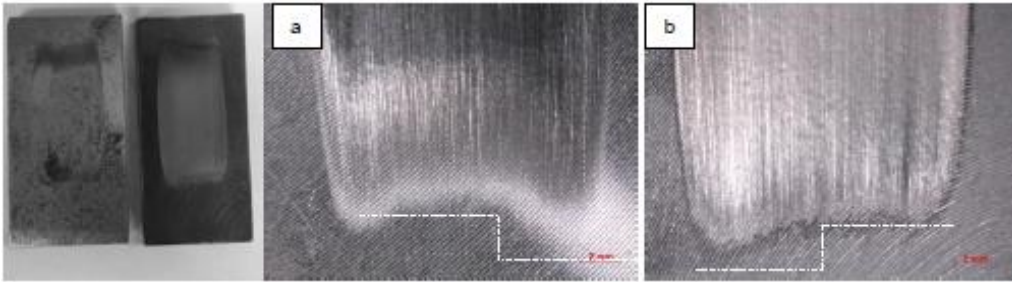
Tablo 4'te altlık malzeme olarak kullanılan 4140 çeliğinin oda sıcaklığında ve 400°C de 60 saat ısıtılma sonrası aşınma kayıpları sergilenmektedir. Isıtılma sonrasında aşınma kaybının beklenildiği üzere arttığı gözlenmiştir. Ekstrüder sisteminde 350-400°C gibi sıcaklıklara çıkılması durumunda alaşımın kaplamasız olarak kullanılması durumunda aşınma kaybının artması olasıdır. Bu nedenle mutlak surette kaplama uygulaması zorunludur. Sertlik ölçümlerinde de ısıtılma sonrası azalmanın aşınma kaybını artırdığı gözlenmektedir.

Tablo 4. 4140 altlığının ağırlıkça ve hacimce malzeme kayıpları (Losses by weight and volume of the 4140 substrate)

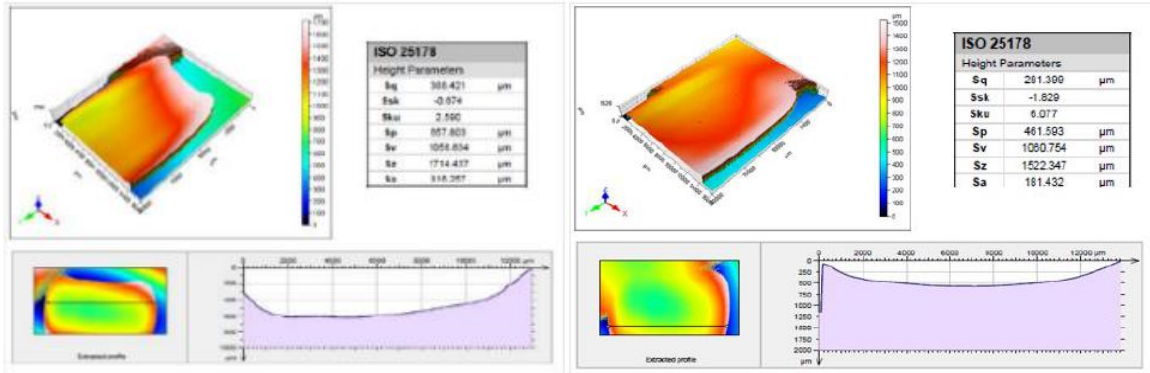
| Alaşım Türü | Isıtılma | Ağırlıkça Malzeme Kaybı (gr) | Hacimce Malzeme Kaybı(mm <sup>3</sup> ) |
|-------------|----------|------------------------------|---|
| 4140        | T0       | 0,621                        | 85,91                                   |
| 4140        | T460     | 0,648                        | 89,79                                   |



Şekil 7’de 4140 çeliğinin ASTM G65 testi sonrası ısıtılmış ve ısıtılmamış hallerinin aşınma izleri görüntüleri sergilenmektedir. Görüleceği üzere ısıtılmış numunenin aşınma izinin daha geniş bir yüzey alanına sahip olduğu gözlenmiştir.



**Şekil 7.** Isıtılmamış (a) ve ısıtılmış (b) 4140 altlığının aşınma izi uç bölgelerinin profili stereo mikroskop görüntüsü (Stereo microscope images of the wear track zones on the 4140 substrate without heat treatment (a) and heat treatment (b) conditions)



**Şekil 8.** Isıtılmamış ve ısıtılmış 4140 çeliğinin test sonrası aşınma izi profilometresi (Wear track profilometry of non-heat-treated and heat-treated 4140 steel surfaces)

Şekil 8’de üç boyutlu yüzey profilometresi ile taranan yüzeylerin aşınma izi profili gösterilmektedir. Isıtılmış numunenin yüzey oksidasyonu sonucunda yüzeyin karardığı ve oluşan oksit tabakasının aşınma testi esnasında yüzeyden ayrılması sonunda daha geniş bir yüzeyde aşınma oluşturduğu gözlenmektedir. Aşınma izi bölgesi aşınmamış bölgeye göre daha parlak bir renktedir. Aşınma izlerinin iç bölgesi incelendiğinde yüzeyler düzgün ve pürüzsüz bir form oluşturmaktadır. Aşındırıcı partiküller ile temas eden yüzeylerde ince ve uzunlamasına çizikler göz ile görülebilmektedir. Katı aşındırıcı partiküllerin yüzeyde oluşturduğu deformasyon ve mikro kesme sonucunda oluşan keskin köşeli tanelerin yol açtığı izler açıkça görülebilmektedir. Aşınma izi boyutları 15mm x 30mm boyutları arasında değişmektedir. Aşınma derinliği ısıtılmış numunede en yüksek  $390\pm 25\mu\text{m}$  arasında bir çukurcuk oluşturmaktadır. Isıtılmamış numunede ortalama  $654\pm 40\mu\text{m}$  derinliğinde bir aşınma izi gözlenmiştir. Bu farklılığın temel sebebi ısıtılmış yüzeyde oluşan oksit tabakasının aşınmayı başlatması sonrasında altlık kesitinden içeri doğru aşınmanın ilerlemesidir. Isıtılmamış numunede ise aşındırıcı partiküller doğrudan yüzeyden içeri doğru kazıma ile aşındırmayı gerçekleştirmektedir. Bu nedenle aşınma izi derinliklerinde farklılık oluşmaktadır.

Termal sprey tekniği ile 4140 çeliği üzerinde biriktirilen Krom esaslı oksit kaplamaların aşınma kayıpları Tablo 5’te sergilenmektedir. Tabloda hem ısıtılmış işlem öncesi hem de ısıtılmış işlem sonrası hacimce ve ağırlıkça aşınma kayıpları incelendiğinde ısıtılmış numunelerde daha az hacimce aşınma kaybı gözlenmektedir. Kaplamasız altlık

yüzeyinde aşınma değerleri ile karşılaştırıldığında her kaplama kompozisyonu daha düşük bir aşınma kaybı sergilemiştir.

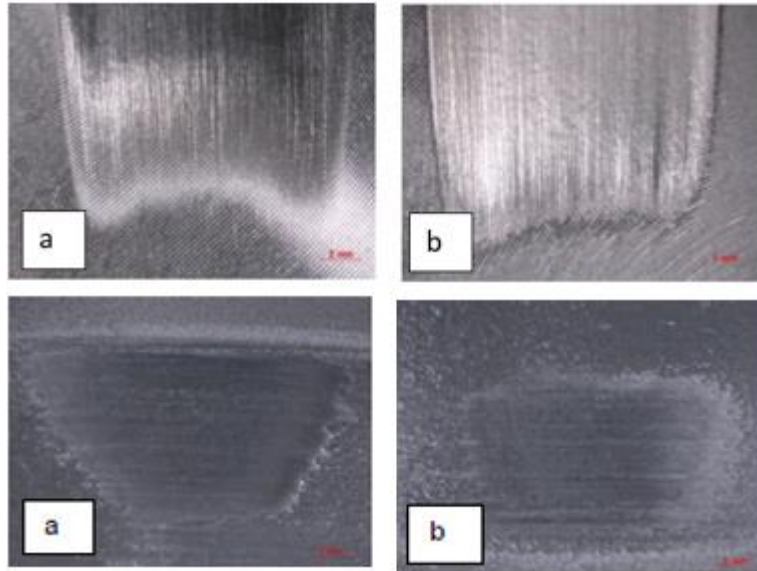
**Tablo 5.** Ağırlıkça ve hacimce malzeme kayıpları (Material losses by weight and volume)

| Kaplama Kompozisyonu           | Isıl İşlem | Ağırlıkça Malzeme Kaybı (gr) | Hacimce Malzeme Kaybı(mm <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------|------------|------------------------------|---|
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | T0         | 0,081                        | 11,49                                   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | T460       | 0,048                        | 6,76                                    |

| Malzeme   | T0 (mm <sup>3</sup> ) | T460 (mm <sup>3</sup> ) |
|-----------|-----------------------|-------------------------|
| 4140      | 85,91                 | 89,79                   |
| KromOksit | 11,49                 | 6,76                    |

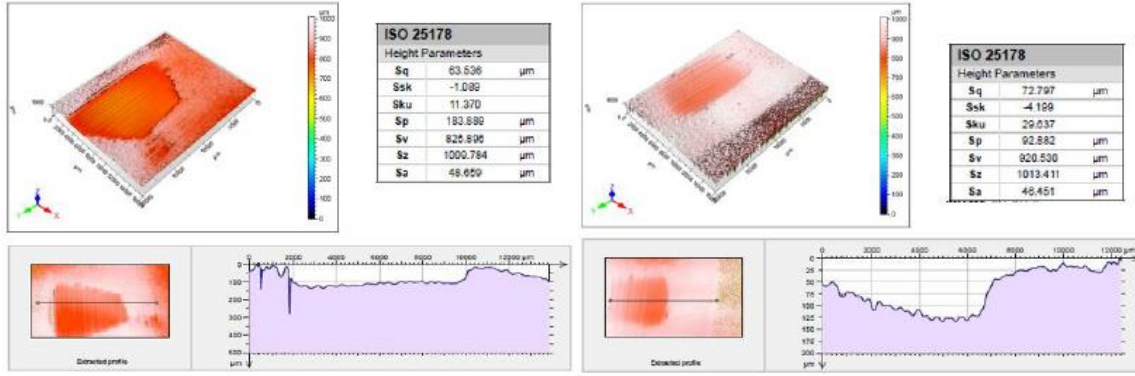
Şekil 9'da ısıl işlemsiz ve ısıl işlemliler olarak 4140 çeliğinin ve krom oksit tabakasının aşınma izi görüntüleri karşılaştırılmaktadır. Isıl işlem sonrasında numunelerin üst yüzey renklerinde belirgin farklılıklar gözlenmektedir. Bununla birlikte aşınma iz boyutları da değişmiştir. Isıl işlemlilerde iz boyutları ısıl işlemsizlere göre daha küçük olduğu gözlenmektedir.



**Şekil 9.** Isıl işlemsiz (a) ve ısıl işlemliler (b) 4140 krom oksit esaslı kaplamanın aşınmış bölge stereo görüntüsü (Stereo image of the worn region of the 4140 chromium oxide-based coating without heat treatment (a) and with heat treatment (b))

Krom oksit esaslı kaplamasında aşınma izi yüzey profili aşağıda Şekil 10'da sergilenmektedir. Isıl işlemsiz halde aşınma izi derinliği daha belirgin ve fazladır. Kaplama kalınlığı düşük olmasına karşın kaplamada aşınma kaybı en düşük seviyededir.



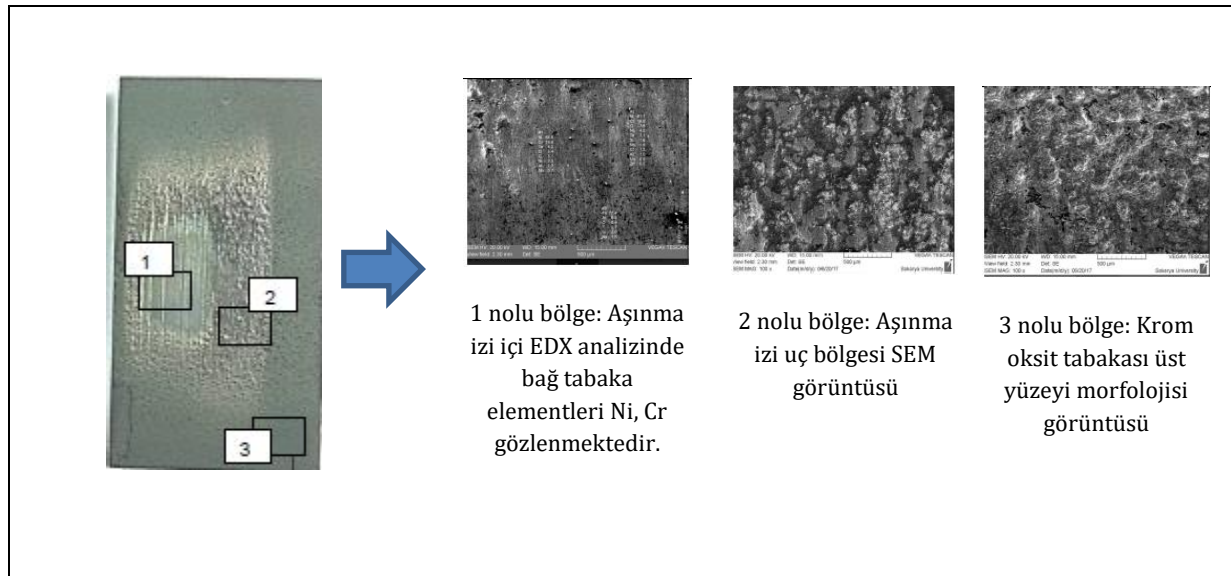


**Şekil 10.** Krom oksit esaslı kaplamanın aşınma testi sonrası 3 boyutlu aşınma izi profilometresi (3D wear trace profilometry after the wear test of the chromium oxide-based coating)

Yapılan bu çalışmada Tablo 5'te görüleceği üzere ısıl işlemsiz 4140 çeliği hacimce 85,91 mm<sup>3</sup> malzeme kaybettiği görülürken Krom oksit esaslı kaplama hacimce 11,49 mm<sup>3</sup> malzeme kaybediyor. Krom oksit kaplamalarda, 4140 çeliğine nazaran çok daha düşük aşınma kaybı görülmektedir (Yüksek aşınma direnci). 400°C de 60 saat ısıl işlem sonrasında 4140 çeliği hacimce 89,79 mm<sup>3</sup> malzeme kaybına uğrarken Krom oksit esaslı kaplamada hacimce 6,76 mm<sup>3</sup> malzeme kaybı oluşuyor. Isıl işlem koşullarına (sinterleşme) bağlı olarak yapısal süreksizliklerin azalması ve olası faz dönüşümünün bu aşınma kaybı azalmasında etkin rol oynadığı düşünülmektedir. Ekstrüder vida yüzeylerinde krom oksit esaslı kaplamaların rahatlıkla kullanılabilceği öngörülmektedir.

### 3.4. Aşınma İzleri Üzerinde Elektron Mikroskobu İncelemeleri (Electron Microscopy Studies on Wear Marks)

Aşağıda Şekil 11 de tek katmanlı ısıl işlemlili krom oksit tabakasının elektron mikroskobunda aşınma izi bölgesi incelenmiştir. Aşınma izi bölgesinde 3 farklı bölgeden görüntü alınmıştır. Aşınmayan kaplama bölgesinden, aşınma izi merkez bölgesinden ve aşınma izi geçiş bölgesinden. Görüleceği üzere kaplama 1 no'lu bölgede kaplamanın hemen altındaki bağ tabakaya ulaşılmasına karşın en iyi abrasif aşınma direnci elde edilmiştir. Yüzeyde 100µm kalınlığın altında bir kaplama tabakasının sağladığı direnç altlığın korunmasında önemli rol oynamıştır. 2 no'lu bölgede ise üst oksit tabakası ile bağ tabaka geçiş zonu oluşturmakta ve aşınma izi profilini oluşturmaktadır. Bu bölgede hem bağ tabaka hem de üst tabaka kalıntıları bir arada yer almaktadır.



**Şekil 11.** Isıl işlemlili krom oksit esaslı kaplamanın elektron mikroskobu aşınma izi incelemesi (Electron microscope wear trace examination of heat-treated chromium oxide-based coating)

## 4. Sonuç ve Tartışma (Conclusion and Discussion)

DeneySEL çalışmalarda termal sprey teknikleri ile farklı kompozisyonlarda fleksikord kaplama malzemeleri kullanılarak bağ tabaka olarak kullanılan NiCr ve krom oksit 4140 çeliği üzerinde biriktirilebilmiştir. Önceden belirlenen deneme çalışmalarında elde edilen optimum sprey parametreleri ile kaplamaların üretimi

gerçekleştirilmiştir. Kaplamaların türüne ve sprey parametrelerine bağlı olarak kaplama yapısal özelliklerinin değiştiği açık bir şekilde gözlenmektedir. Özellikler kullanılan sarf malzemelerin (fleksikord) toz tane boyutunun kaplama yüzey kalitesi ve ara yüzey özellikleri üzerindeki etkisi kaplamanın aşınma performansı üzerinde etkin olduğu tespit edilmiştir. Kaplama işlemleri sırasıyla yüzey hazırlama, kaplama parametrelerinin optimizasyonu ve kaplamaların üretimi doğrultusunda tamamlanmıştır. Kaplama sonrasında ısıl işlem uygulanarak hedef uygulama alanı olan ekstrüder vidalarda çalışma şartları belirlenerek (maksimum 400 °C) kaplamanın aşınma performansı oda sıcaklığında test sonuçları ile karşılaştırmalı olarak ölçülmüştür. Deneysel amaçlı plakalar üzerinde yapılan işlemlerden sonra kaplamalar metalürjik açıdan karakterize edilmiş, aşınma kayıpları ağırlıkça ve hacimce ölçülmüştür. Elektron mikroskopunda hem kesit hem üst yüzey hem de aşınma izleri irdelenmiş, yüzey profilleri üç boyutlu tarayıcıda analiz edilmiştir. Aşınma mekanizması ve aşınmaya etki eden faktörler detaylı bir şekilde tartışılmıştır.

- 4140 nitrasyon çeliği üzerinde yapılan aşınma testlerinde hacimce aşınma kaybı ısıl işlem öncesinde 85mm<sup>3</sup> olup ısıl işlem sonrasında aşınma hızı daha da artmaktadır. Alaşımın 400°C de sıcaklıklara maruz kalması kaplamasız halde alaşımın ömrünü önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu nedenle mutlak surette vidaların koruyucu aşınmaya dirençli kaplamalara gereksinimi ortaya çıkmaktadır.
- Çalışma hedefleri arasında ekstrüder vida alaşımı üzerinde hacimce maksimum 50 mm<sup>3</sup> aşınma kaybı olması arzulanmıştır. Bu doğrultuda üretilen kaplamaların hem ısıl işlemsiz halde hemde ısıl işlem sonrasında aşınma kaybı hedefini sağladığı belirlenmiştir. Termal sprey kaplama yöntemlerinin başarılı bir şekilde uygulanabileceği ortaya çıkarılmıştır.
- En yüksek aşınma direnci (hacimce aşınma kaybı <15mm<sup>3</sup>) kromoksit esaslı kaplamalarda elde edilmiştir. Isıl işlem sonrasında aşınma kaybı önemli ölçüde azaltılarak 10mm<sup>3</sup>'ün altına indirilebilmiştir.
- Isıl işlem öncesinde kaplama yapısında splatlar arası boşlukların ısıl işlemten sonra azalmasıyla birlikte (sinterleşme etkisi) daha yoğun bir kaplama tabakası ve sertlik artışı elde edilebilmiştir. Bu durum kaplamaların aşınma performansının iyileşmesine neden olmuştur.
- Kaplamaların aşınma iz profilleri incelendiğinde aşınma mekanizmasında mikro kesme, yüzeyden parça ayrılması ve mikron ölçeğinde sıvanma etkisi ile aşınmanın gerçekleştiği tespit edilmiştir.

### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Programı Destekleme Programı tarafından 1139B411601028 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Bu projede Sanayici tarafında bize destek sağlayan Düzce'de faaliyetlerini sürdüren STANDARD PROFİL firmasına teşekkürü borç biliriz. Yine bu çalışmada kapılarını bize açan SUBÜ-SUMAR ailesine sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

### Kaynaklar (References)

- A. Kulkarni, A. Vaidya, A. Goland, S. Sampath, H. Herman, Processing effects on porosity-property correlations in plasma-sprayed yttrium-stabilized zirconia coatings, Mater. Sci. Eng. A 359 (2003) 100– 111.
- Ferrari, D.; Extrusion Coating Resins – Troubleshooting, TAPPI PLC Conference, 2000.
- G. Bolelli, V. Cannillo, L. Lusvardi, S. Ricc'o, Mechanical and tribological properties of electrolytic hard chrome and HVOF-sprayed coatings, Surf. Coat. Technol. 200 (2006) 2995–3009.
- Guagliano M., "Fatigue failure of a bar of a twin-screw extruder for plastics", Engineering Failure Analysis 12 (2005) 950–962
- Song, E.P., Ahn, J., Lee, S., Kim, N.J., Effects of critical plasma spray parameter and spray distance on wear resistance of Al2O3-8 wt.%TiO2 coatings plasma-sprayed with nanopowders, Surface and Coatings Technology 202, 2008, 3625-3632.
- Handbook of Thermal Spray Technology, ASM International, Materials Park, OH, USA, p. 171.
- Heimann, R.B., Plasma-spray coating, VCH, New York, 1996.
- J.D. Gates, Two-body and three-body abrasion: a critical discussion, Wear 214 (1998) 139–146.
- K. Sugiyama, S. Nakahama, S. Hattori, K. Nakano, Slurry wear and cavitation erosion of thermal-sprayed cermets, Wear 258 (2005) 768–775.
- Q. Yang, T. Senda, A. Ohmori, Effect of carbide grain size on microstructure and sliding wear behaviour of HVOF-sprayed WC-12%Co coatings, Wear 254 (2003) 23–34.
- R.B. Heimann, Applications of plasma-sprayed ceramic coatings, Key Eng. Mater. 122–124 (1996) 399–442.
- R. Westergard, L.C. Erickson, N. Ax'en, H.M. Hawthorne, S. Hogmark, The erosion and abrasion characteristics of alumina coatings plasma-sprayed under different spraying conditions, Tribol. Int. 31 (1998) 271–279.
- S. Guessasma, M. Bounazef, P. Nardin, T. Sahraoui, Wear behavior of alumina-titania coatings, analysis of process and parameters, Ceram. Int. 32 (2006) 13–19.
- Sulzer-Metco web site, <http://www.sulzermetco.com>.

- Sun, Y., Li, B., Yang, D., Wang, T., Sasaki, Y., Ishii, K., Unlubricated friction and wear behaviour of zirconia ceramics, *Wear* 215, 1998, 232-236.
- Wagner, J. R. Jr; *Handbook of Troubleshooting Plastic Processes: A Practical Guide*, John Wiley and Sons, 2012
- Y. Xie, H.M. Hawthorne, Wear mechanism of plasma-sprayed alumina coating in sliding contacts with harder asperities, *Wear* 225-229 (1999) 90-103.



## YENİ NESİL E-DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ İÇİN ÖLÇEKLENEBİLİR UYGULAMA MİMARİSİ

Halil ARSLAN<sup>1\*</sup>, Şeyma AKAR<sup>2</sup>, Özgür ŞAHİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

<sup>2</sup> Detaysoft, İstanbul, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*E-dönüşüm,  
E-Sağlık,  
Mesaj Broker,  
Askenron İletişim,  
Yazılım Mimarisi.*

### Öz

İnternet ve teknolojinin gün geçtikçe gelişmesi günlük hayatta olduğu gibi özel ve kamu sektörünü de etkilemiştir. Özellikle elektronik dönüşüm neticesinde kurum, kuruluş ve vatandaşlar işlemlerini e-devlet ve e-belediye gibi elektronik ortamlardan gerçekleştirmektedir. Bu dönüşümlerden birisi de Çalışma ve Sosyal Güvenlik bakanlığının geliştirdiği iş sağlığı ve güvenliği bilgi yönetimi sistemidir (İBYS). Kurum ve kuruluşlar gerçekleştirilen her iş sağlığı ve güvenliği işlemini İBY sistemine göndermekle yükümlüdürler. Gönderme işlemi de bakanlıkça yetkilendirilmiş entegratör firmaların geliştireceği uygulamalar üzerinden yapılmalıdır. Bu uygulamaların birden fazla kaynaktan aynı anda gelen verileri yönetebilmesi ve kayıpsız şekilde IBYS sunucusuna aktarması gerekir. Çalışmamızda bu ihtiyacın giderilebilmesi için E-Sağlık ismi verilen web uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulama birçok kaynaktan aynı anda gelen verileri verimli şekilde yöneterek IBYS işlemini gerçekleştirmektedir. Bununla beraber geliştirilen web uygulaması ölçeklendirilebilir olduğu için artan isteklere rahatlıkla cevap verecek şekilde tasarlanmıştır.

## SCALABLE SOFTWARE ARCHITECTURE FOR NEXT GENERATION E-TRANSFORMATION SYSTEMS

### Keywords

*E-transformation,  
E-Health,  
Message Broker,  
Async Communication,  
Software Architecture.*

### Abstract

The rapid development of the internet and technology has affected private and public sectors as well as in daily life. Especially as a result of electronic transformation, citizens, institutions and organizations can perform their transactions through e-government and e-municipality. One of these electronic transformations is occupational health and safety management system (OHSMS) which developed by ministry of labor and social security (MOLSS). Institutions and organizations are obliged to send every occupational health and safety process to the OHSMS system. Also, the data sending process to OHSMS system must be done through the software developed by integrator companies which are authorized by the MOLSS. Broker systems are needed for these applications to manage data transmitting from multiple sources simultaneously and transfer them to the OHSMS server without any loss. In order to meet this need, a web application called E-Health has been developed. The developed application performs IBYS process efficiently by managing data from many sources simultaneously. In addition, web application is developed as scalable in order to be fulfill the increasing needs.

### Alıntı / Cite

Arslan, H., Akar, Ş., Şahin, Ö., (2021). Yeni Nesil E-Dönüşüm Sistemleri İçin Ölçeklenebilir Uygulama Mimarisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1246-1252.

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

Halil Arslan, 0000-0003-3286-5159  
Şeyma Akar, 0000-0002-3070-3298  
Özgür Şahin, 0000-0001-9401-315X

### Makale Süreci / Article Process

|   |            |
|---|------------|
| <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 14.01.2021 |
| <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 29.06.2021 |
| <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 10.08.2021 |
| <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

\* İlgili yazar / Corresponding author: harslan@cumhuriyet.edu.tr, +90-346-487-22-73

## 1. Giriş (Introduction)

Milenyum çağıyla beraber bilgi teknolojileri ve internet, günlük hayatın vazgeçilmez parçalarından biri haline gelmiştir. İnsanların bilgiye sürekli erişme isteğinin yanı sıra gereksinimlerin daha hızlı, güvenli ve kolay çözümlenebilmesi, bu teknolojilerin sosyo-ekonomik bütün alanlarda yaygınlaşmasına neden olmuştur. Özellikle elektronik ticaret (e-ticaret) kavramıyla beraber teknolojik dönüşümün ne kadar önem arz ettiği anlaşılmıştır. Bu hızlı değişim kamu ve özel sektörü de etkisi altına alarak dünya çapında elektronik dönüşüm sürecinin başlamasına neden olmuştur.

Elektronik dönüşüm (e-dönüşüm), özel veya kamusal birçok işlemin elektronik ortama aktarılmasıyla daha az maliyetle, şeffaf ve hızlı çözülmesi süreci olarak tanımlanabilir. Ülkemizde ilk olarak 2003-2004 eylem planında "vergi beyanı, tahakkuk ve ödemelerinin elektronik ortamda yapılması" ibaresiyle başlayan dönüşüm, sonrasında e-beyanname uygulamasıyla devam etmiştir (Gönen ve Solak, 2017). E-Devlet ile internet üzerinden kamu hizmetlerinin sunulması, elektronik ortamda kamusal hizmet anlayışını yaygınlaştırmış ve olgunlaştırmıştır.

Dönüşümün ilerlemesiyle fatura basım ve gönderimini tamamen elektronik ortama taşıyan e-Fatura ve e-Arşiv; yevmiye defteri, defter-i kebir olarak adlandırılan dokümanların elektronik ortamda hazırlanarak ibraz edildiği e-Defter; irsaliyelin çevrimiçi ortamda alınmasını, saklanmasını ve görüntülenmesini sağlayan e-İrsaliye gibi birçok farklı e-dönüşüm hizmeti devreye girmiştir. İnternet ortamından sunulun bu hizmetler, firmaların operasyonel ihtiyaçlarını daha hızlı ve düzenli şekilde yönetmesiyle beraber kamu kuruluşlarının denetleme süreçlerini de kolaylaştırmıştır.

E-dönüşümün etkilediği bir diğer önemli alan, kurum ve kuruluşlardaki iş sağlığı ve güvenliğinin takibidir. Çalışma ve sosyal güvenlik bakanlığı (ÇSGB) tarafından üzerinde önemle durulan bu konu için, İş Sağlığı ve Güvenliği Bilgi Yönetim Sistemi (IBYS, 2020) geliştirilmiştir. Sistemin amacı İSG uzmanları tarafından girilen saha verilerinin bakanlığa bağlı bir merkezi depolama sisteminde tutulmasını, verilere göre bölgesel/sektörel analizlerin yapılmasını ve gerekli önlemlerin alınmasını sağlamaktır. Kuruma ait bu verilerin iletilmesi için bakanlıkça yetkilendirilen entegratör firmaların geliştirdiği sistemlerin kullanılması zorunlu kılınmıştır. Bu nedenle entegratör firmaların geliştirdiği yazılım altyapılarının kesintisiz ve sorunsuz çalışabilmesi gerekir. Aksi takdirde oluşabilecek herhangi bir arıza büyük zaman ve maddi kayıplara yol açabilir.

Çalışmamızda, birçok farklı kurum ve kuruluşta senkron gelen iş sağlığı ve güvenliği verilerinin güvenli şekilde IBYS sunucusuna kayıt edilmesini sağlayan bir web uygulaması önerilmiştir. Uygulamanın mimarisi dikkatlice tasarlanarak gelen isteklerin birbirine karışmadan doğru şekilde yönetilebilmesi ve yönlendirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca sisteme dahil edilen asenkron mesaj broker yapısıyla veri kayıplarının önüne geçilmiştir. Bununla beraber geliştirilen ağ geçidi uygulaması ihtiyaçların artması durumunda rahatlıkla ölçeklendirilebilmektedir. Geliştirilen uygulama aynı zamanda E-Sağlık ismiyle bakanlıkça tescil edilmiştir.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

IBYS sunucusuna kurumlardan gelen veriler entegratör firma tarafından sağlanan bir uygulama aracılığıyla gönderilmektedir. Bu nedenle geliştirilecek uygulamanın gelen verileri doğru bir şekilde yakalaması ve yönetmesi gerekir. Literatürde benzer şekilde veri iletimi ve yönetimi için bazı çalışmalar yapılmıştır. Wu ve Khoury (2012), hasta kayıtlarının paylaşımını kolaylaştırma amacıyla web servis yaklaşımını kullanan bir broker mimarisi önermişlerdir. Sistem hasta bilgilerini, hastaya önceden uygulanan tedavi ve testlerini talep eden sağlık görevlisine XML formatında iletmektedir. Böylelikle önceden yapılan işlemlerin tekrar edilmesinin önüne geçilmiş, zaman ve maliyet tasarrufu hedeflenmiştir. Benzer şekilde Adamko vd. (2017), farklı kaynaklarda bulunan ham sağlık verilerinin işlenerek belirli bir merkezde toplanmasını ve bu merkez üzerinden erişilebilir olmasını sağlayan çok katmanlı servis mimarisi önermişlerdir.

Peddi vd. (2017), kullanıcıların sağlık durumunu takip etmek amacıyla yiyecekleri sınıflandırabilen bir mobil uygulama önermişlerdir. Mobil uygulamanın veri iletim safhası için mesaj broker geliştirilmiştir. Bulut tabanlı çalışan broker sistemi, kullanıcıdan gelen yiyecek resimlerini önce segmentasyon için bir kuyruğa atar. Sınıflandırma modülündeki işlem tamamlandığı zaman isteği yollayan kullanıcıya cevap dönülür ve kuyruktan bir sonraki segment çekilir. Böylelikle veri iletimi sırasında veri kayıpları engellenmiş olur.

Servis tabanlı mimariler farklı platformlardan gelen servis isteklerini yöneterek hızlı, güvenli ve ortam-bağımsız uygulamalar gelişmesini sağlamaktadır. Özellikle mevcutta bulunan bir sisteme entegre çalışması istenen uygulamalarda bu yaklaşımdan sıklıkla yararlanılmaktadır. Benany ve Baqqali (2015), Fas e-devlet sistemine yönelik birlikte çalışabilirlik ve data entegrasyonu için servis tabanlı mimari çerçeve tasarlamışlardır. Tasarım çok çeşitli platformların e-devlet uygulamalarına erişerek işlem yapılabilmesini sağlamaktadır. Ülke, bölge ve il

seviyesindeki işlemler için farklı katmanların bulunduğu e-devlet kapısına, geliştirilen ağ geçidi ile istek gönderilmekte ve sonuçlar istenilen platforma döndürülebilmektedir.

Merline ve Sosa (2019) coğrafi konumlarına göre yangın, trafik kazası yada hava durumu gibi bildirimlerin vatandaşlara iletilmesini sağlayan e-devlet sistemine entegre mimari bir sistem önermişlerdir. Yayınla/Abone ol yaklaşımı benimsenen mimari de farklı kamu kuruluşları sistem üzerinden vatandaşların mobil cihazlarına bildirim gönderebilmektedir. İletişimdeki servis yükünün dengelenmesi için mesaj odaklı broker katmanı mimariye eklenmiştir. Böylelikle kuruluşlardan gelen bildirimler kuyruklanarak, veri kaybı olmadan kullanıcılara iletilmiştir.

Diğer bir çalışma endonezya seyahat sistemi için tasarlanmıştır. Kiralama ve ödeme servislerinin çalıştığı iş katmanı, otel bilgilerinin çekildiği ağ geçidine entegre edilen bir mimari tasarım önerilmiştir. Otel bilgileri endonezya elektronik devlet sisteminden yine servis tabanlı mimari yaklaşımıyla çekilmiştir. Son aşamada bilgiler seyahat acentalarına aktarılmıştır (Fajar ve Shofi., 2019).

Web uygulamasından bağımsız olarak kuyruklama sistemleri, ölçeklendirme işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Nughoro vd. (2020), Sürdürülebilir kalkınma amaçlarının başarı seviyesini ölçmek amacıyla haber kaynaklarını girdi alan makine öğrenmesi modeli önermişlerdir. Modelin verimli çalışmasını sağlamak için kuyruklama yazılımı olan RabbitMQ sistemini yük dağıtıcı görevinde kullanmışlardır. Sonuçlarda kuyruklama sistemiyle yük dağıtım işlem süresinin %30 düşürdüğü kayıt edilmiştir.

Başka bir çalışma da, anlık çok sayıda veri gönderimi yapan sensörlerin kayıplarını önlemek için yapılmıştır. Akıllı ev sistemlerine entegre çalışan sensörlerin düzenli veri akışı sağlayabilmesi için MQTT protokü bazlı RabbitMQ mesaj broker tabanlı sistem önerilmiştir. Yapılan testlerde, en olumsuz senaryo da bile 5 dakika içerisinde 60,000 mesaj isteği kayıpsız şekilde yönetmiştir (Matic vd., 2019).

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

#### 3.1. Asenkron İletişim ve Mesaj Broker (Asynchronous Communication and Message Broker)

Uygulamalar arasında mesaj geçişi senkron veya asenkron mimaride gerçekleşebilmektedir. Senkron iletimde uygulamalar (üretici-tüketici / client-server), randevulaşma ve ya el sıkışma yaklaşımıyla taraflardan birisi ilgili mesajı işleyinceye kadar engellenmesini gerektirir. Öte yandan asenkron iletimde ise taraflar engellenmeden ve işler yürütülmeye devam ederken mesaj alışverişi sağlanabilmektedir. Bu kolaylık dağıtık uygulama geliştirme modellerinde (farklı platform ve teknolojilerin kullanıldığı yaklaşımlar) ve iletişimi gevşek bağlantı ile sağlayan sistemlerde, dillerden ve ortamdaki soyutlanmış altyapı oluşturulması için önemlidir. Aksi takdirde dil veya ortam bağımlı bir altyapı, farklı cihaz veya yazılımların iletişim kurmasında sıkıntılara yol açabilir. Çalışma prensibi olarak asenkron iletişim, mesajların dinamik olarak yönetilebildiği bir tampon (mesaj kuyruğu) üzerinde tutulmasını ve eş zamansız olarak iletişim kuran düğümlerin bu mesajları işleyebilmesi gerekli kılar. Bu amaçla mesajlaşma odaklı özel yazılım katmanı olarak açık standart bir uygulama protokolü olan AMQP (Advanced Message Queuing Protokolü) geliştirilmiştir. AMQP standartlarına uyan mesajlar, herhangi bir araç ya da uygulama diline bakılmaksızın diğer uyumlu araçlarla birlikte çalışabilir hale gelmiştir.

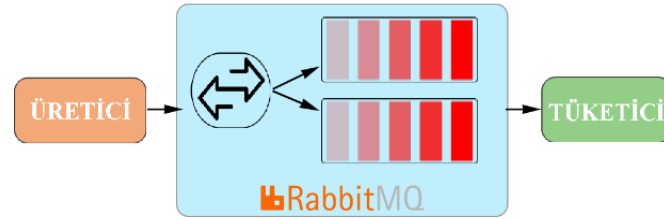
AMQP bir norm protokoldür (wire level protocols) ve yazılım geliştirme ortamlarında uygulama zorlukları içerir. Bu nedenle AMQP'yi uygulayan RabbitMQ, ActiveMQ ve Kafka gibi açık kaynaklı mesaj broker implementasyonları geliştirilmiştir. Kısacası bir mesaj broker (message broker) sistemi, iki uygulama arasındaki iletişimi sağlamak için yönlendirici görevi görür. Özellikle birçok kaynak ve hedef sistemin olduğu ve her birinin birbirleriyle veri transferi yapması gerektirdiği durumlarda süreç karmaşık hale gelecek ve her bir sistemin birbiri ile entegrasyonu gerekecektir.

Entegrasyonlar protokol seçimi, verilerin nasıl aktarılacağı (TCP, HTTP, FTP, JDBC, REST, SOAP vb.), veri formatı, verilerin nasıl ayrıştırılacağı (JSON, CSV, XML, Avro, Thrift vb.) gibi birçok zorluğu beraberinde getirir. Bunlara ek olarak bir kaynak sisteme yapılan her entegrasyon o sistem üzerinde ilave yükler yaratacaktır. Mesaj Broker'lar bu sorunları aşmak için önerilmişlerdir. Geliştirdiğimiz E-Sağlık sisteminde de birden fazla kaynak ara katman üzerinden veri transferi yapmaktadır. Sistemde oluşabilecek veri transferi karışıklığını önlemek ve farklı platformların birbirine uyumlu çalışmasını sağlamak adına mesaj broker yaklaşımından faydalanılmıştır.

#### 3.2. RabbitMQ

RabbitMQ (2020) uygulamalar arasında mesaj iletişimini sağlayan açık kaynak kodlu mesaj broker sistemidir. Sistem varsayılan olarak AMQP (Advanced Message Queuing Protocol, İleri Mesaj Dizisi Protokolü) üzerinden gelen mesajların yönetilmesini ve doğru adrese iletilmesini sağlamaktadır. Ancak STOMP, MQTT gibi farklı

protokoller de RabbitMQ tarafından desteklenmektedir. Sistem temel olarak 3 ana bileşenden oluşur. Bunlar sırasıyla mesajın gönderen kaynak, mesajlar barındıran ve sırası gelince işleme alan kuyruk ve kuyruktan gönderilen mesajları karşılayan tüketicidir. Gelen istekleri hızlı şekilde kuyruklayabilmesi nedeniyle sadece mesajlaşma sistemi olarak değil aynı zamanda kuyruklaşmada da RabbitMQ sisteminden sıklıkla faydalanılır.



Şekil 1. RabbitMQ Kuyruklaşma Mimarisi (RabbitMQ Queuing Architecture)

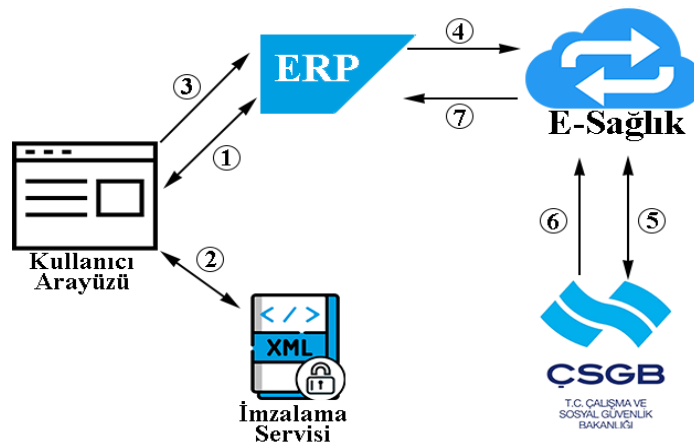
Çalışmamız içerisinde farklı kurumlardan aynı anda birçok isteğin E-Sağlık sistemine gönderilmesi beklenmektedir. Canlı veri akışının bulunduğu bir sistemde isteklerin sorunsuz iletilmesi için kuyruk yazılımları ile yönetilmesi gerekir. Bu nedenle RabbitMQ sisteminden 2 şekilde faydalanılmıştır. İlki kurumlardan gelen isteklerin ağ geçidinde yakalanması ve sıralı şekilde IBYS düğümüne gönderilmesidir. Diğeri ise IBYS sistemine gönderilen isteklerin sonuçlarının takip edilmesi için oluşturulan bir diğer kuyruktur. Her iki kuyruktaki ağ geçidi üzerinde sürekli çalışır halde istekleri dinlemektedirler. Kuyruk protokolü olarak, benzer protokoller arasında güvenlik açısından daha başarılı olan AMQP tercih edilmiştir (Özdoğan ve Erdem, 2020).

### 3.3. Elektronik İmza (Digital Signature)

Elektronik imza, elektronik ortamda hazırlanan dokümanlar doğruluğunu teyit etmek amacıyla kullanılan bir şifreleme işlemidir (Yalçınkaya, 2008). Şifreleme de kişiye özgü kod kullanılarak elektronik belgenin şifrenmesi mümkün kılınır, değiştirilmesi önlenir ve haberleşmede güvenilirliği sağlanır. Aynı zamanda belgeye hukuki açıdan korunma niteliği kazandırır. Özellikle e-devlet gibi dijitalleşme süreci sonrasında sağlıkta, kamuda, dış ticarete ve hukuki işlemlerde sıklıkla e-imza sisteminden yararlanılmaktadır. IBYS sisteminde de verilen İSG eğitimlerinin doğruluğu İSG profesyonelinin, doktorun veya eğitimle ilgili giriş yapabilme yetkisine sahip diğer personellerin e-imzası ile gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle proje dâhilinde verilerin doğrulanması için imzalama servisi de geliştirilmiştir.

### 4. Önerilen Sistem Mimarisi (Proposed System Architecture)

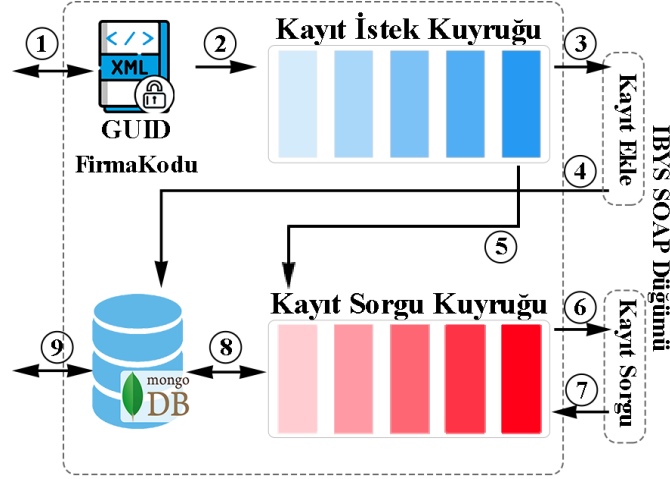
Bakanlık tarafından sunulan IBYS sistemi, SOAP erişim teknolojisini kullanan asenkron yapıda mimariye sahip düğümde oluşmaktadır. Düğümde gelen istekler için bir sorgu numarası döndürülmekte ve ortalama 3 saat içerisinde işlem değerlendirme sonucu sorgu numarasıyla elde edilebilmektedir. Sistemde işlem yapma yetkisi sadece bakanlıkça yetkilendirilmiş entegratör firmaların iznine bırakılmıştır. Entegratör firmalar İSGGM tarafından istenilen veriyi oluşturacak ve sisteme aktaracak yazılımları talep eden kurum ve İSG personellerine sağlamakla yükümlü kılınmıştır.



Şekil 2. Önerilen Sistem Mimarisi (Proposed System Architecture)

Bu yükümlülüğün sağlanmasının yanında, istenilen yazılımların İSGGM tarafından yayınlanan IBYS sistemiyle tam uyumlu çalışması gerekmektedir. Ayrıca sistemin ve sisteme girilecek verilerin güvenliği yine entegratör firmanın

sorumluluğundadır. Dolayısıyla geliştirilecek uygulamanın, belirlenen şartların yanı sıra İSG personeli ve yazılımı talep eden kurum tarafından kolay ve sorunsuz kullanılabilir olması beklenmektedir. Bu ihtiyaçların karşılanabilmesi için, kurumların İSG ile ilgili veri girişinden değerlendirilmesine ve sonuçlandırılmasına kadar olan süreci kurumun mevcut sistemine entegre biçimde yönetecek E-Sağlık çözümü önerilmiştir. Önerilen ve geliştirilen sistem Şekil 2’de gösterildiği gibi kullanıcı arayüzü, imzalama servisi ve ağ geçidi modüllerinden oluşmaktadır.



Şekil 3. E-Sağlık Ağ Geçidi Mimarisi (E-Health Gateway Architecture)

Ağ geçidi modülü kurumlardan gelen verileri düzenleyerek IBYS düğümüne göndermekle yükümlü broker katmandır. Bu katman farklı adreslerden gelen isteklerin yönetimini, yönlendirilmesini ve cevaplanmasını sağlamaktadır. Geçite aynı veya farklı kurumlardan eşzamanlı olarak çok fazla kayıt isteği gelebilir. Bu nedenle geçidin aynı anda gelecek birçok eğitim kayıt isteğini, gönderici ve alıcı tarafları bloklamadan yönetebilmesi gerekir. Aksi takdirde veri kaybı, iletişim hataları ve stabilizasyon gibi sistemin akışını ciddi şekilde etkileyecek problemler ortaya çıkabilir. Hataların önlenmesi için Şekil 3’teki gibi Net Core platformu üzerine REST mimarisine sahip ağ geçidi kurgulanmış ve geliştirilmiştir. Geliştirilen ağ geçidinde iş mantığının yürütüldüğü, veri tabanının tutulduğu, kayıt istek ve kayıt sorgulama işlemlerinin yapıldığı 5 farklı katmandan oluşmaktadır. Her katman kendi içerisinde çalışırken diğer katmanlar ile istek bazlı iletişim kurmaktadır.

## 5. Uygulama (Application)

Önerilen sistemin ilk adımı Şekil 4’te görüldüğü üzere İSG profesyonelinin veri girişi ile başlamaktadır. İSGGM tarafından istenilen eğitimin bilgisi, tarihi, konumu, türü ve hangi personele verildiği gibi bilgiler ara yüze entegre çalışan ERP sisteminden seçilerek belirlenir. Tüm bilgiler girildikten sonra kaydın İSG profesyoneli tarafından elektronik olarak imzalanması gerekmektedir.

Şekil 4, kullanıcı veri giriş arayüzünü göstermektedir. Arayüz, E-SAGLIK başlığıyla başlar. Üst kısmında 'Personel ve Eğitim Bilgileri' başlığı altında, 'Personel Ara/Seç +' butonu ve 'Eğitim Grubu Seçiniz' (Genel konular), 'Eğitim Türü' (Uzaktan Eğitim), 'Eğitim Konusu Seçiniz' (Çalışma mevzuatı ile ilgili bilgiler), 'Eğitim Yeri' (İşyeri dışında), 'Eğitim Süresi(Dakika)' (12), 'Eğitim Tipi' (İç Eğitici, Dış Eğitici) ve 'Başlama Tarihi' (11 01 2020) alanları yer almaktadır. Ayrıca 'Eğitmen Ara/Seç' (Doktor) alanı da görülmektedir. Arayüzün alt kısmında 'Ekle' butonu yer almaktadır.

Şekil 4. Kullanıcı Veri Giriş Arayüzü (User Interface for Entry Record)

Veri girişi geliştirilen sistem üzerinden yapılacağı için, imzalama işleminin de bu sisteme entegre edilmesi gereklidir. İmzalama işlemi TÜBİTAK e-imza kütüphanesinin (ESYA API, 2020) kullanıldığı bir masaüstü uygulama geliştirilmiştir. Uygulama, girilen veriyi İSG profesyonelinin e-imza anahtarı ile CADES (CMS Advanced Electronic Signature) formatında imzalamaktadır. CADES veriyi ayrık veya bütünleşik olarak imzalayabilen



elektronik imza formatlarından biridir (Röck vd., 2013). Ayrık olarak imzalayabilmesiyle imzalı değer veriden bağımsız olarak tutulabilmektedir. Bu sebeple diğer türler yerine CADES tercih edilmiştir. ISG profesyonelinin imzaladığı veri, kurumun ERP sistemine otomatik olarak kayıt edilmektedir. Sonraki aşama imzalanan verinin geliştirilen ağ geçidi ile IBYS düğümüne gönderilmesidir.

Ağ geçidinin çalışma süreci, kurum tarafından HTTP protokolü kullanarak gelen kayıt isteğinin yakalanmasıyla başlar. İstek önce bir veri modeli kullanılarak NET nesnesine dönüştürülür. Dönüştürme işleminin nedeni, IBYS düğümüne göndermeden önce gerekli kontrollerin daha hızlı yapılmasını ve platformda kullanılacak diğer teknolojilerle uyumlu şekilde çalışmasını sağlamaktır. Sonrasında benzersiz bir tanımlayıcı (GUID) ile beraber RabbitMQ katmanında bulunan iki kuyruktan ilki olan kayıt istek kuyruğuna eklenir. Uygulama içerisinde birden fazla kuyruk kullanılması, aynı anda gelen isteklerin iletilirken sonuçlanan isteklerin de firmalara döndürebilmesini sağlamıştır. Kayıt istek kuyruğu, kurum sisteminden gelen isteği IBYS düğümüne göndermekle sorumludur. Düğüm servis girdisi olarak, kurumdan gelen bilgiler ve imzaya ek olarak İSGGM tarafından entegratör firmaya özel sağlanan firma kodunu içeren bir XML dosyası ister. Bu nedenle model içerisine erişim kodu da eklenerek XML formatına çevrilir ve düğümüne gönderilir. Eğer istek düğümüne başarılı bir şekilde ulaştıysa cevap olarak HTTP durum kodu, IBYS eşsiz sorgu numarası ve durum kodunun açıklaması döndürülür.

| Eğitim Grubu    | Eğitim Konusu                        | Sorumlu Adı         | Eğitim Süresi | Eğitim Türü     | Eğitim Yeri    | Eğitim Tarihi | ÇSGB Gönderilme durumu | ÇSGB Gönder                     |
|-----------------|--------------------------------------|---------------------|---------------|-----------------|----------------|---------------|------------------------|---------------------------------|
| Genel konular   | Çalışma mevzuatı ile ilgili bilgiler | (Diş) toplu deneme3 | 12            | Uzaktan Eğitim  | İşyeri dışında | 12 01 2020    | Gönderilmedi           | <input type="checkbox"/> Gönder |
| Sağlık konuları | Meslek hastalıklarının sebepleri     | (İç) SUNAY ÇALIŞIR  | 12            | Yüz Yüze Eğitim | İşyerinde      | 01 01 2020    | Gönderilmedi           | <input type="checkbox"/> Gönder |

**Şekil 5.** Veri Gönderme ve Sonuçlandırma Arayüzü (User Interface for Sending/Finalization Record)

Başarıyla iletilen isteklere ait GUID, IBYS sorgu numarası ve XML bilgileri, ağ geçidine bağlı çalışan MongoDB veri tabanına kayıt edilir. MongoDB, girilen veri ile ilgili bilgileri ilişkisel veri tabanının aksine tek bir varlık içerisinde tutan döküman-bazlı yaklaşımı benimsemektedir. Hızı ve ölçeklenebilmesinin yanı sıra alana göre aramaları desteklemesi sebebiyle çalışmamız da kullanılmıştır.

İstek bir sonraki safhada kayıt kuyruğundan çıkartılarak sonuç sorgulama kuyruğuna eklenir. Sonuç sorgulama kuyruğu IBYS düğümünün bir diğer methodu olan "eğitim kaydet sonuç sorgulama" işlemini yapmaktadır. Method girdi olarak sorgu numarası, entegratör firmaya verilen firma kodu ve parolayı almaktadır. Çıktı olarak gönderilen isteğe karşılık İSGGM'nin değerlendirme sonucunu döndürmektedir. Eğer ilgili sorgu numarasına ait işlem sonucu İSGGM tarafından üretildiyse ilgili isteğin MongoDB kaydı işlem sonucuyla beraber güncellenmektedir. Eğer değerlendirme işlemleri hala devam ediyorsa, istek kuyrukta tutulmaya devam edilir ve sonucu çıkıncaya kadar kuyrukta bekletilir. Böylelikle sonuçlandırılan istekler, farklı kurumlardan gelen isteklerin sırasına bakmaksızın asenkron olarak kurumlara döndürülebilmektedir.

Ağ geçidine istek yapan kurumlar işlemin sonucunu GUID ile yapmaktadırlar. Burada geliştirilen mimari ile kurumun sorgusu IBYS düğümü yerine sadece ağ geçidine düşmektedir. Ağ geçidi gelen sonuç isteğini, GUID kullanarak MongoDB üzerinde arar ve sonucu kuruma döndürülür. Bu şekilde kurumun sonuç bekleme süresi yanı sıra, ağ geçidinin veri iletim maliyetleri ve IBYS düğümünün yükü de azaltılmıştır. Sonuçlanan işlemler Şekil 5'te gösterilen arayüzden takip edilmektedir.

## 6. Sonuç (Result)

E-devlet ile başlayan elektronik dönüşüm sürecinde birçok kamusal hizmet internet üzerinden kurum, kuruluş ve vatandaşlara açılmıştır. Hizmetlerden birisi de kurumların iş sağlığı ve güvenliği konularında yaptıkları her türlü işlemin bildirilmesinin zorunlu olduğu IBY sistemidir. Firmalarda bulunan yetkili İSG personelleri, IBY sistemine veri göndermek için yetkilendirilmiş entegratör firmaların geliştirdiği uygulamalar üzerinden istek atmak zorundadırlar. Bu bağlamda çalışmamızda, kurumlardan alınan verilerin imzalanması, IBY sistemine iletilmesi ve sonuçlandırılması işlemlerini en verimli şekilde gerçekleştirecek E-Sağlık uygulaması önerilmiştir.

Geliştirilen uygulama aynı anda birçok farklı kaynaktan gelen iş sağlığı verilerini kuyruk yazılımları ile yönetmekte ve sırayla IBY sistemine aktarmaktadır. Tasarlanan ağ geçidi katmanlara bölünerek motolitik mimariden kurtarılmıştır. Literatürde yapılan çalışmaların birçoğu tekil bir uygulama geliştirilmesini ve bu uygulamanın sadece gelen istekleri yönetmesini içerir. Ancak veri tabanı, kuyruklama, iş mantığı gibi kısımların ayrı ayrı servisler halinde yazılması bakım ve geliştirmeyi kolaylaştırmaktadır.

Katmanlı servis mimarisinin sağladığı diğer büyük avantaj da ölçeklendirilebilirliktir. Geliştirilen servisler, işletim sistemi seviyesinde sanallaştırmayı sağlayan konteyner uygulaması Docker imajları şeklindedir. İmajların kendi içlerinde ölçeklendirilebilmesi ile ihtiyaç halinde yük dağıtılabilir. Örneğin, iş mantığı kısmının yanı sıra gönderme ve alma işlemleri yöneten servisin yetmemesi durumunda ölçeklendirilerek paralel çalışması sağlanabilir. Bu yaklaşım sistemimizin daha verimli ve hızlı çalışmasını sağlamaktadır.

### **Teşekkür (Acknowledgement)**

Bu çalışma, Detay Teknoloji Ar-Ge Merkezi bünyesinde yürütülen çalışmaların bir sonucudur. Desteklerinden ötürü 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)**

- Adamko, Attila, Abel Garai, and Istvan Pentek. 2017. Interaction-dependent e-Health hub-software adaptation to cloud-based electronic health records. 2017 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom).
- ESYA API / Elektronik İmza Kütüphaneleri. Erişim 2020. <https://bilgem.tubitak.gov.tr/tr/icerik/esya-api-elektronik-imza-kutuphaneleri>.
- Fajar, A. N., & Shofi, I. M., 2019. Service Oriented Design for Indonesian E-Government System Using SOA. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 598, 1-5.
- Gönen, S., Solak, B., 2017. Maliye Bakanlığı E-Dönüşüm Sürecinin Muhasebe Meslek Mensupları Açısından Değerlendirilmesine İlişkin Bir Alan Araştırması. Muhasebe ve Finansman Dergisi, sy 76, 63-80.
- İBYS - İş Sağlığı ve Güvenliği Bilgi Yönetim Sistemi. Erişim 2020. <https://ibys.csgeb.gov.tr/pages.aspx?id=2>.
- Matić, M., Ivanović, S., Antić, M., & Papp, I. 2019. Health Monitoring and Auto-Scaling RabbitMQ Queues within the Smart Home System. IEEE 9th International Conference on Consumer Electronics. sy. 380-384
- M. El Benany and O. El Beqqali. 2015. SOA based e-government interoperability. IEEE/ACS 12th International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA), Marrakech, Morocco, 2015 pp. 1-2. doi: 10.1109/AICCSA.2015.7507251
- Nugroho, A., and S. S. Kusumawardani. 2020. Distributed Classifier for SDGs Topics in Online News using RabbitMQ Message Broker. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1577. No. 1. IOP Publishing.
- Peddi, Sri Vijay Bharat, Pallavi Kuhad, Abdulsalam Yassine, Parisa Pouladzadeh, Shervin Shirmohammadi, ve Ali Asghar Nazari Shirehjini. 2017. An Intelligent Cloud-Based Data Processing Broker for Mobile e-Health Multimedia Applications. Future Generation Computer Systems 66: 71-86. <https://doi.org/10.1016/j.future.2016.03.019>.
- RabbitMQ. Erişim 2020. <https://www.rabbitmq.com/>.
- Röck, Andrea, Juan Carlos Cruellas Ibarz, Andrea Caccia, Alexander Funk, ve Luigi Rizzo. 2013. ETSI EN 319 122 Part 2 (Draft): 'CMS Advanced Electronic Signatures (CAES). Part 2: Baseline Profile' v0.0.3. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/21090>.
- Sosa, Raquel, and Miguel Merlino. Geolocated Alert Services on E-Government Based on Message Oriented Middleware. 2018 XLIV Latin American Computer Conference (CLEI). IEEE, 2018.
- Wu, Ching-Seh, ve Ibrahim Houry. 2012. E-Healthcare Web Service Broker Infrastructure in Cloud Environment. IEEE Eighth World Congress on Services, 317-22. <https://doi.org/10.1109/SERVICES.2012.66>.
- Yalçınkaya, B., 2008. Elektronik imzalı belgelerin yönetilmesi ve arşivlenmesi, PhD Thesis. Marmara Üniversitesi, Turkey.



## GAZİANTEP İLİ YERALTISULARININ HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE SU KALİTESİ

Şehnaz ŞENER<sup>1\*</sup>, Erhan ŞENER<sup>2</sup>, Arzu ER<sup>1</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

*Hidrojeokimya,  
Su kalitesi,  
Yeraltısuyu,  
Gaziantep.*

### Öz

Gaziantep ili içme suyu ihtiyacı genel olarak yeraltısuyu kaynaklarından karşılanmaktadır. Bu çalışmada, Gaziantep alt havzasının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri ayrıntılı olarak incelenerek yeraltısuyu kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ile kirlilik değerlendirmeleri yapılmıştır. Jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre gözenekli geçirimli birim, karstik geçirimli birim, yarı geçirimli birim ve az geçirimli birim olarak sınıflandırılmıştır. Alüvyon ve kireçtaşı akiferlerinden maksimum 10 l/sn verim ile yeraltısuyu alınmaktadır. Bölgede sürekli akıma sahip olan Kırkgöz, Aynafar, Karpuzatan ve Akpınar kaynakları içme suyu olarak kullanılan önemli su kaynaklarıdır. Çalışma alanındaki kaynaklardan ve sondaj kuyularından Mayıs (2017) döneminde alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları değerlendirildiğinde yeraltısularının Ca-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanındaki su örneklerinin pH değerleri 7.13 - 8.20 arasındadır. EC değerleri ise 405-1154 µS/cm arasında değişmektedir. Ayrıca, G11 ve G18 nolu su örnekleri Fe bakımından, G4, G12 ve G15 nolu su örnekleri ise NO<sub>3</sub> bakımından içme suyu limit değerlerinin üzerinde olup içme suyu olarak kullanıma uygun değildir. Yeraltısuları sulama suyu kullanımı bakımından orta-yüksek tuzlu sular sınıfında yer almaktadır. Bölgedeki yeraltısuyu kimyası genel olarak kaya-su etkileşimi ile gelişmekte olup, tarımsal faaliyetlerin sulara nitrat artışına sebep olduğu belirlenmiştir.

## HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES AND WATER QUALITY OF GAZİANTEP PROVINCE GROUNDWATERS

### Keywords

*Hydrogeochemistry,  
Water quality,  
Groundwater,  
Gaziantep.*

### Abstract

The drinking water of Gaziantep is generally supplied from groundwater resources. In this study, the geological and hydrogeological characteristics of the Gaziantep sub-basin were examined in detail and the hydrogeochemical properties of groundwater resources and pollution assessments were made. Geological units are classified as porous permeable unit, karstic permeable unit, semi-permeable unit and low permeable unit according to their hydrogeological properties. Groundwater is taken from alluvium and limestone aquifers with a maximum yield of 10 l/ sec. Kırkgöz, Aynafar, Karpuzatan and Akpınar springs, which have a continuous flow in the region, are important water resources used as drinking water. When the chemical analysis results of the water samples taken from the springs and boreholes in May (2017) were evaluated, it was determined that the groundwaters are Ca-HCO<sub>3</sub> and Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> water type. The samples had pH of 7.13 to 8.20. The electrical conductivity (EC) fluctuated between 405 and 1154 µS/cm. In addition, water samples numbered G11 and G18 are above the drinking water limit values in terms of Fe, water samples G4, G12 and G15 in terms of NO<sub>3</sub> and are not suitable for drinking water use. The groundwater is in the middle-high salty water class in terms of irrigation water use. The groundwater chemistry generally develops with rock-water interaction, and it has been determined that agricultural activities cause nitrate increase in waters.

\* İlgili yazar / Corresponding author: sehnazsener@sdu.edu.tr, +90-246-211-1332

**Alıntı / Cite**

Şener, Ş., Şener, E., Er, A., (2021). Gaziantep İli Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Su Kalitesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1253-1266.

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

Ş. Şener, 0000-0003-3191-2291  
E. Şener, 0000-0001-6263-8366  
A. Er, 0000-0002-4749-7603

**Makale Süreci / Article Process**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 25.04.2021 |
| <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 02.08.2021 |
| <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 05.08.2021 |
| <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

**1. Giriş (Introduction)**

Günümüzde, dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de küresel iklim değişikliğinin etkisiyle yüzey suyu kaynakları miktar olarak azalmaktadır. Bununla birlikte, kirleticilerden daha kolay etkilenen yüzey sularının kullanımı giderek sınırlanmaktadır. Bu durumda her türlü sektörde su ihtiyacının karşılanmasında yeraltısuları daha yoğun kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerde nüfus artışıyla orantılı olarak suya olan talebin artması kaçınılmazdır. Bununla birlikte kentleşmenin, tarımsal faaliyetlerin ve sanayinin yoğun olduğu bölgelerde su kirliliği en önemli problemlerden birisidir. Mevcut durumda özellikle içmesuyu ve tarımsal sulama ihtiyacının karşılanmasında yüzey sularının yanında yeraltısuları da kontrolsüz bir şekilde kullanılmaktadır (Jayaprakash vd., 2008; Srinivas vd., 2013). Ancak, herhangi bir doğal kaynak gibi yeraltısuları da sınırsız olmayıp hem nicelik hem de nitelik açısından akılcı bir su yönetimine ve planlamalarına ihtiyaç vardır. Yeraltısuyu kalitesi jeojenik ve antropojenik faktörlere bağlıdır (Vasanthavigar vd., 2010). Kaya-su etkileşimi gibi jeojenik faktörler ile evsel, tarımsal ve endüstriyel kirleticiler gibi antropojenik faktörler yeraltısuyu kalitesini olumsuz etkilemektedir (Şimşek ve Gündüz 2007; Şener vd., 2009; Şener ve Davraz 2012; Bozdağ ve Göçmez, 2013; Bozdağ, 2016; Bozdağ, 2017). Özellikle yoğun gübre ve pestisit kullanımının gerçekleştiği tarımsal faaliyetlerin yaygın olduğu alanlarda yeraltısuları kirlenmeye maruz kalmaktadır (Fırat Ersoy ve Gültekin, 2013). Suyun farklı amaçlı kullanımlara uygunluğunun bilinmesi açısından suyun kimyasal özelliklerinin ve su kalitesinin belirlenmesi son derece önemlidir.

Bu çalışmada, Gaziantep ilinde içme ve sulama suyu olarak kullanılan yeraltısularının hidrojeolojik özellikleri incelenerek hidrojeokimyasal özellikleri, kalitesi ve kullanılabilirlik durumu araştırılmıştır. Çalışma alanında yeraltısuyu kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerini ve su kalitesini belirlemeye yönelik bilimsel bir çalışma bulunmaması bu çalışmayı bilimsel açıdan özgün kılmaktadır.

**2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)**

Çiftçi (2019) tarafından yapılan tez çalışmasında Gaziantep ili deprem master planının uygulanabilirliği incelenmiştir. Yapılan çalışmada, Gaziantep ili yerleşim alanlarının önemli ölçüde deprem üretebilecek aktif fay sistemlerine yakın olduğu ve bu nedenle de deprem riski taşıyan bölgede önlemlerin alınması gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca hazırlanan master planların güncellenerek özellikle altyapı, imar planlamaları ve enerji sektörleri için geliştirilecek önlemlere uyulması gerektiği vurgulanmaktadır. Kafadar ve Saygıdeğer (2010) Gaziantep ilinde sulama suyu olarak kullanılan atık suların kurşun içeriklerini incelemişlerdir. Ayrıca, bu sularla sulanan bitkilerdeki ve temiz su ile sulanan bitkilerdeki kirlilik düzeylerini karşılaştırarak olası kurşun birikimlerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlarda, atık sular ile sulanan bitkilerde önemli miktarlarda kurşun birikimi saptanmıştır. Alan (2017) tarafından yapılan tez çalışmasında ise Gaziantep ili Şehitkamil ilçesi için içme suyu şebekesi tasarımı geliştirilmiştir. Çalışmada, mevcut durumda Gaziantep ili içme suyu şebekesinden sağlanan suyun bölgedeki nüfus artışı dikkate alındığından yetersiz kalacağı ve bu nedenle bölgedeki kaynak sularının içme suyu olarak kullanımının gerekli olacağı belirtilmektedir.

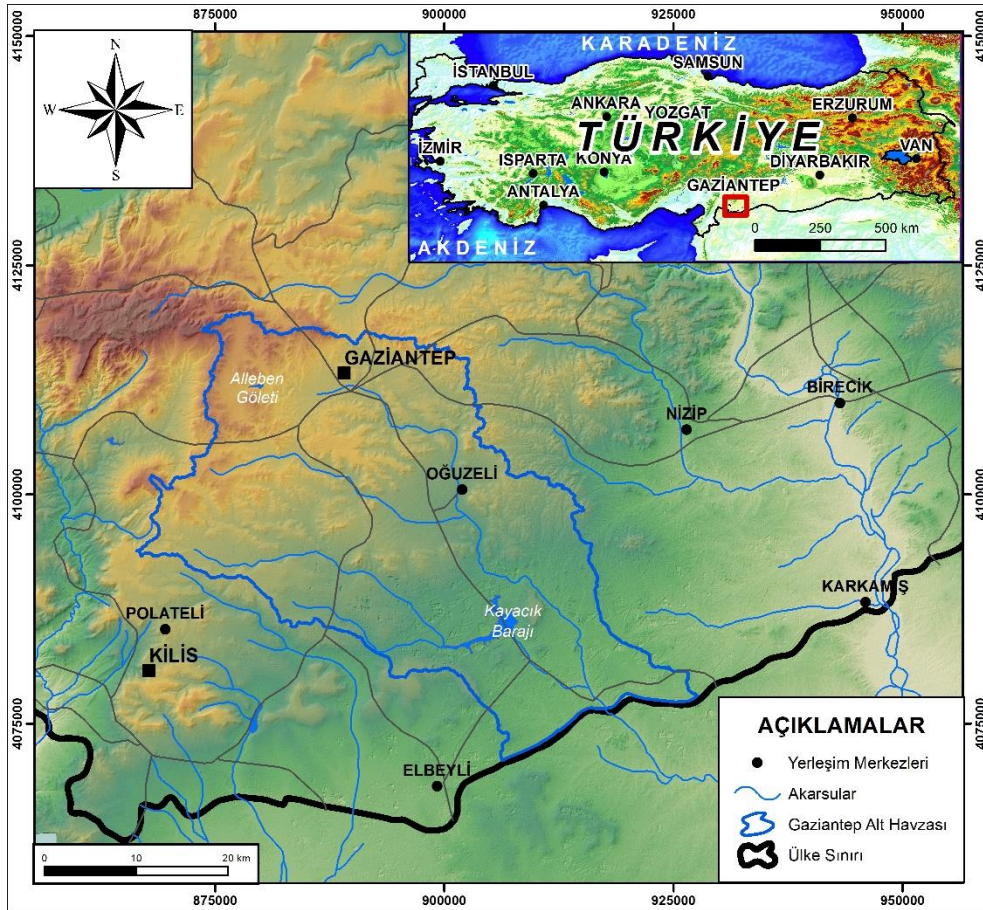
Yapılan literatür araştırmalarında Gaziantep ili genelinde içme suyu ve sulama suyu olarak kullanılan yeraltısularının kimyasal özellikleri, su kalitesi ve kullanılabilirliğine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, Gaziantep ili yeraltısularının kullanım ve koruma planlamalarına önemli katkılar sağlayacak olan bu çalışma bölge için önem taşımaktadır.

**3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)****3.1. Çalışma Alanı (The Study Area)**

Çalışma alanı olarak belirlenen Gaziantep alt havzası; 1/100 000 ölçekli Gaziantep-N38 ve Şanlıurfa-N39 paftalar ve bu paftaların 1:25 000 ölçekli N38-c4, N38-c3, O38-a2, O38-b1, O38-b2, O38-a1, O38-b4, O39-a4, O39-a3, O39-d1 topoğrafik haritalarını kapsar. Çalışma alanına ait yerbulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir. Gaziantep alt

havzası 480-1300 m kotları arasında yer alır. Alt havzanın; kuzey batıda Taşkın tepe (1100 m), batıda Tepecibayır tepe (1028 m), Kara tepe (999 m), güneyde Kırac tepe (848 m), Keşifçi tepe (817 m), Almalı tepe (881 m), doğuda Ziyaret tepe (988 m), Yürükdağ tepe (863 m), Yoğunhüyük tepe (782 m), güneydoğuda Barak dağı (663 m) başlıca yükseltilerini oluşturur. İnceleme alanında yerleşim birimleri Gaziantep İl Merkezi, Şahinbey, Şehitkamil, Oğuzeli ilçeleri ve çok sayıda mahalle, su noktaları Tüzelsuyu deresi, Sacirsuyu çayı ile akımları sürekli Kırkgöz, Aynafar, Karpuzatan, Akpınar (Cağdın) ve akımları yağışların az olduğu yıllarda sürekli olmayan Enebacı ve Çapalı kaynaklarıdır. Gaziantep alt havzasının doğu-güney-güneybatısında alt havzanın % 74,20'sini temsil eden düz alanlar ova alanını oluşturur (DSİ, 2018).

Gaziantep alt havzası sınırları içerisinde 17261 nolu Gaziantep (Kot 855 m) Devlet Meteoroloji İstasyonunun 1939-2013 yılları arasında yağış verilerine göre, ortalama yıllık yağış 553,04 mm, en düşük aylık ortalama yağış 2,03 mm ile Temmuz ayında, en yüksek aylık ortalama yağış 101,57 mm ile Aralık ayında gerçekleşmiştir. 1962-2010 yılları arasında ölçülen buharlaşma verilerine göre ortalama yıllık toplam buharlaşma 1425 mm, en yüksek aylık toplam buharlaşma 305,3 mm ile Temmuz ayında, en düşük aylık toplam buharlaşma 17,9 mm ile Aralık ayında gerçekleşmiştir. 1940-2010 yılları arasında ölçülen sıcaklık değerlerine göre yıllık ortalama sıcaklık 14,8°C, en düşük aylık ortalama sıcaklık 2,8°C ile Ocak ayında, en yüksek aylık ortalama sıcaklık 27,5°C ile Temmuz ayında gerçekleşmiştir. 18285 nolu Oğuzeli DMİ 1962-1983 yılları arasındaki yağış verilerinin aritmetik ortalamasına göre ortalama yıllık yağış 456,14 mm, en düşük aylık ortalama yağış 5,02 mm ile Eylül ayında, en yüksek aylık ortalama yağış 92,88 mm ile Aralık ayında gerçekleşmiştir. 1965-1992 yılları arasında ölçülen sıcaklık değerlerine göre ortalama sıcaklık 15°C, en düşük aylık ortalama sıcaklık 2,9°C ile Ocak ayında, en yüksek aylık ortalama sıcaklık 26,5°C ile Temmuz ayında gerçekleşmiştir (DSİ, 2018).



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası (Location map of the study area)

### 3.2. Çalışma Yöntemleri (Methods)

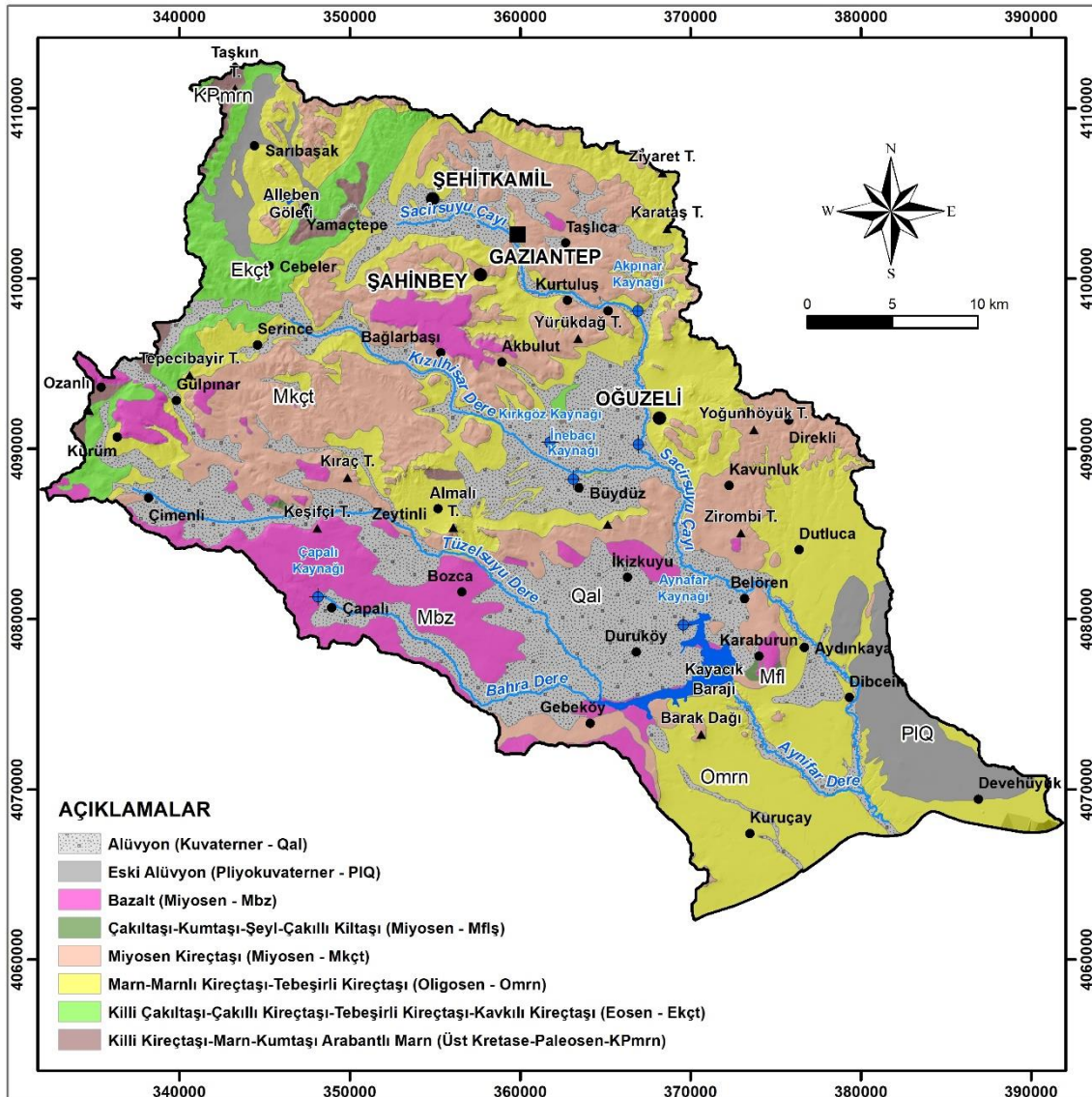
Gaziantep ili içmesuyu kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerini ve su kalitesini ortaya koyabilmek için öncelikle çalışma alanında yüzeyleyen formasyonlar ve bunların litolojik özellikleri incelenmiş ve jeoloji haritası hazırlanmıştır. Bölgede bulunan kaynaklar ve bu kaynaklara ait hidrolojik bilgiler literatür çalışması ile elde edilmiştir. Litolojik birimlerin akifer olabilme potansiyelleri değerlendirilerek çalışma alanının hidrojeolojik haritası oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki yeraltısularının kimyasal yapısını, kullanım özellikleri ve kalitesinin belirlenmesi amacıyla çalışma alanı içerisindeki içmesuyu olarak kullanılan kaynak ve yeraltısularından Mayıs-

2017 döneminde toplam 21 farklı lokasyondan su örnekleri alınmıştır. Su örneklerin kimyasal analizleri Bureau Veritas Mineral (Kanada) laboratuvarı ve Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında yaptırılmıştır. Ayrıca arazide numune alımı sırasında suların, sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) değerleri YSI Professional Plus marka çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazı kullanılarak yerinde ölçümler ile belirlenmiştir. Su örneklerinin hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesinde anyon ve katyon analiz sonuçları 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 alanı ve yakın çevresi farklı araştırmacılar tarafından jeolojik ve stratigrafik özellikleri açısından incelenmiştir. Yapılan tüm bu çalışmalar incelenerek, elde edilen bilgiler arazi çalışmaları ile desteklenmiş ve bölgenin 1/50 000 ölçek hassasiyetinde hazırlanmış jeoloji haritası Şekil 2'de sunulmuştur. Çalışma alanında Üst Kretase, Paleojen, Neojen, Kuvaterner yaşlı sedimanterler ve magmatik kaya birimleri yüzeylenmektedir. Sedimanter kaya birimleri yaşlıdan gence doğru Üst Kretase-Paleosen yaşlı marn, Eosen yaşlı killi çakıltı-çakıllı kireçtaşı-tebeşirli kireçtaşı-kavkılı kireçtaşı, Oligosen yaşlı marn-marnlı kireçtaşı-tebeşirli kireçtaşı, Miyosen yaşlı kireçtaşı, Üst Miyosen yaşlı çakıltı-kumtaşı-şeyl-çakıllı kiltası, Pliyokuvaterner yaşlı eski alüvyon, Kuvaterner yaşlı alüvyon, magmatik kaya birimleri ise Miyosen yaşlı bazaltlarla temsil olunur (MTA 1996, 1997).



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Geological map of the study area) (MTA 1996, 1997)

Çalışma alanında tabanda bulunan killi kireçtaşı-marn-kumtaşı arabantlı marn (KPmm), çalışma alanında batı-kuzeybatı ve orta kesimlerde toplam 16,16 km<sup>2</sup> alanda yüzeylenmektedir. Birimin taban seviyeleri krem bej renkli, sert-yumuşak, milli, kalın tabakalı, serpantin-kireçtaşı ve çakıltası arabantlı kumlu tebeşirler gözlenmektedir. Orta seviyeleri açık gri renkli, yumuşak, milli, mikalı ince şeyl ve kumlu kireçtaşı ara tabakalı, ince-orta-kalın tabakalı marn, üst seviyeleri ise pembe, gri renkli, tebeşir ara tabakalı, yer yer açık yeşil-gri renkli ince tabakalı, çört yumrulu marn ara tabakalı killi kireçtaşı kaya türlerinden oluşur. Yaklaşık 150-500 m arasında değişen kalınlıktaki birimin tavan dokanağı Eosen yaşlı birimlerle uyumludur (MTA 1996, 1997). Killi çakıltası-çakıllı kireçtaşı-tebeşirli kireçtaşı-kavkılı kireçtaşı (Ekçt) birimleri, bölgenin batı-kuzeybatı ve orta kesimlerde toplam 77,69 km<sup>2</sup> alanda yüzeylenmektedir. Birim tabandan itibaren açık gri, kahve renkli çakıltası, yumuşak-dağılgan, milli, killi çörtlü, taban seviyeleri çört-marn ardalanmalı killi kireçtaşı orta seviyeleri tebeşirli kireçtaşı, üst seviyeleri açık kahve, sarı, gri, bej renkli kalın-çok kalın tabakalı yer yer masif, gözenekli, erime boşluklu, kavkılı, kırık ve çatlaklı kireçtaşı kaya türlerinden oluşur. 100-500 m arasında değişen kalınlıktaki birimin taban dokanağı Üst Kretase-Paleosen, tavan dokanağı Oligosen yaşlı birimlerle uyumludur (MTA 1996, 1997). Marn-marnlı kireçtaşı-tebeşirli kireçtaşı (Omrn) toplam 426,85 km<sup>2</sup> alanda yüzeylenmektedir. Birim tabandan itibaren açık gri renkli, yumuşak, milli-killi, marn-çört ardalanmalı marn-marnlı kireçtaşı, üst seviyeleri killi-tebeşirli kireçtaşı kaya türlerinde oluşur. Hakim kaya türü marnlardır. Havza kenarı veya derin şelf kenarı mikrofasiyes ortamında çökelmıştır. 100-250 m arasında değişen kalınlıktaki birim, Eosen yaşlı birimler üzerine uyumlu bir dokanakla yer alır. Miyosen Kireçtaşı (Mkçt) birimi 312,42 km<sup>2</sup>lik alana sahip olup birim alttan üste doğru krem, beyazımsı-kirli sarı renkli orta-kalın tabakalı, çört yumrulu, masif kireçtaşı, kirli sarı renkli orta-kalın tabakalı çört yumrulu, fosil kavkılı kireçtaşı, üst seviyeleri beyazımsı krem-kirli sarı renkli, kalın-çok kalın tabakalı, az çört yumrulu, bol Ekinit fosilli kireçtaşlarından oluşur. Çalkantılı sığ su mikrofasiyes ortamında çökelen birimin kalınlığı 0-150 m arasında değişir. Oligosen yaşlı birimler üzerinde uyumlu bir dokanakla yer alır (MTA 1996, 1997).

Çakıltası-Kumtaşı-Şeyl-Çakıllı Kiltası (Mflş) birimlerinden oluşan Miyosen filişleri çalışma alanının güneyinde Karadibek ve Mağaracık çevresinde 2,70 km<sup>2</sup> alanda yüzeylenmektedir. Çakıltası, kumtaşı, şeyl ardalanmalı akarsu ile kumtaşı, marn gibi göl çökellerinin ardalanmasından oluşur. Yanal ve dikey geçişli olan birimin kalınlığının 0-150 m arasında değişir. Miyosen yaşlı birimler üzerinde uyumlu bir dokanakla yer alır (MTA 1996, 1997). Filiş birimlerin üzerinde bulunan bazaltlar (Mbz) yaklaşık 134,51 km<sup>2</sup> alanda yüzeylenmektedir. Kırmızımsı, koyu kahve, koyu gri ve siyahımsı renkte, tabakasız, yer yer tabakalı, gözenekli, lav akıntıları, yer yer aglomera ve tüf ara bantlı yüzeylenmelerinden oluşur. Kalınlığı 0-150 m arasında değişir. Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı olan bazaltlar daha yaşlı birimler üzerinde açısız uyumsuzlukla yer alır (MTA 1996, 1997). Kuvaterner örtü birimlerinden Eski Alüvyon (PIQ) ovanın güney doğusu ve kuzey batısında toplam 69,96 km<sup>2</sup>lik alanda yüzeylenmektedir. Akarsuların eski yataklarında ve düzlüklerde gevşek tutturulmuş çakıltası-kumtaşı-çamurtaşlarından oluşan birimin kalınlığı 0-80 m arasında değişir. Alüvyon (Qal) ise Tüzelsuyu dere, Sacirsuyu çayı ile yan kollarının vadi ve yataklarında tutturulmamış güncel çakıl, kum, çamur depozitlerinden oluşur. Çalışma alanında 362,09 km<sup>2</sup> alanda yüzeylenen birimin kalınlığı 0-10 m arasında değişmektedir (MTA 1996, 1997).

## 4.2. Hidrojeolojik Özellikler (Hydrogeological Properties)

### 4.2.1. Su Noktaları (Water Points)

Çalışma alanı içerisindeki en önemli su noktaları Tüzelsuyu dere, Sacirsuyu çayı, akımları sürekli olan Kırkgöz, Aynafar, Karpuzatan, Akpınar (Cağdın) kaynakları ve yağışların az olduğu dönemlerde sürekli akımları olmayan Enebacı ve Çapalı kaynaklarıdır.

### 4.2.2. Akarsular

Tüzelsuyu dere, çalışma alanının güney batısından Çimenli, Şahinbey, Yeşil mahalleleri çevrelerinde küçük debili kaynak akımlarından oluşur. Güneydoğu yönünde Bahre dere akımlarıyla birleşip Kayacık barajı rezervuarına akar. Kayacık barajı inşa edilmeden önce Aynafar kaynağı akımlarının katılımıyla güney yönünde akarak Akçakoyunlu mahallesi yakınlarında Sacirsuyu çayına katılır. Tüzelsuyu deresi en yüksek yıllık ortalama akımı 2,235 m<sup>3</sup>/s ile 1968 yılında, en düşük yıllık ortalama akımı 0,036 m<sup>3</sup>/s ile 1983 yılında gerçekleşmiştir. Tüzelsuyu deresi 1979-1984 yılları arasında Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında kurudur (DSİ, 2018).

Gaziantep il merkezi batısında Pancarlı ve İbrahimli mahalleleri çevrelerinden doğan Sacirsuyu çayı, doğu ve güneydoğu istikametinde akarak Gaziantep il merkezi, Oğuzeli ilçe merkezi ve yakın çevrelerindeki mahallelerin atık sularının katılımından sonra güney yönünde ilerleyip Akçakoyunlu mahallesi güneyinden Suriye topraklarına girer. Drenaj alanı 999 km<sup>2</sup>'dir. Sacirsuyu çayının en yüksek ortalama yıllık akımı 9,925 m<sup>3</sup>/s ile 1969 yılında, en düşük akım değeri ise 2,451 m<sup>3</sup>/s ile 1966 yılında gerçekleşmiştir. Sacirsuyu çayı Aralık-Mayıs döneminde en yüksek akım değerlerine ulaşmaktadır (DSİ, 2018).

#### 4.2.3. Kaynaklar

Kırkgöz Kaynağı; Oğuzeli ilçesi Sazgın mahallesinin takriben 2 km kuzeybatısında Eosen yaşlı çakıllaşları ile Paleosen yaşlı marınların kontağından 698,33 m kotunda birden fazla noktadan boşalmaktadır. Kaynaktan kaptaj yapılarak içme-kullanma suyu olarak kullanılmakta, bir kısmı ise Sazgın civarındaki arazilerde tarımsal sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Aynafar Kaynağı; Oğuzeli ilçesinin Yukarıgüneyse mahallesinin 2 km kuzeyinde Pliyo-Kuvaterner birimlerden 598,10 m kotunda birden fazla gözden boşalmaktadır. Kaynak yağışların fazla olduğu kış aylarında Kayacık barajını da beslemektedir. İçme-kullanma ve sulama suyu ihtiyacının karşılanmasında kullanılan Aynafar kaynağı, Kayacık barajındaki su seviyesi maksimum değerlere ulaştığında büyük oranda su altında kalmaktadır. Kaynağın maksimum ortalama akımı 472,83 l/s ile 1996 yılında, minimum ortalama akımı 304,50 l/s 1990 yılında gerçekleşmiştir. Aynafar kaynağı rezervuarında yüzeylenen jeolojik birimlerde karstlaşma az-orta derecede gelişmiştir (DSİ, 2018).

Karpuzatan Kaynağı; Oğuzeli ilçesinin 1 km güneybatısında Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimlerden 656,41 m kotunda birden fazla gözden kaynarak boşalmaktadır. Kaynak akımları ile yaklaşık 200 hektar tarım alanı sulanmaktadır. Tarımsal sulama mevsimi dışında kaynak suları Sacirsuyu çayına karışır. Kaynak akımları Aralık-Haziran ayları arasındaki dönemde en yüksek, diğer aylarda ise birbirlerine yakın değerlerdedir. Kaynağın maksimum ortalama akımı 413,50 l/s ile 1995 yılında, minimum ortalama akımı 146,40 l/s 1991 yılında gerçekleşmiştir. Orta değişken kaynak özelliğindeki Karpuzatan kaynağı rezervuarında yüzeylenen jeolojik birimlerde karstlaşma az-orta derecede gelişmiştir. Yeraltısuyu hareketinin eklem ve çatlaklar boyunca olduğu, yüzey drenaj alanından daha geniş bir alandan beslendiği söylenebilir. Yağışlar kısa sürede ve kaynak akımlarını etkilemekle beraber 1-2 ay gecikmeli olarak ta etkiler. Yağışların az veya olmadığı aylarda kaynak akımları büyük boyutta azalır (DSİ, 2018).

Akpınar (Cağdın) Kaynağı; Oğuzeli ilçesinin 7 km kuzeyinde Akpınar mahallesinde Oligosen yaşlı tebeşirli-killi kireçtaşlarından 724 m kotunda birden fazla noktadan boşalmakta ve akış göstermektedir. Kaynak sularının yaklaşık 100 l/s'isi Oğuzeli ilçe merkezleri ve Barak grubu mahallelerinin içme-kullanma suyu olarak kullanılmakta, geri kalan kısmı ise tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Akpınar (Cağdın) kaynağının maksimum yıllık ortalama akımı 396,10 l/s ile 2002 yılında, minimum akımı ise 123,40 l/s ile 2009 yılında gerçekleşmiştir. Enebacı Kaynağı; Oğuzeli-Sazgın mahallesinin 1,5 km güneyinde Oligosen yaşlı tebeşirli kireçtaşı çatlaklarından yarımaya şeklindeki bir zondan belirgin 4 noktadan boşalmaktadır. Yağışın az olduğu yıllarda debisi azalan veya kuruyan kaynağın ortalama debisi 43 l/s'dir. Kaynak tarım alanlarının sulanmasında kullanılmakta, sulama mevsimi dışında ise kaynak suları Kızılhisar deresine karışmaktadır. Çapalı Kaynağı; Gaziantep alt havzasının güneybatısında Çapalı mahallesinin 1 km kuzeybatısında 710 m kotunda birden fazla gözden bazalt biriminin kırık ve çatlaklarından boşalmaktadır. Çapalı kaynağı yakın çevresinde tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Sulama mevsimi dışında ise Bahra deresine karışmaktadır (DSİ, 2018).

#### 4.2.4. Kuyular (Wells)

Çalışma alanında özellikle şehir merkezinde bulunmak üzere toplam 94 adet olan sığ kuyuların derinlikleri 10 m ve daha azdır. Ayrıca, Devlet Su İşleri (DSİ), İl Özel İdaresi, GASKİ ve Özel şahıslar tarafından 24-275 m arasında değişen derinliklerde açılmış olan çok sayıda sondaj kuyusu mevcuttur. Bunlardan, 75 adedi araştırma amaçlı, 2362 adedi içme-kullanma amaçlı, 32 adedi sanayi suyu temini amacıyla ve 6228 adedi tarımsal sulama amaçlı açılmıştır (DSİ, 2018).

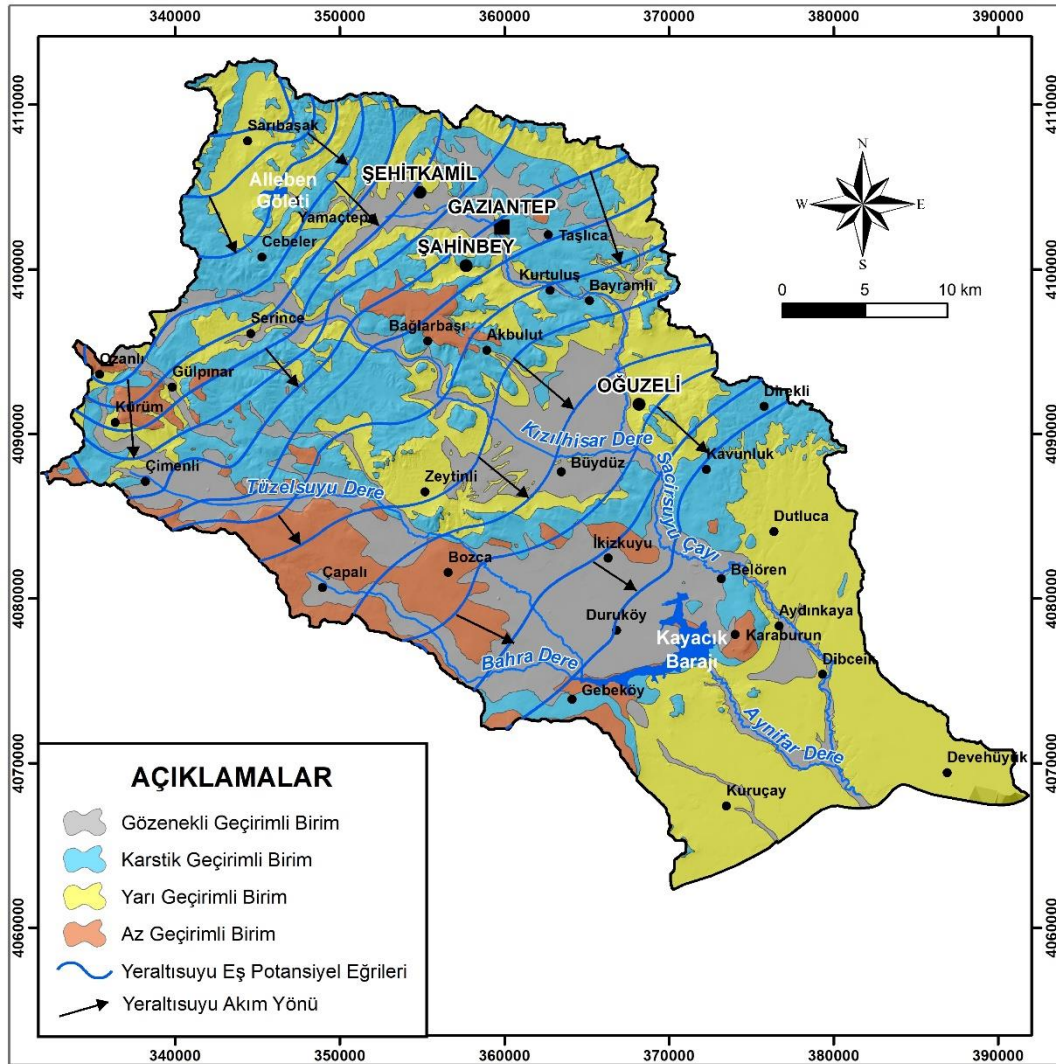
### 4.3. Litolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri (Hydrogeological Properties of Lithological Units)

Çalışma alanında bulunan litolojik birimler, hidrojeolojik özelliklerine göre tekrar değerlendirilerek sınıflandırılmış ve bölgenin hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 3). Araştırma konusunu oluşturan alanda yer alan jeolojik birimler fiziksel ve hidrojeolojik özellikleri ile akifer olabilme potansiyelleri bakımından gözenekli geçirimli birim, karstik geçirimli birim, Yarı geçirimli birim ve Az geçirimli birim olmak üzere dört ayrı grupta incelenmiştir. Çalışma alanında yüzeylenen her bir jeolojik birimin litolojik özellikleri ve hidrojeolojik yapıları aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

**Gözenekli Geçirimli Birim:** Çalışma alanında alüvyonlar Sacir, Tüzelsuları ile eski ve yeni yatakları ile yan kolları çevresinde yüzeylenirler. Sığ kalınlıkta olmakla beraber içerdiği çakıl, kum, çakıllaş, kumtaşı gibi gözenekli geçirimli birimler nedeniyle akifer özelliğindedir. Kalınlığının fazla olmaması nedeniyle yağışlardan ve akarsulardan bünyesine aldığı yeraltısuyunu boşluklarda bulundurması ile birlikte alttaki birimlere ileten beslenme kayacı niteliğindedir. Çalışma alanında Sacirsuyu çayı ve Tüzelsuyu derelerin vadileri ve yan kolları vadilerinde toplam 362,09 km<sup>2</sup> alanda alüvyon birim yüzeylenmektedir ve birim içinde açılmış olan çok sayıda sondaj kuyusu bulunmaktadır.



**Karstik Geçirimli Birim:** Çalışma alanında yüzeyleyen Miyosen yaşlı kireçtaşı ve Eosen yaşlı tebeşirli kireçtaşı-kavkılı kireçtaşı birimleri karstik yapıları sebebiyle "Karstik Geçirimli Birim" olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanının kuzeybatı ve batısında yüzeyleyen Eosen Yaşlı Tebeşirli Kireçtaşı-Kavkılı Kireçtaşı biriminin, bölgede meydana gelen tektonik hareketler sonucu karstik yapı kazanan, genellikle yükseltileri oluşturan, kavkılı kireçtaşlarından oluşan üst seviyeleri, litolojik yapısı nedeniyle akifer kayacı özelliğindedir. Düşük topografyada yüzeyleyen kavkılı kireçtaşlarının yeterli kalınlıktaki taban seviyeleri ile tebeşirli kireçtaşları seviyeleri akifer özelliği gösterirler. Akiferin geçirimsiz taban kayacı, açık gri, kahve renkli çakıltası, milli, killi, çört-marn ardalanmasından oluşur. Düşük topografyada tarımsal sulama ve içme-kullanma suyu temini için Sarıbaşak, Cebeler, Yamaçtepe, Kürüm ve Ozanlı mahalleleri çevrelerinde kavkılı kireçtaşı ve kırıntılı kireçtaşı ara bantlı tebeşirli kireçtaşları geçilen 100-200 m arasında açılan sondaj kuyularından 2-10 l/s arasında değişen debilerde yeraltısuyu üretimi yapılmaktadır. Sondaj kuyuları verimleri, geçilen kırık ve çatlak sistemlerinin oranlarına göre değişiklik gösterirler. İçme-kullanma suyunun temini için açılan Cebeler Mahallesi kuyusunda 60 m düşümle 2 l/s, Sarıbaşak mahallesi kuyusunda 50 m düşümle 3 l/s, Kürüm mahallesi kuyusunda 20 m düşümle 10 l/s verim alınmıştır. Eosen yaşlı birimlerin toplam alanı 77,69 km<sup>2</sup>'dir (DSİ, 2018).



Şekil 3. Çalışma alanının hidrojeoloji haritası (Hydrogeological map of the study area)

Çalışma alanında oldukça geniş alanda yüzeyleyen litolojik yapısı nedeniyle akifer kayacı olan Miyosen kireçtaşları, en kalın olarak alt havzanın kuzey doğusunda Küçük Göllüce damları ile güney doğuda Karadibek, Sütluçe, Yeniköy, Kaşyolu, Yakacık, Gündoğan, Karataş mahalleleri çevrelerinde akifer özelliği taşır. Düşük topografyada yeterli kalınlıkta geçilen kırık ve çatlakların oranlarına göre 100-150 m arasında değişen derinliklerde araştırma, içme suyu ve tarımsal sulama amaçlı açılan sondaj kuyularında yeraltısuyu üretimi yapılmaktadır. Alt havzanın batısında Burçkarakuyu, Geneyik, Muhaciroşman mahalleleri çevrelerinde yüzeyleyen kireçtaşları topoğrafik olarak üst kotlarda yer alması ve yeterli kalınlıkta olmaması nedenleriyle daha çok beslenme kayacı özelliği taşır. Alt havzada genelinde, Miyosen yaşlı kireçtaşlarından yukarıda bahsedilen alanlar haricinde topoğrafik konumu, kalınlığı, kat edilen kırık-çatlak oranlarına göre tarımsal sulama ve kullanma amaçlı

açılan şahıs kuyularından 0,5-2 l/s arasında değişen debilerde yeraltısını üretimi yapılmaktadır. Miyosen yaşlı kireçtaşlarının toplam yayılım alanı 312,42 km<sup>2</sup>'dir (DSİ, 2018).

**Yarı Geçirimli Birim:** Çalışma alanında yüzeyleyen Oligosen yaşlı marn-killi kireçtaşları-tebeşirli kireçtaşları, Pliyo-Kuvaterner yaşlı çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı birimleri ve Paleosen yaşlı killi kireçtaşı-marn-kumtaşı arabantlı marn birimleri yer yer geçirimsiz seviyeler içerdiğinden "Yarı Geçirimli Birim" olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanında marnlı birimlerin üst seviyelerini oluşturan kumtaşı arabantlı tebeşirli-killi kireçtaşları kısmen akifer özelliği gösterirler. Akiferin geçirimsiz taban kayacı birimin marnlı seviyelerinden oluşur. Kumtaşı arabantlı tebeşirli kireçtaşlarının yeterli kalınlık gösterdiği çalışma alanın Alleben dere ve Sacirsuyu çayının vadisinde uygun topografyada 22-220 m arasında açılan sondaj kuyularından yeraltısını üretimi yapılmaktadır. Alt havzanın kuzeybatısında tebeşirli killi kireçtaşlarının yüzeylendiği Yamaçtepe mahallesi batısında ve Sarısalkım mahallesi güneyinde Pancarlı mevkiinde araştırma amaçlı açılan ve Alleben Göleti rezervuarında kalan tebeşirli-killi kireçtaşlarının kırık ve çatlaklı seviyeleri geçilen sondaj kuyusunda 10,4 m düşümle 45 l/s yeraltısını üretilmiş, kırık ve çatlak seviyeleri geçilmeyen sondaj kuyularından yeraltısı alınmamıştır (DSİ, 2018).

Çalışma alanının orta, doğu ve güney bölgelerine doğru Oligosen yaşlı birimlerin orta ve tabana yakın genelde marnlı seviyelerinin yüzeylemesi nedeniyle yeterli kalınlıkta ve kırık-çatlaklı seviyelerin geçilme oranlarına göre 1-5 l/s arasında değişen debilerde yeraltısını alınmaktadır. Oligosen yaşlı birimlerin yayılım alanı 426,85 km<sup>2</sup>'dir. Çalışma alanının güneydoğusunda Ekinveren, Dikmetaş, Kabağaç, Çatalçam, Hatunlu mahalleleri ve çevrelerinde Pliyokuvaterner birimleri yüzeyleyebilir. Çakıltaşı, kumtaşı gibi geçirimli-yarı geçirimli seviyeler içermekle beraber killi seviyelerde içerdiğinden homojen akifer özelliği göstermez. Geçirimli seviyelerin yeterli kalınlıkta olduğu alanlarda açılan sondaj kuyuları vasıtasıyla çok az miktarda da olsa yeraltısını alınmaktadır. Tarımsal sulama amaçlı şahıslar tarafından açılan 80-100 m derinlikteki kuyular vasıtasıyla kuyularda kat edilen geçirimli- yarı geçirimli birimlerin kalınlıkları ile orantılı olarak 0,5-1,5 l/s yeraltısını üretimi yapılmaktadır. Birimin yayılım alanı 69,96 km<sup>2</sup>'dir (DSİ, 2018).

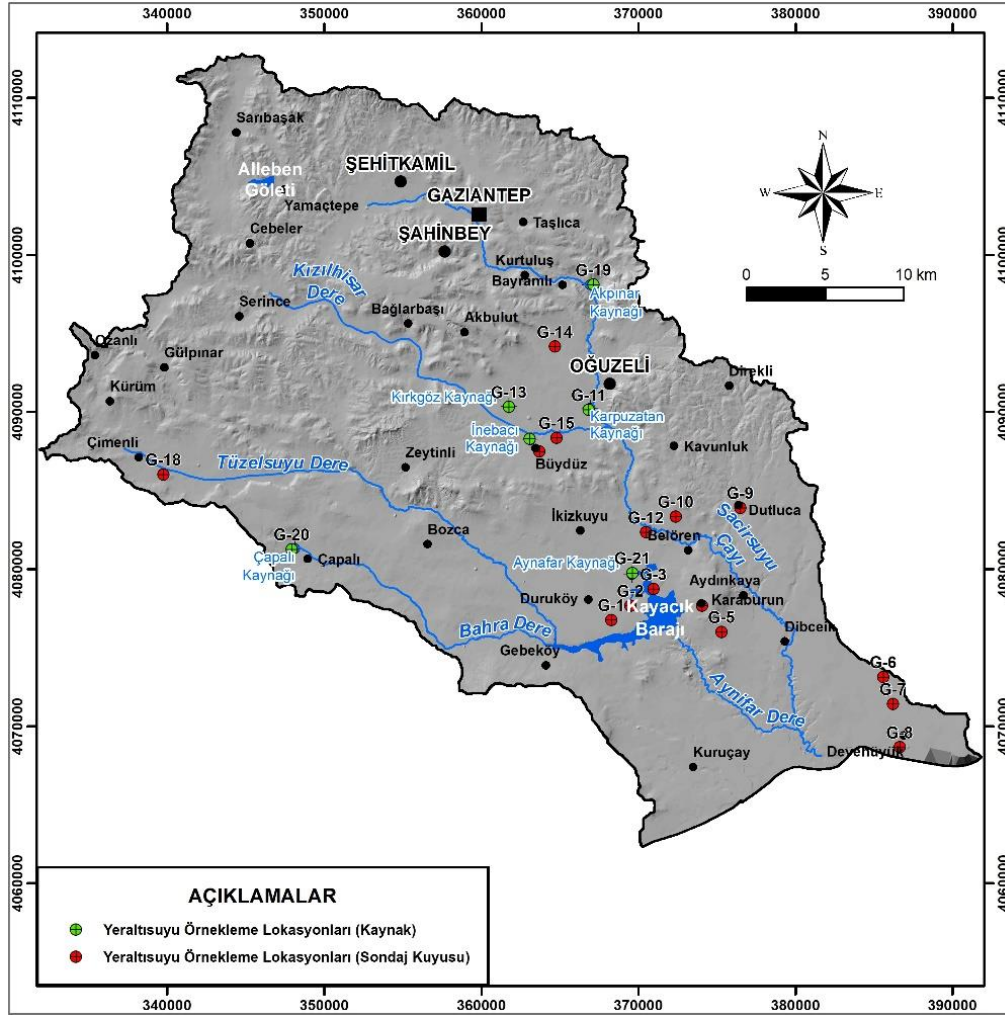
**Az geçirimli birim:** Çalışma alanında yüzeyleyen Miyosen-Pliyosen yaşlı bazalt ve çakıltaşı, kumtaşı, şeyl birimlerinden oluşan filiş birimleri "Az Geçirimli Birim" olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanının Akbulut, Bağlarbaşı mahalleleri, Küçük Karataş, Kara Taşlık çevreleri ile alt havzanın güney-güneybatısında Killik, Çatalsu, Törel, Çapalı mahalleleri ve Tüzel suyu ve Bahre dere vadisinde bazalt birimleri yüzeyleyebilir. Bazaltlar; oluşum esnasında kazandıkları gözenekli ve tektonik hareketler sonucunda oluşan kırıklı ve çatlaklı yapıları nedeniyle bilhassa, Tüzel suyu vadisinde kısmen akifer özelliği taşırlar. Yeterli kalınlıkta olduğu düşük topografyada 80-100 m arasında değişen derinliklerde açılan şahıs kuyularından tarımsal sulama amaçlı yeraltısını üretimi yapılır. DSİ tarafından alt havzada 1-132 m kalınlıkta Pliyokuvaterner birimlerinden sonra girilen 132-250 m'ler arasında 118 m bazaltta ilerlenen, bazaltlar içerisinde sonlandırılan sondaj kuyusunda 57,18 m düşümle 0,9 l/s yeraltısını alınmıştır. Çoğunlukla Tüzel suyu vadisinde 80-110 m arasında değişen derinliklerde şahıslar tarafından tarımsal sulama amaçlı açılan kuyular vasıtasıyla da geçilen bazaltların kalınlığı ve kırık-çatlak seviyelerinin oranlarına göre 0,5-2,5 l/s yeraltısını üretimi yapılmaktadır. Birimin yayılım alanı 134,51 km<sup>2</sup>'dir (DSİ, 2018).

Çalışma alanındaki sondaj kuyularında ölçülmüş yeraltısı seviyesi değerleri DSİ (2018)'den temin edilmiştir. Bölgede yeraltısı derinlikleri 1.05- 39 m arasında değişmekte olup yeraltısı statik seviyeleri ise 545 m ile 679 m arasında değişmektedir. Çalışma alanında yeraltısı eş potansiyel eğrilerine göre yeraltısı akımı genellikle kuzeybatıdan güney doğuya, Kayacık Baraj gölüne doğrudur (Şekil 3). DSİ (2018) tarafından yapılan çalışmada, Gaziantep alt havzasında yüzeyleyen jeolojik birimlerin yağışlardan beslenimi 180,74 hm<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Kaynaklardan gerçekleşen yeraltısı boşalımı 31,43 hm<sup>3</sup>/yıl; içme-kullanma-sanayi kullanımı için alınan yeraltısı miktarı 23,15 hm<sup>3</sup>/yıl; tarımsal sulama amaçlı sondaj kuyularından gerçekleşen yeraltısı boşalımı ise 106,29 hm<sup>3</sup>/yıl olarak belirlenmiştir. Beslenme ve boşalım farklı olarak belirlenen 19,87 hm<sup>3</sup>/yıl yeraltısının ise içe akış ile Suriye'ye boşaldığı belirtilmektedir.

#### 4.4. Hidrojeokimyasal Özellikler (Hydrogeochemical Properties)

Çalışma alanında yer alan yeraltısının kalitesi, kullanım koşulları, kökeni ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, Mayıs-2017 döneminde, 15 adet sondaj kuyusu ve 6 adet kaynaktan (Karpuzatan-G11, Kırkgöz-G13, Enebacı-G17, Akpınar-G19, Çapalı-G20, Aynafar-G21) su örnekleri alınarak analizler yaptırılmıştır (Şekil 4). Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel özeti Tablo 1'de verilmiştir. Örneklem sırasında Elmetron CX-401 ve YSI Professional Plus marka çok parametrelili taşınabilir su kalitesi ölçüm cihazları kullanılarak yerinde ölçümler yapılmıştır. Yeraltısı örneklerinin % iyon dağılım grafikleri Şekil 5'de verilmiştir. Yeraltısının hidrojeokimyasal özelliklerinin tanımlanmasında, genel kimyasal özellikler değerlendirilmiş ve Schoeller (1955), Piper (1944), Chadha (1999) ve Gibbs (1970) diyagramları kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Su örneklerinin kimyasal analizlerinin doğruluğunu kontrol etmek için hesaplanan yük denge hatası <% 5 olup kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Çalışma alanında yer alan yeraltısının kullanım amaçlarının

değerlendirilmesinde ise ulusal ve uluslararası standartların yanı sıra ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı kullanılmıştır.

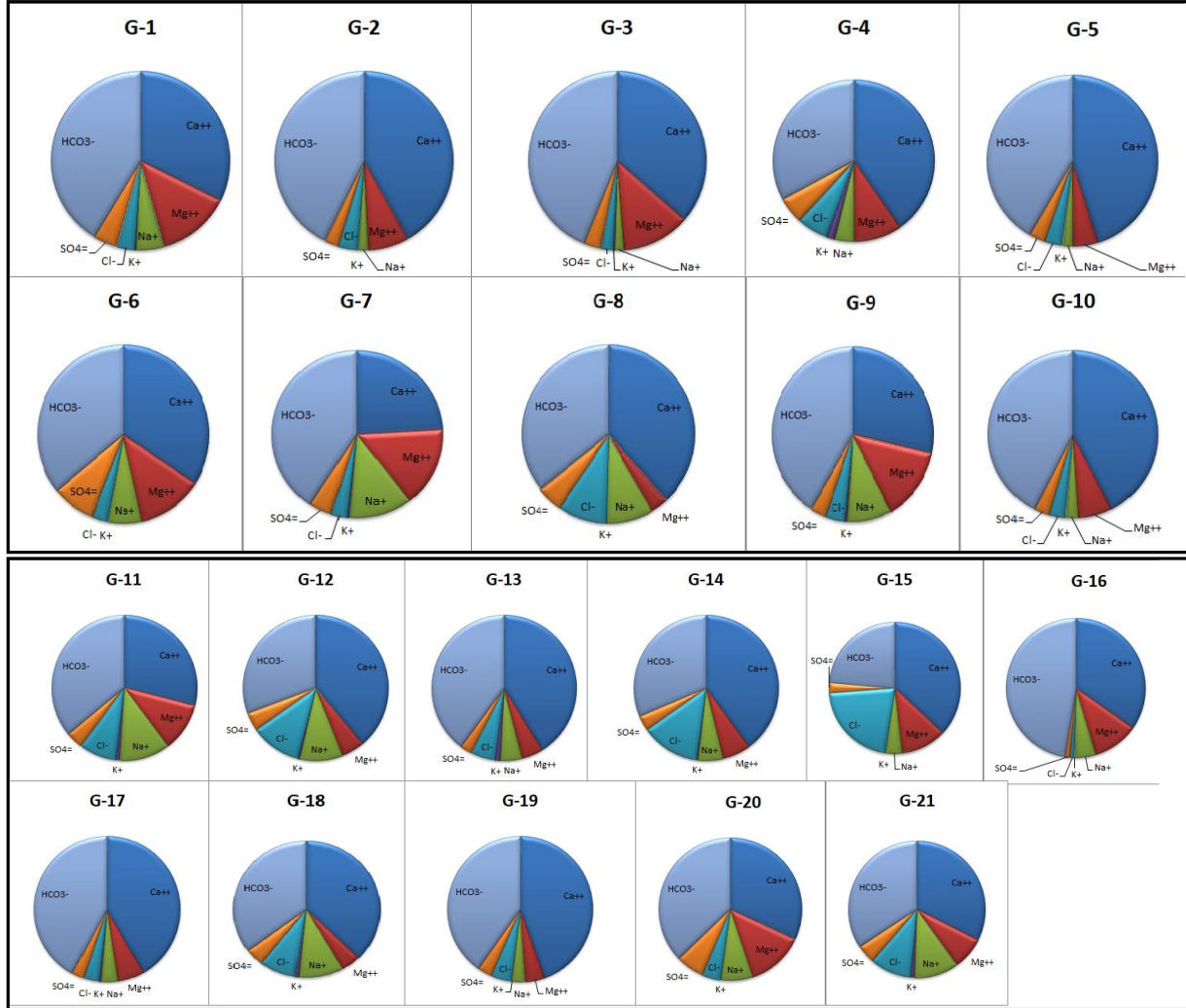


Şekil 4. Su örnekleri lokasyon haritası (Location map of the water samples)

Tablo 1. Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları (Chemical analysis results of water samples)

| Parametre        | Birim         | Örnek sayısı | Minimum | Maksimum | Ortalama | Standart Sapma | TS266 (2005) mg/l | WHO (2008) mg/l |
|------------------|---------------|--------------|---------|----------|----------|----------------|-------------------|-----------------|
| pH               |               | 21           | 7.13    | 8.20     | 7.57     | 0.32           | 6.5-9.5           | 6.5-8.5         |
| EC               | ( $\mu$ S/cm) | 21           | 405.00  | 1154.00  | 661.00   | 185.82         |                   |                 |
| TDS              | (mg/L)        | 21           | 234.33  | 692.40   | 393.45   | 111.18         |                   | 1000.00         |
| Na               | (mek/l)       | 21           | 0.14    | 1.72     | 0.80     | 0.51           | 200.00            | 200.00          |
| K                | (mek/l)       | 21           | 0.02    | 0.15     | 0.80     | 0.48           |                   |                 |
| Ca               | (mek/l)       | 21           | 2.19    | 8.13     | 4.65     | 1.39           |                   | 200.00          |
| Mg               | (mek/l)       | 21           | 0.37    | 2.46     | 1.09     | 0.54           |                   |                 |
| HCO <sub>3</sub> | (mek/l)       | 21           | 3.25    | 7.35     | 4.70     | 0.96           |                   |                 |
| Cl               | (mek/l)       | 21           | 0.15    | 4.71     | 0.92     | 1.05           | 250.00            | 250.00          |
| SO <sub>4</sub>  | (mek/l)       | 21           | 0.18    | 1.02     | 0.48     | 0.21           | 250.00            | 250.00          |
| NO <sub>2</sub>  | (mg/L)        | 21           | 0.23    | 1.99     | 1.65     | 0.71           | 0.50              | 3.00            |
| NO <sub>3</sub>  | (mg/L)        | 21           | 8.42    | 87.40    | 32.11    | 21.94          | 50.00             | 50.00           |
| Al               | ( $\mu$ g/l)  | 21           | 5.32    | 93.22    | 31.52    | 37.17          | 0.20              | 0.20            |
| Mn               | ( $\mu$ g/l)  | 21           | 6.34    | 35.31    | 20.93    | 13.19          | 0.05              | 0.4             |
| Cu               | ( $\mu$ g/l)  | 21           | 28.72   | 49.99    | 40.40    | 8.28           | 2.00              | 2.00            |
| Zn               | ( $\mu$ g/l)  | 21           | 20.72   | 38.14    | 28.32    | 6.85           | -                 | -               |
| Pb               | ( $\mu$ g/l)  | 21           | 1.32    | 4.53     | 2.95     | 1.32           | 0.01              | 0.01            |
| As               | ( $\mu$ g/l)  | 21           | 0.81    | 1.30     | 1.16     | 0.24           | 0.01              | 0.01            |
| Fe               | ( $\mu$ g/l)  | 21           | 94.97   | 919.40   | 314.60   | 341.91         | 0.20              | -               |
| Cr               | ( $\mu$ g/l)  | 21           | 1.09    | 3.76     | 2.41     | 1.27           | 0.05              | 0.05            |
| Ni               | ( $\mu$ g/l)  | 21           | 11.14   | 17.60    | 12.82    | 2.77           | 0.02              | 0.07            |

Çalışma alanındaki su örneklerinin pH değerleri 7.13 – 8.20 arasında olup genel olarak “Bazik karakterli” sular sınıfında yer almaktadır. Kaynak sularının pH değerleri ise 7.13 – 7.67 arasındadır ve bazik karakterli sulardır. Bu durum sulara bikarbonat iyonunun baskın olmasından kaynaklanmaktadır. Çalışma alanından alınan su örneklerinin özgül elektriksel iletkenlik değerleri yerinde ölçümler ile belirlenmiş olup 405–1154  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmektedir. Kaynak suları ise 452 – 844  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında EC değerine sahiptir. G12, G14, G15 ve G21 nolu su örneklerinde iyon bolluğuna bağlı olarak diğer örneklerden daha yüksek miktarlarda EC değeri ölçülmüştür. EC değerinin yüksek ölçüldüğü örneklerde kalsiyum, magnezyum ve nitrat miktarlarının diğer örneklere nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre kaya-su etkileşimi ile birlikte tarımsal kirliliğin de EC değerlerinin yüksek olmasında etkili olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 5. Yeraltısuyu örneklerinin % iyon dağılım grafikleri (Ion distribution graphs of groundwater samples)

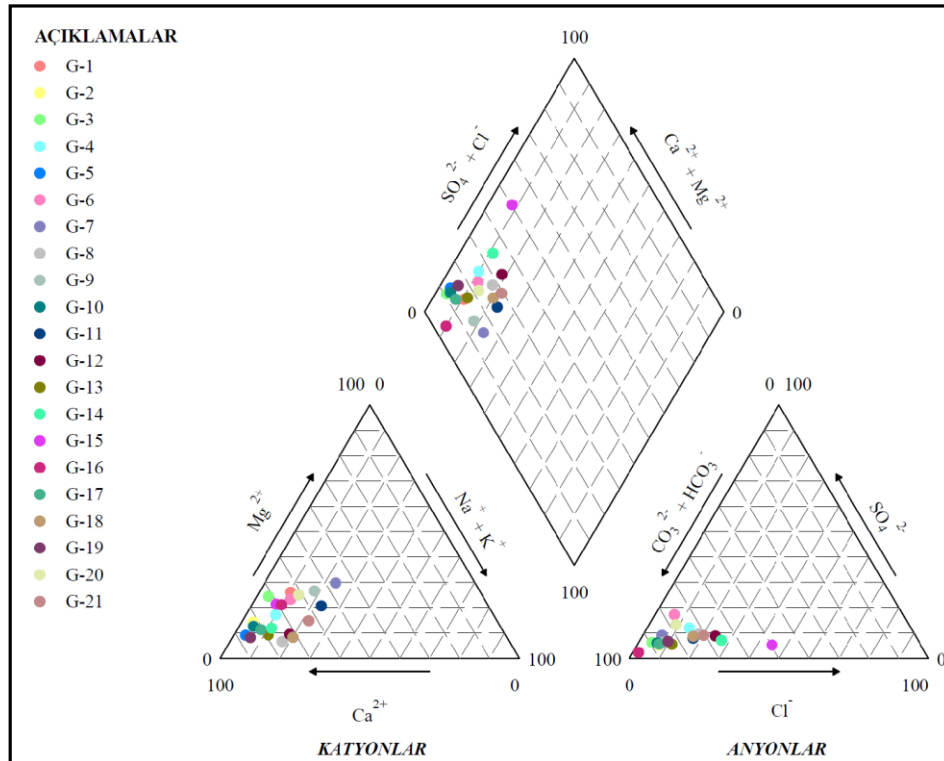
#### 4.5. Suların Hidrojeokimyasal Sınıflaması (Hydrogeochemical Classification of Waters)

Schoeller (1955) yapmış olduğu sınıflandırmada suları klorür, sülfat ve karbonat miktarlarına göre sınıflandırmıştır (Tablo 2). Schoeller (1955)'in yapmış olduğu sınıflamaya göre alınan su örneklerinin hepsi Klorür derişimi bakımından “olağan klorürlü sular” sınıfına, sülfat derişimi bakımından “olağan sülfatlı sular” sınıfında yer almaktadır. Karbonat-Bikarbonat derişimi bakımından ise G-16 nolu örnek “Hiperkarbonatlı Sular” sınıfında, diğer tüm örnekler ise “olağan karbonatlı sular” sınıfında yer almaktadır.

**Tablo 2.** Schoeller (1955) klorür, sülfat, karbonat-bikarbonat sınıflaması (Schoeller (1955) classification of chloride, sulfate, carbonate-bicarbonate)

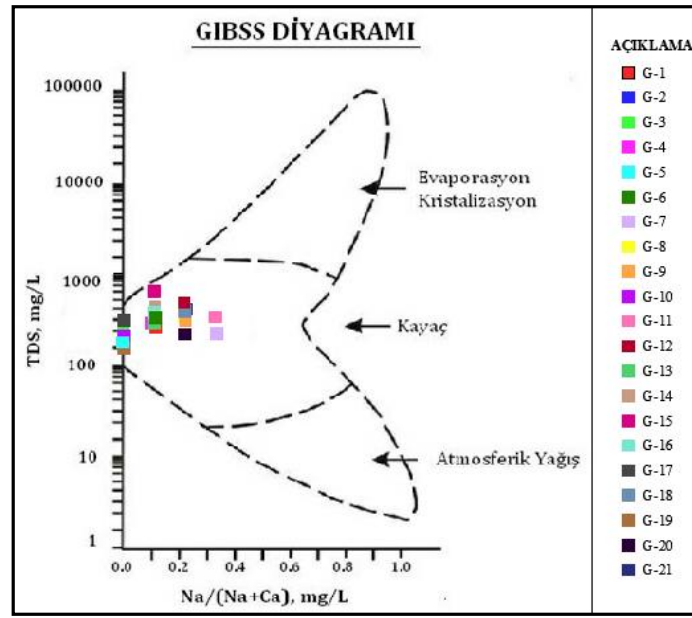
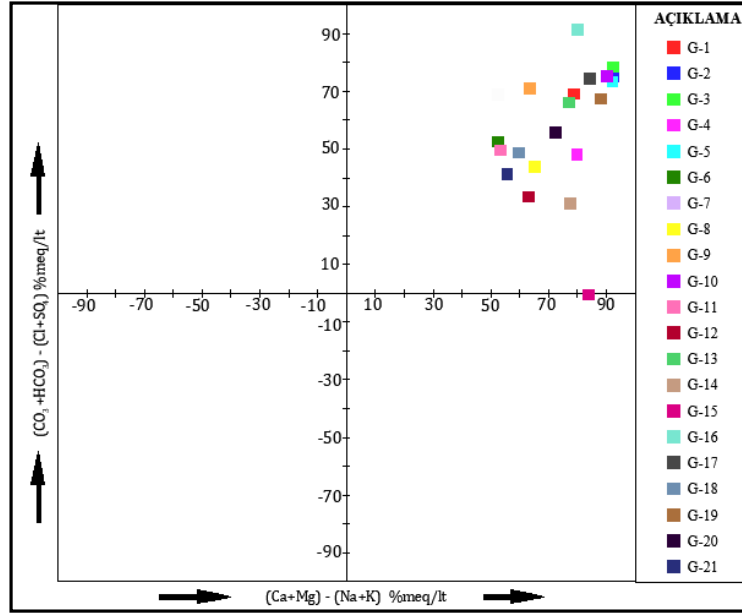
|  |                         |                                     |
|--|-------------------------|-------------------------------------|
| <b>Klorür Sınıflaması</b>              | Su sınıfı               | Klorür Miktarı (mek/l)              |
|  | Hiperklorürlü Sular     | > 700                               |
|  | Klorotalasik Sular      | 420-700                             |
|  | Klorürce Zengin Sular   | 140-420                             |
|  | Orta Klorürlü Sular     | 40-140                              |
|  | Oligoklorürlü Sular     | 15-40                               |
| <b>Sülfat Sınıflaması</b>              | Su sınıfı               | Sülfat Miktarı (mek/l)              |
|  | Hipsülfatlı Sular       | > 58                                |
|  | Sülfatlı Sular          | 24-58                               |
|  | Oligosülfatlı Sular     | 6-24                                |
| <b>Karbonat-Bikarbonat Sınıflaması</b> | Su sınıfı               | Karbonat+Bikarbonat Miktarı (mek/l) |
|  | Hiperkarbonatlı Sular   | > 7                                 |
|  | Olağan Karbonatlı Sular | 2-7                                 |
|  | Hipokarbonatlı Sular    | < 2                                 |

Çalışma alanındaki yeraltısuyu örneklerine ait analiz sonuçları Piper diyagramı üzerinde gösterilerek su örneklerinin hidrojeokimyasal fasiyesleri belirlenmiştir (Şekil 6). Piper (1944) diyagramı suların genel anyon-kasyon içeriğini dikkate alarak su fasiyeslerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yeraltısuyu örneklerinin genel olarak Ca-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Çalışma alanındaki su kaynakları genel olarak kireçtaşı ve dolomit gibi karbonatlı kayalar ile etkileşim halindedir ve baskın su tiplerinin söz konusu kayaç-su etkileşimi sonucunda geliştiği görülmektedir.

**Şekil 6.** Piper diyagramı (Piper diagram)

Ayrıca, su örneklerinin anyon ve kasyon değerleri Chadha Diyagramı (1999) üzerine yerleştirilerek suların hidrojeokimyasal özellikleri yorumlanmıştır (Şekil 7). Bu diyagram, Piper Diyagramının (1944) değiştirilmiş halidir. Farkı ise, iki eşkenar üçgenin çıkarılmış olmasıdır. Hazırlanan Chadha diyagramına göre, alınan tüm su örnekleri Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> su tipindedir. Su tipleri tamamen kaya-su etkileşiminin bir sonucu olup Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> su tipini havza içerisindeki kalkerli kayaların varlığı ile açıklamak mümkündür. Çalışma alanında belirlenen su tipinin hangi işlev ve/veya mekanizma sonucu değiştiğini belirleyebilmek için ise su örneklerinin iyonik oranları Gibss Diyagramı üzerine yerleştirilmiştir. Gibss Diyagramında, su örneklerinin tamamı "Kayaç Baskın" bölgesine

düşmektedir (Şekil 8). Bu da, su kimyasını kontrol eden ana mekanizmanın, kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması olduğunu göstermektedir.



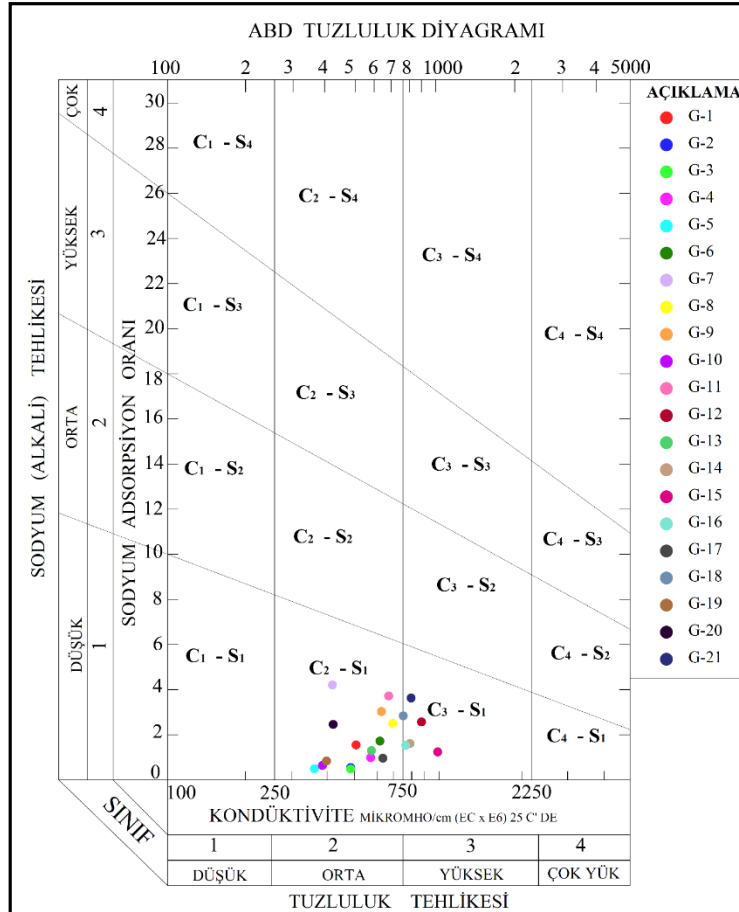
#### 4.6. Suların Kullanım ve Kalite Özellikleri (Usage and Quality Characteristics of Waters)

Çalışma alanından alınan su örneklerinin kullanım özelliklerinin değerlendirilmesinde öncelikle analiz sonuçları TSE-266 (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2008) tarafından belirtilen içme suyu limit değerleri ile karşılaştırılmıştır (Tablo 1). Buna göre, G11 ve G18 nolu su örnekleri Fe bakımından, G4, G12 ve G15 nolu su örnekleri ise NO<sub>3</sub> bakımından içme suyu limit değerlerin üzerinde olup içme suyu olarak kullanıma uygun değildir. Yüksek Fe değerinin ölçüldüğü su örnekleri alüvyon ve karstik akiferden beslenen Karpuzatan Kaynağı (G11) ve G18 nolu sondaj kuyusundan alınmış olup buldukları lokasyonlarda yüksek Fe içeriğine sebep olabilecek antropojen kökenli kirleticiler bulunmamaktadır. Bu durum, örneklerin kayaç-su etkileşimi sonucunda yüksek Fe konsantrasyonuna sahip olabileceği ihtimalini güçlendirmektedir. Su örneklerinde belirlenen nitrat artışlarının ise daha çok tarımsal faaliyetler ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Çalışma alanındaki sularının sulamada kullanılabilirliğini belirlemek için sular Sodyum Adsorbsiyon Oranlarına (SAR) ve Özgül Elektriksel İletkenlik (EC) değerlerine göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca, ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı kullanılarak suların sulamada kullanılabilirliği tartışılmıştır. Çalışma alanındaki yeraltısularının analiz

sonuçları kullanılarak hesaplanan SAR değerleri genel olarak 0.14 ile 1.34 arasında değişmekte olup 'çok iyi özellikte sulama suları' sınıfına girmektedir. Sular toplam tuz içeriğine göre ise 405-1154  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında ölçülmüş olan EC değerlerine göre 'orta-yüksek tuzlu sular' sınıfında yer almaktadır.

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'na göre yapılan sınıflamada su örneklerine ait SAR ve özgül elektriksel iletkenlik değerleri kullanılmıştır (Şekil 9). Buna göre, çalışma alanındaki su örneklerinin tümü 'C2S1 ve C3S1' sınıfındadır. Kaynak sularından ise sadece Aynafar kaynağı C3S1 sınıfında yer almaktadır. Bu sonuç çalışma alanı ve yakın çevresindeki suların genel anlamda orta-fazla tuzlu olup sodyuma karşı duyarlı bitkiler dışında kullanılabilir özellikte sular olduğunu göstermektedir.



Şekil 9. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (U.S. Salinity Laboratory Diagram)

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

Gaziantep ili içme suyu ihtiyacının karşılandığı yeraltısuları bölgedeki gözenekli ve karstik akifer birimler sağlanmaktadır. Ayrıca, kaynak suları da içme ve sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada çalışma alanındaki yeraltısuyu ve kaynak sularının iyon özellikleri ve kalitesi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, su örneklerinde belirlenen hakim iyonlar Ca, Mg ve  $\text{HCO}_3$ 'tür. Buna bağlı olarak baskın su tipinin Ca- $\text{HCO}_3$  ve Ca-Mg- $\text{HCO}_3$  olduğu belirlenmiştir. Gibbs Diyagramına göre, su örneklerinin tamamı "Kayaç Baskın" bölgesinde yer almaktadır ve kayaç-su etkileşiminin su kimyasının gelişiminde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Analiz sonuçları TSE-266 (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2008) tarafından belirtilen içme suyu limit değerleri ile karşılaştırıldığında örneklerin Fe ve  $\text{NO}_3$  parametreleri bakımından içme suyu olarak kullanıma uygun olmadığı belirlenmiştir. Sulara nitrat artışı ise daha çok tarımsal kirleticiler ile ilişkilidir. Sular sulama suyu kullanımı bakımından incelendiğinde ise genel olarak orta-yüksek tuzluluğa sahip sular sınıfında olduğu ve tarımsal sulamada kullanımında kısıtların olduğu görülmektedir. Genel olarak çalışma alanında su kaynaklarının kalitesini etkileyen ve kullanımlarını kısıtlayan tarımsal kirleticilerin kontrol altına alınması önerilmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 4895 YL1-17 kodlu (ID:4451) münferit araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, çalışmayı finansal olarak destekleyen SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na 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)

- Alan, E. 2017. Gaziantep İli Şehitkamil İlçesi Yeditepe Mahallesi İçme Suyu Şebeke Tasarımı (Master's thesis, İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), 83 s.
- Bozdağ, A., Göçmez, G. 2013. Evaluation of groundwater quality in the Cihanbeyli basin, Konya, Central Anatolia, Turkey, *Environmental Earth Sciences*, 69(3), 921-937.
- Bozdağ, A. 2017. Çumra (Konya) Ovasındaki Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Sulama Suyu Kalitesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 559-571.
- Bozdağ, A. 2016. Assessment of the hydrogeochemical characteristics of groundwater in two aquifer systems in Çumra Plain, Central Anatolia, *Environmental Earth Sciences*, 75(8), 674.
- Chadha, D.K., 1999. A Proposed New Diagram For Geochemical Classification of Natural Water sand Interpretation of Chemical Data. *Hydrogeology Journal*, 7, 431-439.
- Çiftçi, H. 2011. Investigation of feasibility for Gaziantep earthquake master plan. Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, 57 s.
- DSİ 2018. Gaziantep-Kilis Ovaları Hidrojeoloji Etüt Raporu Yapılması ve Yapıtılması İşi, DSİ 20. Bölge Müdürlüğü, Kahramanmaraş.
- Fırat Ersoy, A., Gültekin, F. 2013. DRASTIC-based methodology for assessing groundwater vulnerability in the Gümüşhacıköy and Merzifon basin (Amasya, Turkey). *Earth sciences research journal*, 17(1), 33-40.
- Gibbs, R., 1970. Mechanism Controlling World River Water Chemistry. *Science* 170,1088-1090.
- Jayaprakash, M., Giridharan, L., Venugopal, S., Krishna Kumar, S.P., Periyakali, P. 2008. Characterization and evaluation of the factors affecting the geochemistry of groundwater in Neyveli, Tamil Nadu, India. *Environmental Geology*, 54(4), 855-867.
- Kafadar, F. N., Saygıdeğer, S. 2010. Gaziantep ilinde organize sanayi bölgesi atık suları ile sulanan bazı tarım bitkilerinde kurşun (Pb) miktarlarının belirlenmesi. *Ekoloji*, 19(75), 41-48.
- MTA, 1996, 1:100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Urfa-N39 Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- MTA, 1997, 1:100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Gaziantep-N38 Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Piper, A.M. 1944. A Graphic Procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses, *American Geophysical Union Transactions* 25: 914-923.
- Schoeller, H., 1955. *GechemieDesEauxSouterranes*. ReviewInstitutieFranc. Petrole, Paris, 3-4.
- Srinivas, Y., Hudson Oliver, D., Stanley Raj, A., Chandrasekar, N. 2013. Evaluation of groundwater quality in and around Nagercoil town, Tamil Nadu, India: an integrated geochemical and GIS approach. *Applied Water Science*, 3, 631-651.
- Şener E, Şener Ş, Davraz A. 2009. Assessment of aquifer vulnerability based on GIS and DRASTIC methods: a case study of Senirkent-Uluborlu basin (Isparta,Turkey). *Hydrogeology Journal* 17: 2023-2035
- Şener, E., Davraz A. 2012. Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method: the case of Egirdir Lake basin (Isparta, Turkey), *Hydrogeology Journal*, DOI 10.1007/s10040-012-0947-y
- Şimşek, C., Gündüz, O. 2007. IWQ Index: A GIS-Integrated Technique to Assess Irrigation Water Quality, *Environmental Monitoring Assessment*, 128:277-300.
- TS-266, 2005. Sular - İnsani tüketim amaçlı sular, TS-266, Türk Standartları Enstitüsü, 25 s, Ankara.
- Vasanthavigar, M., Srinivasamoorthy, K., Vijayaragavan, K., Rajiv Ganthi R., Chidambaram S., Anandhan, P., Manivannan, R., Vasudevan, S., 2010. Application of water quality index for groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin, Tamilnadu, India, *Environmental Monitoring Assessment*, 171:595-609.
- WHO 2008. World Health Organisation Guidelines for Drinking-water Quality, Third Edition Incorporating the First and Second Addenda, WHO Publication, Geneva, 668 p. 2008.





## EMİRDAĞ-KARAAĞAÇ YERALTI SUYU POTANSİYELİNİN ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMLER İLE ARAŞTIRILMASI

Sedat YILMAZ<sup>1\*</sup>, Emine YILDIRIM<sup>2</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

| Anahtar Kelimeler   | Öz  |
|---|---|
| <i>Emirdağ,<br/>Yeraltı suyu,<br/>Özdirenç,<br/>DES,<br/>EÖT.</i> | Kayaçların gözenekliliği ve geçirgenliği gibi hidrojeoloji için önemli olan jeolojik oluşum özelliklerinin çoğu elektriksel iletkenlik ile ilişkilidir. Bu sebeple, jeofizik arama tekniklerinden elektrik özdirenç yöntemi yeraltı suyu araştırmaları için etkilidir. Özdirenç yöntemlerinden düşey elektrik sondajı (DES) yöntemi, su taşıyan oluşumun kalınlığını ve derinliğini belirlemek için kullanılmaktadır. Diğer bir özdirenç yöntem ise daha geniş alanlarda daha hızlı ve sağlıklı ölçüm almayı sağlayan çok-elektrotlu sistemleri kullanan elektrik özdirenç tomografidir (EÖT). Bu çalışmada, Afyonkarahisar-Emirdağ (Karaağaç) bölgesindeki muhtemel yeraltı suyu bulunduran akifer yapılar, DES ve EÖT yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. 7 istasyonda DES verilerinin ve 4 profilde EÖT verilerinin değerlendirilmesi ile, çalışma alanındaki muhtemel yeraltı suyu içeren akifer yapıların dağılımı belirlenmiştir. Yeraltı suyu sağlamada farklı derinliklerdeki çakıllı birimler ve kireçtaşı iyi akifer özellik göstermektedir. |

## INVESTIGATION OF EMİRDAĞ-KARAAĞAÇ UNDERGROUND WATER POTENTIAL WITH ELECTRICAL RESISTIVITY METHODS

| Keywords  | Abstract   |
|---|--|
| <i>Emirdağ,<br/>Groundwater,<br/>Resistivity,<br/>VES,<br/>ERT.</i> | Many of the geological formation properties important to hydrogeology, such as the porosity and permeability of rocks, are related to electrical conductivity. Therefore, one of the geophysical exploration techniques, the electrical resistivity method is effective for groundwater exploration. One of the resistivity methods, the vertical electrical sounding (VES) method is used to determine the thickness and depth of the water-bearing formation. Another resistivity method is electrical resistivity tomography (ERT), which uses multi-electrode systems that provide faster and more reliable measurements over larger areas. In this study, aquifer structures that contain possible groundwater in Afyonkarahisar-Emirdağ (Karaağaç) region were investigated using VES and ERT methods. By evaluating VES data in 7 stations and ERT data in 4 profiles, the distribution of aquifer structures containing possible groundwater in the study area was determined. Gravel units at different depths and limestone show good aquifer properties in providing groundwater. |

### Alıntı / Cite

Yılmaz, S., Yıldırım, E., (2021). Emirdağ-Karaağaç Yeraltı Suyu Potansiyelinin Elektrik Özdirenç Yöntemler İle Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1267-1275.

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process                    |
|--|--|
| S. Yılmaz, 0000-0002-9841-4900           | <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> 29.04.2021 |
| E. Yıldırım, 0000-0003-3654-6594         | <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b> 20.05.2021  |
|  | <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b> 02.08.2021     |
|  | <b>Yayın Tarihi / Published Date</b> 20.12.2021    |

\* İlgili yazar / Corresponding author: sedatyilmaz@sdu.edu.tr, +90-246-211-1349

## 1. Giriş (Introduction)

Göller ve nehirler gibi yüzey suları, kolay kirlenmeleri nedeniyle güvenli değildir. En güvenli su kaynağı olan yeraltı suyunun dünyadaki dağılımı da eşit değildir. Yeraltı suyu hakkında veri sağlamanın en doğrudan yöntemi, gözlem ve su sağlama kuyuları açmaktır, ancak bu işlemler pahalıdır ve bu yüzden çoğu zaman verimsizdir. Nispeten ucuz olan jeofizik yöntemlerin kullanılması, gerekli sondaj sayısını azaltarak ve onların konumlarını iyileştirerek, yeraltı suyu araştırmalarının maliyetini büyük ölçüde azaltabilmektedir. Bu sebeple, yeraltı suları ile ilgili olarak, nerede, ne kadarı var ve kalitesi gibi bazı temel soruların cevabını bulmada jeofizik yöntemler yardımcı olmaktadır (Fitterman ve Stewart, 1986).

Yeraltı suyu çalışmalarında jeofizik yöntemlerin kullanılmasının ana nedenleri, su sondajı açma risklerini azaltmak ve zayıf yeraltı suyu üretimiyle ilişkili maliyeti düşürmektir (Stampolidis vd., 2005; Kalisperi vd., 2009). Jeofizik yöntemler, genellikle zamandan ve maliyetten tasarruf sağladıkları için yeraltı suyu araştırmalarında başarıyla kullanılmıştır. Tüm jeofizik araştırmaların ve tabii ki yeraltı suyu araştırmalarının önemli bir kısmı, yeraltı jeolojik koşulları belirleme amacına yöneliktir. Jeofiziğin özellikle yer elektrik özdirenç yöntemi, genellikle yeraltı suyu aramaları için en umut verici ve en uygun yöntem olarak kabul edilir. Yeraltı suyu aramalarında jeofizik araştırmaların hedefi, yeraltı suyunun kendisi değil suyun var olduğu jeolojik durumdur (Anon, 1997). Bunlar arasında akiferlerin derinliği ve kalınlığının haritalanması, sınırlayıcı birimlerin haritalanması, çatlaklar ve fay bölgeleri gibi suyun geçiş yollarının bulunması ve tuzlu su girişinden kaynaklanan yeraltı suyunun kirlenmesinin haritalandırılması yer almaktadır (Anon, 1997).

Su içeren akiferlerin elektrik özdirenç büyük ölçüde değişebildiğinden ve mutlak özdirenç değerleri nadiren belirli bir litolojiye karşılık geldiğinden su arama genellikle dolaylı olarak yapılır. Bu, suyu doğrudan aramak yerine yer elektrik hedeflerin belirli litolojik kontrastları veya ortamları temsil eden uygun özdirenç yapıları olduğu anlamına gelmektedir. Örneğin, su akiferi olan alüvyondaki gözenekli çakıl bölgelerinin tespit edilmesi için, yüzeyden temel kayaya kadar olan bölümün haritalanması önemli bir araştırma sorunudur (Fitterman ve Stewart, 1986).

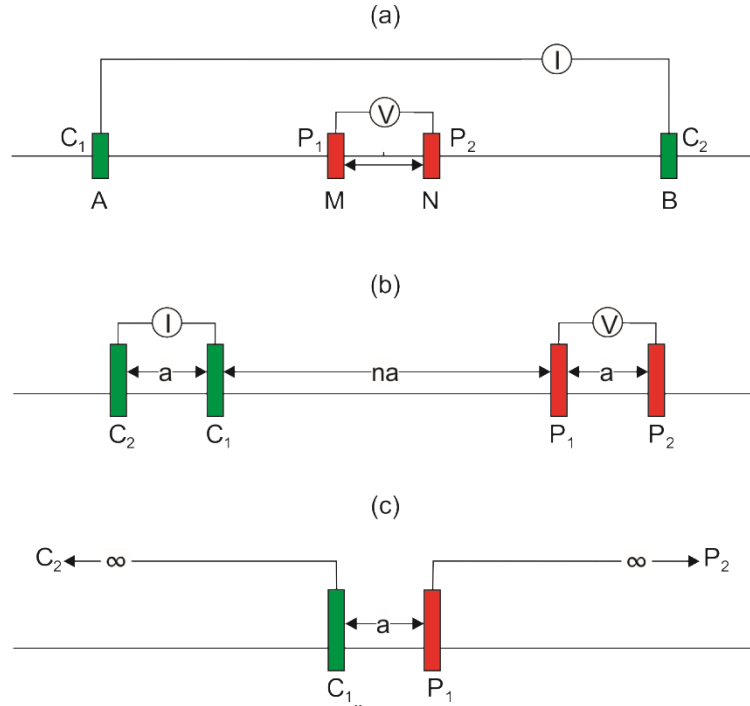
Düşey elektrik sondajı (DES) ve elektrik özdirenç tomografi (EÖT), yeraltı suyu araştırmalarında yaygın olarak kullanılan başlıca tamamlayıcı jeofizik yöntemlerdir. Bu yöntemler, temel katmanlarının tanımlanmasında ve çatlaklı ortamların ve tortul oluşumlardaki çatlaklar, kırıklar ve faylar gibi ilişkili akifer bölgelerinin konumlandırılmasında kullanılırlar. DES yönteminin saha uygulaması kolay ve verilerin analizi diğer yöntemlere kıyasla basittir (Zohdy vd., 1974; Stampolidis vd., 2005; Souplos vd., 2007; Kalisperi vd., 2009). DES araştırma tekniği, yeraltı suyu koşullarının incelenmesi, su taşıyan oluşumun kalınlığını ve derinliğini belirlemek için etkili bir şekilde kullanılmıştır (Shankar, 1994; Lashkaripour, 2003; Lashkaripour vd., 2005; Oseji vd., 2006; Sahu ve Sahoo, 2006). Elektrik özdirençin DES tekniği dışında, EÖT yöntemi, daha geniş alanlarda daha hızlı ve sağlıklı ölçüm almayı sağlamaktadır. Yöntemin teorisi, pratik uygulama ve yorumlama teknikleri açısından oldukça iyi bir şekilde oluşturulmuştur (örn. Barker 1981; Dahlin 1993; Loke ve Barker 1996a, b).

Afyonkarahisar-Emirdağ (Karaağaç), Ege Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesi arasında geçiş noktasında ve aynı zamanda Yukarı Sakarya kesiminde yer almaktadır. Emirdağ Ovası'nda bölgenin en önemli yüzey suyu olan Sakarya Nehri dışında çok sayıda mevsimlik dere bulunmaktadır. Bu dereler üzerindeki birkaç gölet Emirdağ ilçesinin içme suyu ihtiyacının bir bölümünü karşılamaktadır. Yüzey suları ihtiyacı karşılamadığından, yeraltı suyundan yararlanma için Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından bölgede su sondajları açmak için farklı projeler yürütülmüştür. Bu çalışmanın ana amacı, Emirdağ ilçesi Karaağaç köyü civarında muhtemel yeraltı suyu bulunduran jeolojik yapıların dağılımını belirlemektir. Bu amaçla DSİ 18. Bölge Müdürlüğü mühendisleri tarafından sağlanan saha verileri yeniden değerlendirilmiş ve elektrik özdirenç araştırma sonuçları yeraltı suyu açısından yorumlanmıştır.

## 2. Araştırma Yöntemleri (Research Methods)

DES, yeraltının yatay veya yaklaşık olarak yatay tabakalardan oluştuğu kabulü esasına dayanmaktadır. Bir DES araştırmasının sonucunda, yerin bir-boyutlu özdirenç dağılımı yani yatay konumlanmış tabakaların sayısı, kalınlıkları ve özdirençleri belirlenir. DES yönteminde yoğunlukla, pratik oluşu ve metodik avantajlarından dolayı, potansiyel elektrotlarının yakın aralıklarla yerleştirilip dizilimin merkezine sabitlendiği ve akım elektrotlarının dışarı doğru hareket ettirildiği simetrik Schlumberger elektrot dizilimi (Şekil 1a) kullanılır. Schlumberger DES verilerinin yorumunda genellikle ters çözüm algoritmalarından birisi kullanılır. Bu çalışmadaki saha DES eğrilerini değerlendirmek için IPI2Win (Moscow State University) yazılımı kullanılmıştır. Ancak bu yöntemde uygun başlangıç modellerini kurmak için, Zohdy tekniğinden (Zohdy, 1989) elde edilen çok-tabakalı çözüm modellerinden yararlanılmıştır. Ters çözüm işlemi sonucunda, yatay tabakalara ait özdirenç ve kalınlık parametreleri hesaplanmıştır.

EÖT, öz direncin düşey yönde ve ayrıca araştırma hattı boyunca yatay yönde değiştiği ancak araştırma hattına dik olan yönde öz direncin değişmediği varsayımına dayanmaktadır. EÖT, yeraltı karmaşık jeolojisinin yüksek çözünürlüklü iki- veya üç-boyutlu görüntüsünü sağlar (Griffiths ve Barker, 1993). EÖT araştırmaları, çoklu bir kabloya bağlı 25 veya daha fazla sayıda elektrotla yapılır. Dolayısıyla bu tür araştırmalar genellikle çok-elektrotlu sistemler kullanılarak gerçekleştirilir. Günümüzde, EÖT araştırmalarını gerçekleştirmek için saha teknikleri ve ekipmanlar oldukça fazla gelişmiştir. Bu çalışmada dipol-dipol (Şekil 1b) ve pol-pol (Şekil 1c) elektrot dizilimleri kullanılmıştır. Saha EÖT verilerinin değerlendirilmesinde Res2Dinv (Geotomo Software) yazılımı kullanılmıştır. Bu programda, yeraltının birçok dörtgen bloklara bölüdüğü iki-boyutlu model kullanılır. Ters çözüm algoritması, model yeraltı bloklarının öz direncini değiştirerek hesaplanan ve ölçülen görünür öz direnç değerleri arasındaki farkı en aza indirmeye çalışır. Bu farkın bir ölçüsü genellikle 3 ile 5 yinelemeden sonra karekök ortalama (RMS) hatasıyla verilir (Loke, 2020).



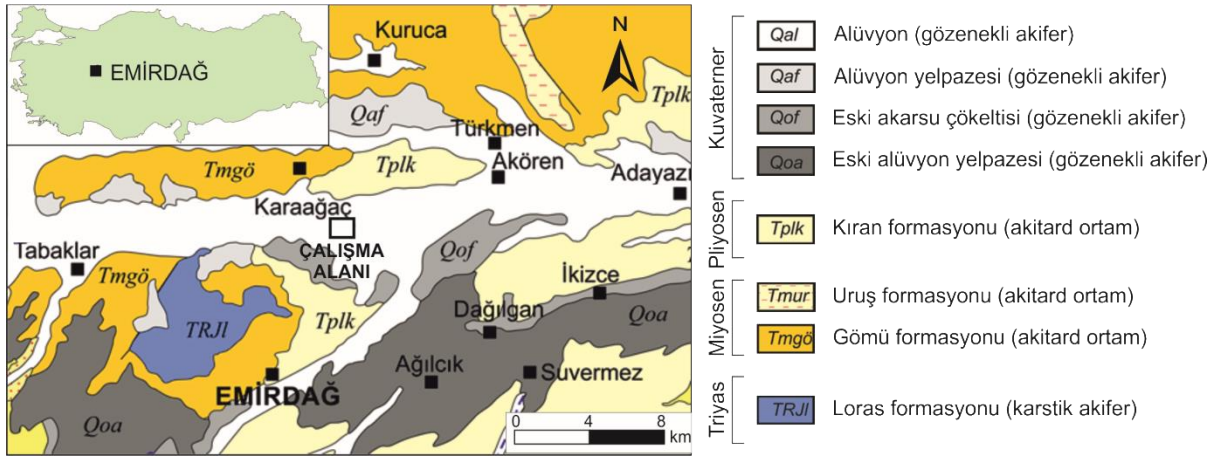
**Şekil 1.** DES ölçümleri için Schlumberger (a) ve EÖT ölçümleri için dipol-dipol (b) ve pol-pol (c) elektrot dizilimleri (Schlumberger electrode array (a) used for VES measurements, dipole-dipole (b) and pole-pole (c) electrode arrays for ERT measurements)

### 3. Çalışma Alanı Ve Jeolojisi (Study Area and Geology)

Çalışma alanını içinde bulunduran Emirdağ ilçesi, Ege Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesi arasında geçiş noktasındadır (Şekil 2). Topoğrafik olarak hemen hemen düz bir yapıya sahip olan yerleşim alanının kuzey ve doğusunda oldukça geniş ovalar ve güneyinde ise Emirdağı vardır.

Çalışma alanı çevresinin jeolojisi Şekil 2' de verilmektedir. Buradaki birimlere ait tanımlamalar Aksever (2019)'den özetlenmiştir. KB-GD yönünde uzanan Emirdağ ovasının büyük bölümü genç birim olan Kuvaterner yaşlı alüvyondan oluşmaktadır. Çalışma alanı temelini kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan Mesozoyik yaşlı Loras formasyonu oluşturmaktadır. Formasyon havzası Orta-Üst Triyas yaşlı dolomit ve kristalize kireçtaşları ile başlar. Birim, Orta Triyas-Üst Jura yaşlı, oolitik, algli kireçtaşları ve dolomitlerle yukarı doğru devam etmektedir. Formasyon Jura-Kretase yaşlı kristalize kireçtaşı ve çörtlü kristalize kireçtaşları ile sonlanmaktadır. Formasyon mikritik kireçtaşı, killi kireçtaşı, çamurtaşı, çört ve şeylden oluşur. Kumtaşı, kiltası ve konglomera gibi sağlam kayalardan oluşan Üst Miyosen yaşlı Gömü formasyonu, volkaniklerin üzerine uyumsuz olarak gelir. Kalker, marn, jips, kumtaşı, kiltası ve konglomeradan oluşan Uruş formasyonu, Gömü formasyonu ile geçişlidir. Baskın litolojinin çakıl taşlarından oluştuğu Kıran formasyonu, kumtaşı, kiltası, siltaşı ve killi kireçtaşı gibi sağlam kayalardan oluşur. Çalışma alanındaki gevşek çakıl, kil, kum, çamur gibi malzemelerin oluşturduğu Kuvaterner birimler, eski alüvyon yelpaze, eski akarsu çökelleri, alüvyon yelpazesi ve alüvyon olarak ayırt edilmektedir (Aksever, 2019).

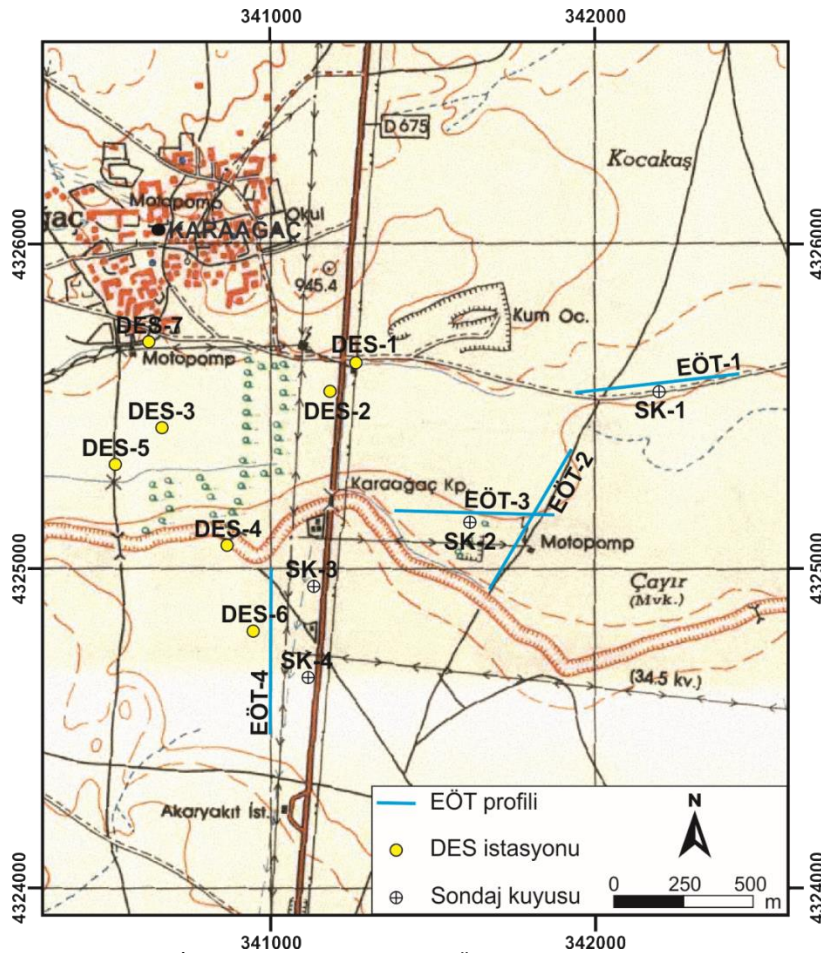
Çalışma alanında bulunan alüvyon, kireçtaşı, çakıltaşı seviyeleri su alınabilen akifer özelliği göstermektedir. Bölgede bulunan gösel çökeller alüvyon ile benzer özellik göstererek geçirimli birimleri oluşturmaktadır. Çalışma alanında bulunan kireçtaşı birimleri karstik geçirimli birimlerdir ancak, bölgede bulunan marn geçirimsizliği sınırlamıştır. Yeraltı suyu çakıltaşı ve kireçtaşı birimlerinden alınmaktadır (Aksever, 2019).



Şekil 2. Emirdağ'ın coğrafik konumu ve çalışma alanı çevresinin jeoloji haritası (Aksever, 2019'dan değiştirildi) (Geographical location of Emirdağ and geological map of the study area environment (modified from Aksever, 2019))

#### 4. Saha Ölçümleri ve Değerlendirme (Field Measurements and Evaluation)

Bu araştırma kapsamında, Emirdağ ilçesi Karaağaç köyünde 7 noktada DES ölçümü ve 4 profilde EÖT ölçümü ve 4 lokasyonda açılmış sondajlar kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. İnceleme alanındaki DES, EÖT ve sondaj yerlerini gösterir harita (Map showing VES, ERT and drilling locations in the study area)

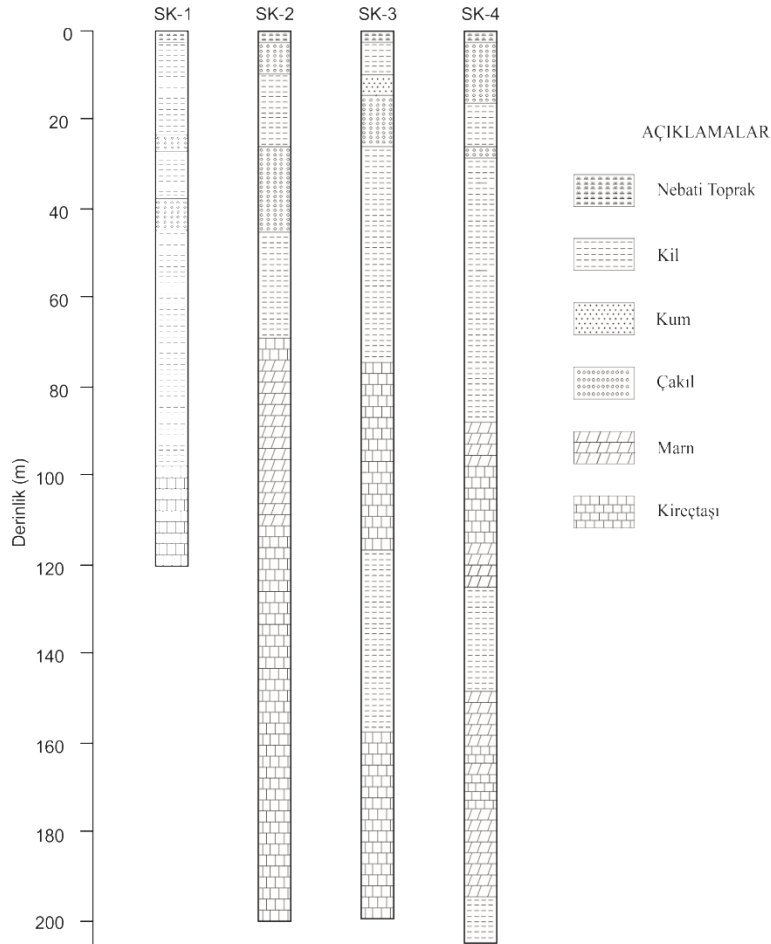
Sondajlara ait litolojik bilgiler (Şekil 4) şöyledir. SK-1 sondajı 120 m derinliğinde olup, 2 m kalınlığında yüzey toprağı altında 23 m derinliğe kadar kil tabakası (10 m'lik kısmı az siltli çakıllı ve kalan kısmı ise çakıllı) vardır. Bu tabakanın altında 3 m kalınlığında çakıl tabakası ve altında 37 m derinliğe kadar uzanan kil tabakası gözlenmiştir. Bu derinlikten sonra 6 m kalınlığında bir çakıl (killi kumlu) tabakası altında 98 m derinliğine kadar kil tabakası (53 m derinliğe kadar olan kısmı az çakıllı, geri kalan kısmı ise yer yer az çakıllı) vardır. Bu tabakanın altında 120

m derinliğe kadar kireçtaşı tabakası görülmektedir. Yeraltı suyu seviyesi 35,39 m derinliğindedir (kuyu geliştirme sonunda 59.2 m) ve çakıllı kil ve killi kumlu çakıl sınırına karşılık gelmektedir.

SK-2 sondajı 200 m derinliğinde olup, 2 m kalınlığında yüzey toprağı altında 10 m derinliğe kadar kumlu çakıl tabakası vardır. Bu tabakanın altında 26 m derinliğe kadar kil tabakası ve onun altında 44 m derinliğe kadar uzanan killi çakıl tabakası gözlenmiştir. Bu derinlikten 68 m derinliğine kadar kil tabakası (yer yer az çakıllı) mevcuttur. Bu tabakanın altında 4 m kalınlığında kireçtaşı tabakası altında ise 112 m derinliğine kadar uzanan marn tabakası (83 m derinliğine kadar olan kısmı kireçtaşı bantlı) vardır. Bu tabakanın altında 200 m derinliğe kadar kireçtaşı tabakası (son 20 m olan kısmı marn ardalanmalı) görülmektedir. Yeraltı suyu seviyesi 35,12 m derinliğindedir (kuyu geliştirme sonunda 58.3 m) ve killi çakıl tabakasına karşılık gelmektedir.

SK-3 sondajı 200 m derinliğinde olup, 2 m kalınlığında yüzey toprağı altında 3 m kalınlığında kil altında 14 m derinliğe kadar uzanan kum tabakası (üstte 3 m'lik kısmı az çakıllı, geri kalanı killi) vardır. Bu tabakanın altında 26 m derinliğe kadar çakıl tabakası (kireçtaşı, kuvars, volkanik elemanlı) altında 75 m derinliğe kadar uzanan kil tabakası (yer yer kireçtaşı, kiltası ardalanmalı) gözlenmiştir. Bu derinlikten 117 m derinliğine kadar kireçtaşı tabakası mevcuttur. Bu tabakanın altında 158 m derinliğe kadar yer yer kireçtaşı bantlı kil tabakası vardır. Bu tabakanın altında 200 m derinliğe kadar kireçtaşı tabakası (2 m kalınlığında marn bantlı) görülmektedir. Yeraltı suyu seviyesi 27,1 m derinliğindedir (kuyu geliştirme sonunda 73.8 m) ve çakıl-kil sınırına karşılık gelmektedir.

SK-4 sondajı 200 m derinliğinde olup, 2 m kalınlığında yüzey toprağı altında 14 m kalınlığında çakıl tabakası altında 84 m derinliğe kadar uzanan kil tabakası vardır. Bu tabaka, 24 m derinliğe kadar çakıllı veya az çakıllı olup, 24-26 m derinlik aralığında killi çakıl tabakasından sonra 84 m derinliğe kadar çakıllı, az çakıllı, yer yer çakıllıdır. Bu tabakanın altında 124 m derinliğe kadar marn-kireçtaşı ardalanması gözlenmiştir. Bu derinlikten sonra kil tabakası 147 m derinliğine kadar uzanmaktadır. Bu tabakanın altında 194 m derinliğe kadar yine marn-kireçtaşı ardalanması gözlenmiştir. Onun altında ise 204 m derinliğe kadar kil tabakası görülmektedir. Yeraltı suyu seviyesi 37,5 m derinliğindedir (kuyu geliştirme sonunda 82.1 m) ve çakıllı kil tabakasına karşılık gelmektedir.

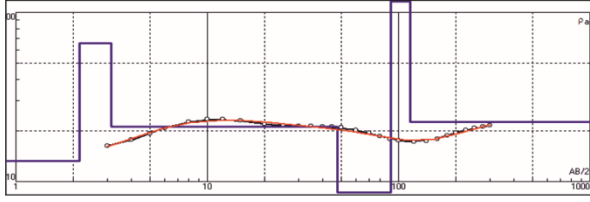


Şekil 4. Sondajlara ait litolojik bilgiler (Lithological information of the drillings)

Şekil 5, saha DES verilerinin değerlendirme sonuçlarını ve bir-boyutlu yer modellerine ait sayısal bilgileri göstermektedir. DES verileri için en büyük AB/2 değerleri, DES-1 için 350 m, DES-2, DES-6 ve DES-7 için 250 m,

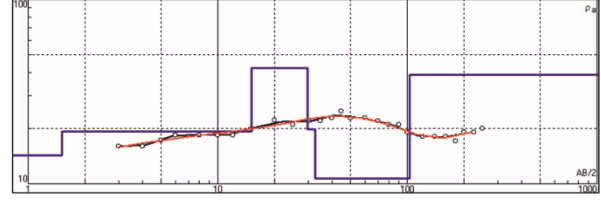
DES-3 ve DES-5 için 275 m ve DES-4 için ise 300 m'dir. Burada siyah çizgi ile birleştirilmiş içi boş daireler saha verilerini, kırmızı renkli eğriler modelden elde edilen sentetik verileri göstermektedir. Tabakalı yer modelleri ise mavi renkli düz çizgilerden oluşmaktadır. Modellere ait sayısal bilgiler ( $\rho$ : tabaka öz direnci, h: tabaka kalınlığı) şekillerin altında verilmiştir.

DES-1



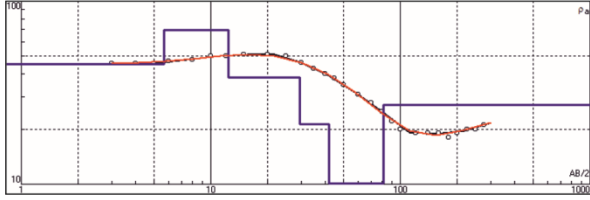
|        |     |    |      |      |      |    |
|--------|-----|----|------|------|------|----|
| $\rho$ | 13  | 66 | 21   | 8    | 130  | 23 |
| h      | 2.1 | 1  | 44.5 | 43.8 | 22.9 |    |

DES-2



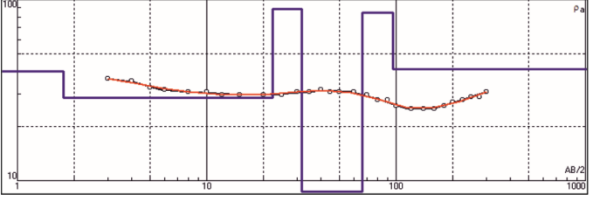
|        |     |      |      |     |      |    |
|--------|-----|------|------|-----|------|----|
| $\rho$ | 14  | 19   | 42   | 20  | 11   | 39 |
| h      | 1.5 | 13.5 | 14.7 | 2.8 | 70.3 |    |

DES-3



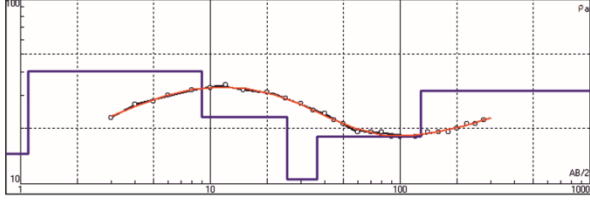
|        |     |     |      |      |      |    |
|--------|-----|-----|------|------|------|----|
| $\rho$ | 45  | 69  | 38   | 21   | 10   | 27 |
| h      | 5.7 | 6.7 | 17.2 | 12.3 | 39.4 |    |

DES-4



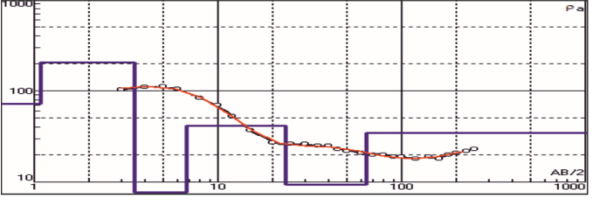
|        |     |      |     |      |      |    |
|--------|-----|------|-----|------|------|----|
| $\rho$ | 40  | 29   | 88  | 9    | 84   | 41 |
| h      | 1.7 | 20.4 | 9.5 | 34.7 | 30.1 |    |

DES-5



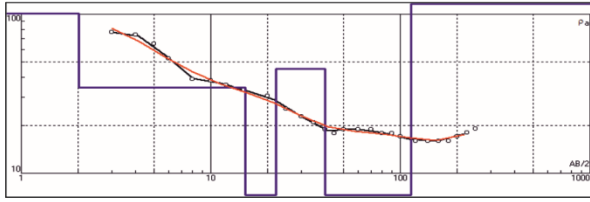
|        |     |     |      |      |      |    |
|--------|-----|-----|------|------|------|----|
| $\rho$ | 14  | 41  | 23   | 10   | 18   | 32 |
| h      | 1.1 | 7.9 | 16.3 | 11.3 | 91.6 |    |

DES-6



|        |    |     |     |    |    |    |
|--------|----|-----|-----|----|----|----|
| $\rho$ | 72 | 204 | 7   | 41 | 9  | 35 |
| h      | 1  | 2.4 | 3.3 | 17 | 41 |    |

DES-7



|        |     |      |     |    |      |     |
|--------|-----|------|-----|----|------|-----|
| $\rho$ | 101 | 34   | 5   | 45 | 7    | 423 |
| h      | 2   | 13.2 | 6.8 | 18 | 73.9 |     |

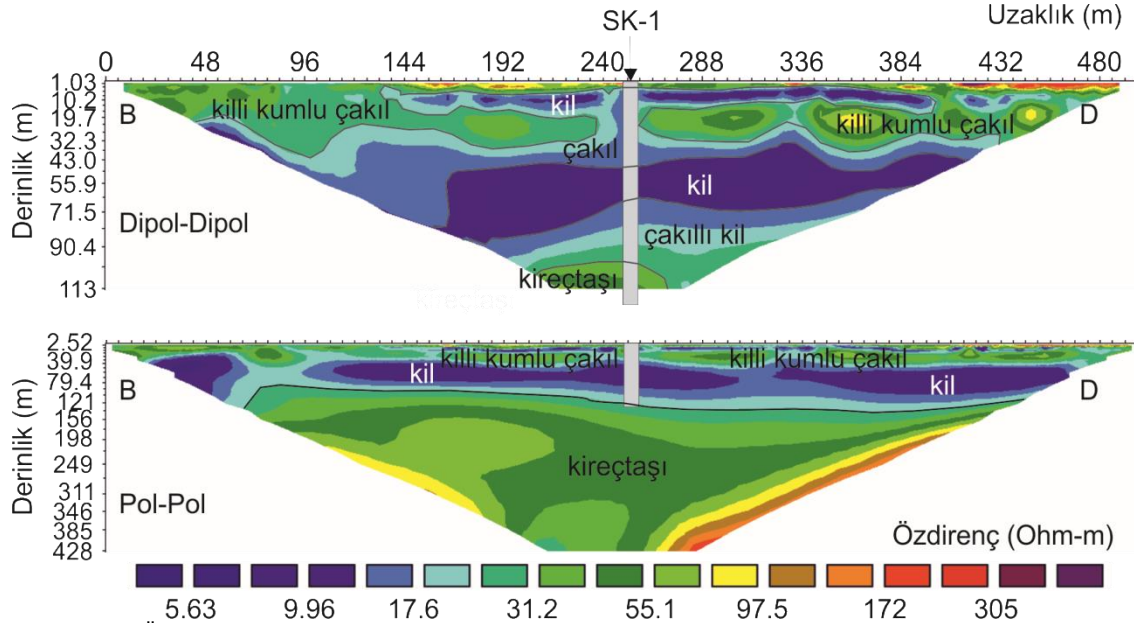
—○— Ölçülen veri  
 — Tabaka modeli  
 — Sentetik veri

**Şekil 5.** DES verilerinin değerlendirme sonuçları, Burada,  $\rho$ , tabaka öz direncini, h ise kalınlığı ifade etmektedir (Evaluation results of DES data. Here,  $\rho$  represents the layer resistivity and h represents the layer thickness)

Şekil 6-9, EÖT verilerinin değerlendirme sonuçlarını göstermektedir. EÖT-1 ve EÖT-2 profillerinde saha ölçümleri hem dipol-dipol hem de pol-pol elektrot dizilimlerine göre yapılmıştır. EÖT-3 ve EÖT-4 profillerinde ise saha ölçümleri sadece dipol-dipol elektrot dizilimine göredir. Dizilimlerdeki birim elektrot aralığı 6 m'dir ve 84 elektrotlu çoklu-kablo öz direnç sistemi için profil uzunlukları  $83 \times 6 = 498$  m'dir. EÖT kesitlerinde en yüksek derinlik, dipol-dipol için 113 m ve pol-pol dizilimi için 428 m'dir. Tüm saha verilerinin ters çözümleri, 3-7 iterasyon aralığında ve %1.37 ile %14.20 karekök ortalama (RMS) hata ile gerçekleşmiştir. Ters çözüm modellerinde hesaplanan öz dirençler  $2.89 \Omega\text{m}$  ile  $1083.70 \Omega\text{m}$  arasında değişmektedir. Ancak, EÖT kesitlerinin birbiriyile karşılaştırmasını yapmak amacıyla aynı öz direnç aralıklarında çizilmiştir.

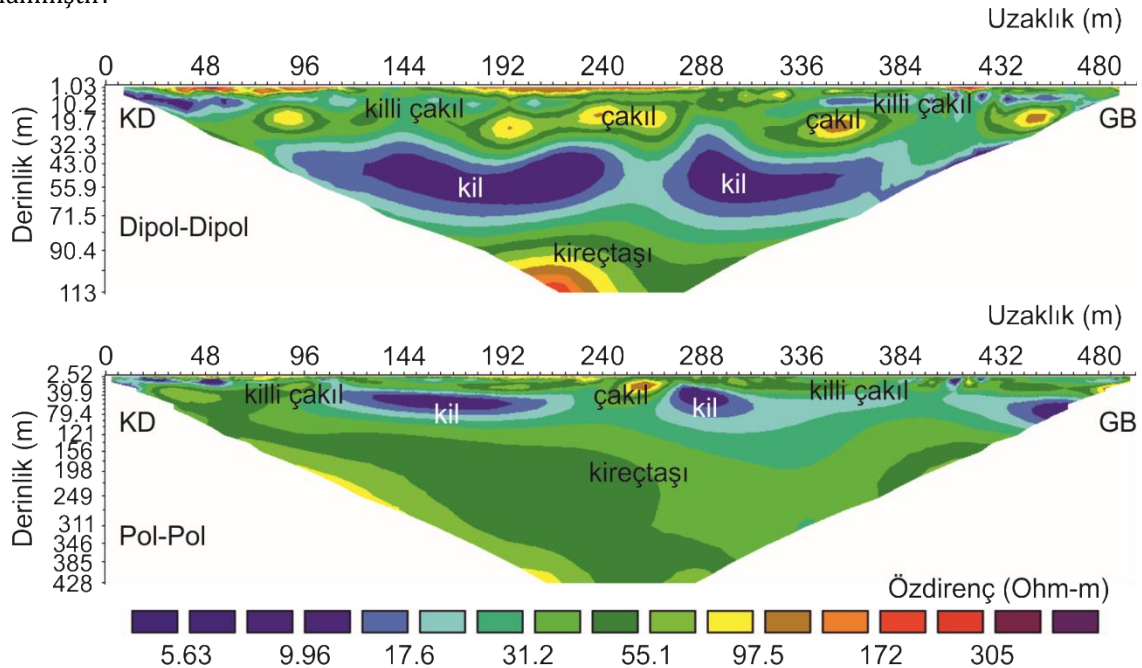
EÖT-1 profiline ilişkin EÖT kesitleri Şekil 6'da görülmektedir. Dipol-dipol EÖT kesiti, 4 iterasyon ve %10.73 RMS hatası ile elde edilmiştir. Öz direnç ters çözüm modelinde en düşük öz direnç  $2.89 \Omega\text{m}$  ve en yüksek öz direnç ise  $808,16 \Omega\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Pol-pol EÖT kesiti ise, 4 iterasyon ve %2.69 RMS hatası ile elde edilmiştir. Öz direnç ters çözüm modelinde en düşük öz direnç  $6.22 \Omega\text{m}$  ve en yüksek öz direnç ise  $302,53 \Omega\text{m}$  olarak

hesaplanmıştır. B-D doğrultulu EÖT-1 kesitine göre; yüzeyin altında sarı-kırmızı renkli bölgeler kil, kum, çakıl istifine, altında sarı-yeşil renkli bölgeler çakıl ve yer yer çakıllı kile, onun altında yaklaşık 90 m derinliğe kadar uzanan geniş bir alanı kapsayan mavi renkli bölge kil tabakasına, onun altında ince bir çakıllı kil tabakasına ve kesitlerde en alttaki yeşil-kırmızı bölge kireçtaşı karşılık gelmektedir. SK-1 sondajına göre yeraltı suyu çakıllı birimlerden ve kireçtaşından gelmektedir. Dolayısıyla, bu kesitte gözlenen çakıllı birimler ve özellikle kireçtaşı, yeraltı suyu sağlamada iyi bir akifer özelliğe sahiptir.



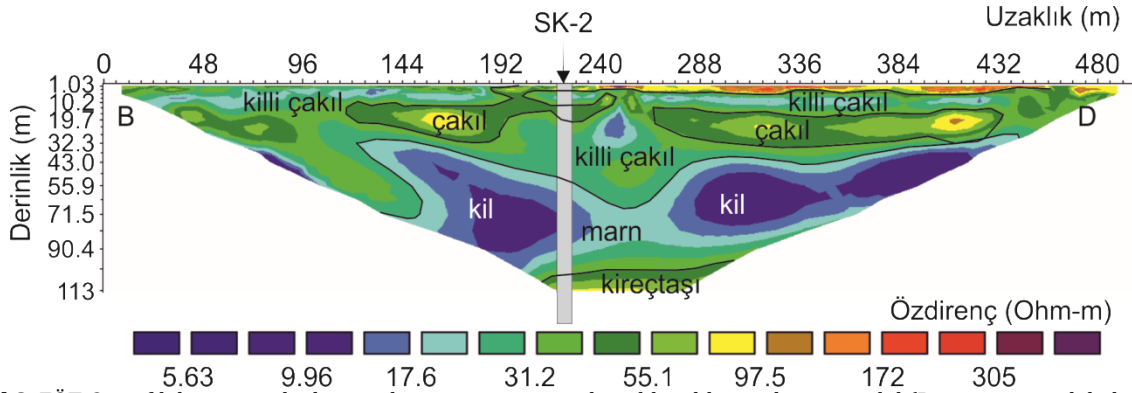
**Şekil 6.** EÖT-1 profili boyunca ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen özdirenç modeller (Kesitlerin düşey eksen derinliklerinin farklı olduğuna dikkat ediniz) (Resistivity models obtained from the inversion of the data measured along the ERT-1 profile (Note that the vertical axis depths in the sections are different))

EÖT-2 profiline ilişkin EÖT kesitleri Şekil 7’de görülmektedir. Dipol-dipol EÖT kesiti, 3 iterasyon ve %14.20 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç 5.99  $\Omega$ m ve en yüksek özdirenç ise 1083,70  $\Omega$ m olarak hesaplanmıştır. Pol-pol EÖT kesiti ise, 7 iterasyon ve %1.75 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç 3.09  $\Omega$ m ve en yüksek özdirenç ise 202,35  $\Omega$ m olarak hesaplanmıştır.



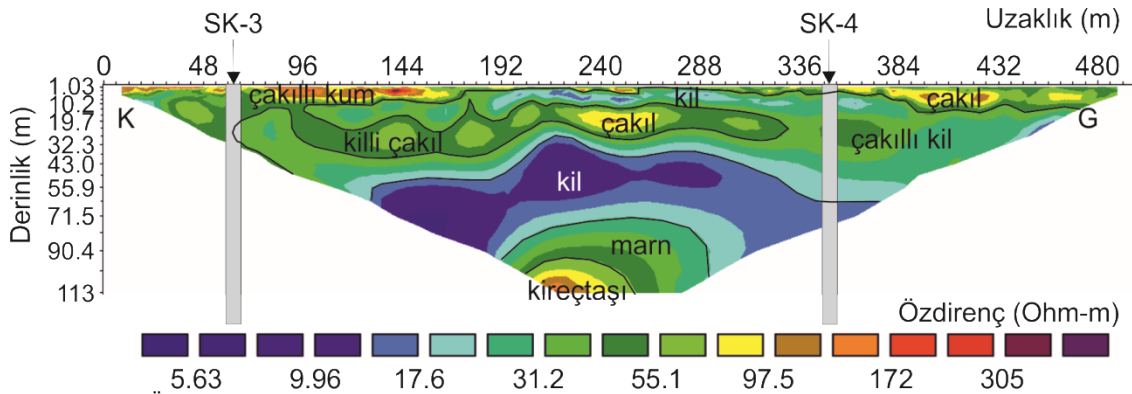
**Şekil 7.** EÖT-2 profili boyunca ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen özdirenç modeller (Kesitlerin düşey eksen derinliklerinin farklı olduğuna dikkat ediniz) (Resistivity models obtained from the inversion of the data measured along the ERT-2 profile (Note that the vertical axis depths in the sections are different))

EÖT-3 profiline ilişkin EÖT kesiti Şekil 8'de görülmektedir. Ters çözüm modeli, 5 iterasyon ve %4.96 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç 4.49  $\Omega\text{m}$  ve en yüksek özdirenç ise 896  $\Omega\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. B-D doğrultulu EÖT-3 kesitine göre; yüzeyin altında sarı-kırmızı renkli bölge çakıl, kil istifine, kesitin sol ve sağ bölümlerinde yüzeye yakın sarı-yeşil renkli bölgeler killi çakıla, onun altında mercer şeklinde yeşil renkli bölgeler çakıl tabakasına, onun altında 70 m derinliğe kadar uzanan mavi-yeşil renkli bölge killi çakıl tabakasına, kesitin orta kısmında mercer şeklindeki mavi renkli bölgeler kil tabakasına ve onun altında kesitlerde en altta gözlenen yeşil bölge marn-kireçtaşı araldanmasına karşılık gelmektedir. SK-2 sondajına göre yeraltı suyu çakıllı birimlerden ve kireçtaşından gelmektedir. Dolayısıyla, bu kesitte gözlenen çakıllı birimler ve özellikle kireçtaşı, yeraltı suyu sağlamada iyi bir akifer özelliğe sahiptir.



Şekil 8. EÖT-3 profili boyunca ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen özdirenç model (Resistivity model obtained from the inversion of the data measured along the ERT-3 profile)

EÖT-4 profiline ilişkin EÖT kesiti Şekil 9'da görülmektedir. Ters çözüm modeli, 3 iterasyon ve %12.06 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç 6.65  $\Omega\text{m}$  ve en yüksek özdirenç ise 423.91  $\Omega\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. K-G doğrultulu EÖT-4 kesitine göre; yüzeyin altında sarı-kırmızı renkli bölgeler kum, çakıl, kil istifine, altında geniş bir alanı kapsayan mavi-yeşil renkli bölgeler kil ve yer yer çakıllı kile, kesitin orta bölgesinde yeşil-sarı bölgeler çakıl ve killi çakıl tabakasına, altında yaklaşık 85 m derinliğe kadar uzanan mavi renkli bölge kalın bir kil tabakasına ve kesitlerde en alttaki yeşil-kırmızı bölge kireçtaşına karşılık gelmektedir. SK-3 ve SK-4 sondajlarına göre yeraltı suyu çakıllı birimlerden ve marn-kireçtaşından gelmektedir. Dolayısıyla, bu kesitte gözlenen çakıllı birimler ve özellikle kireçtaşı, yeraltı suyu sağlamada iyi bir akifer özelliğe sahiptir.



Şekil 9. EÖT-4 profili boyunca ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen özdirenç model (Resistivity model obtained from the inversion of the data measured along the ERT-4 profile)

#### 4. Sonuç ve Öneriler (Conclusions and Recommendations)

Saha DES ve EÖT araştırma sonuçları, sondajlardan elde edilen litolojik bilgiler ışığında yorumlanmıştır. DES verilerinden, 20  $\Omega\text{m}$  özdirençine kadar olan birimin kil tabakasına, 20-50  $\Omega\text{m}$  aralığının killi kumlu çakıllı birimlere karşılık geldiği ve bunların yeraltı suyu bulundurmada birlikte daha derindeki kireçtaşı birimlerinin (özdirenç  $>50 \Omega\text{m}$ ) akifer özellikte olduğu açıktır. Sondajlardan statik yeraltı suyu seviyesi 27-38 m derinlik aralığında yer alan çakıl-kil tabakaları sınırına karşılık gelmektedir. Kuyu geliştirme sonunda dinamik su seviyesi 74-82 m derinliklerinde ve dolayısıyla kireçtaşı birimlerine karşılık gelmektedir.

Pol-pol EÖT kesitleri dipol-dipol kesitlerine göre daha derinden bilgi sağladı ve dolayısıyla derin akifer oluşturabilecek jeolojik yapılar gözlenmiş oldu. Dipol-dipol kesitlerinde orta bölgede yaklaşık 30 m ile 85 m derinlik aralığında gözlenen düşük özdirençli bölge (kil tabakası), pol-pol kesitlerinde de açıkça görülmüştür. Pol-



pol kesitlerinde bu derinlikten sonra nispeten daha yüksek özdirençli akifer özellikteki kireçtaşı gözlenmiştir. B-D doğrultulu EÖT-1 kesitine göre, yüzeyden derine doğru kil, kum, çakıl ar dalanması yaklaşık olarak 90 m derinliğe kadar uzanmakta olup, altında kireçtaşı bulunmaktadır. B-D doğrultulu EÖT-3 kesitine göre, çakıl, kil ar dalanması yaklaşık olarak 70 m derinliğe kadar uzanmakta olup, altında marn-kireçtaşı ar dalanması vardır. SK-1 ve SK-2 sondajlarına göre yeraltı suyu çakıllı birimlerden ve kireçtaşından gelmektedir. K-G doğrultulu EÖT-4 kesitine göre, kum, çakıl, kil ar dalanması yaklaşık olarak 85 m derinliğe kadar uzanmakta olup, altında kireçtaşı devam etmektedir. SK-3 ve SK-4 sondajlarına göre yeraltı suyu çakıllı birimlerden ve marn-kireçtaşından gelmektedir. Dolayısıyla, tüm bu EÖT kesitlerinde gözlenmiş çakıllı birimler ve özellikle kireçtaşı, yeraltı suyu sağlamada iyi bir akifer özelliğe sahiptir.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

### Kaynaklar (References)

- Aksever F., 2019. Hydrogeochemical characterization and water quality assessment of springs in the Emirdağ (Afyonkarahisar) basin, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 12: 780, <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4942-7>.
- Anon, 1997. Groundwater Storage. co. portage.wi.us, p.1. Available at: <http://www.co.portage.wi.us/groundwater/undrstnd/aquifer.htm>.
- Barker R., 1981. The offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. *Geophys Prospect* 29:128-143.
- Dahlin, T., 1993. On the automation of 2D resistivity surveying for engineering and environmental applications. PhD Thesis. Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden. ISRN: LUTVDG/TVTGT1007SE. ISBN 9162810324, 187 pp
- Fitterman, D.V., Stewart, M.T., 1986. Transient electromagnetic sounding for groundwater. *Geophysics*, 51(4), pp.995-1005.
- Griffiths, D. H., Barker, R. D., 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology, *Journal of Applied Geophysics*, 29, 211-226.
- Kalisperi D., Soupios P., Kouli M., Barsukov P., Kershaw S., Collins P., Vallianatos F., 2009. Coastal aquifer assessment using geophysical methods (TEM, VES), case study: Northern Crete, Greece, 3rd IASME/WSEAS international conference on geology and seismology (GES '09) Cambridge, UK, 24-26 February 2009
- Lashkaripour, G.R., 2003. An investigation of groundwater condition by geoelectric resistivity method: a case study in Korin aquifer, Southeast Iran. *J. Spatial Hydrol.* 3(1), 1-5.
- Lashkaripour G.R., Ghafoori M., Dehghani A., 2005. Electrical resistivity survey for predicting Samsor aquifer properties, Southeast Iran. *Geophysical Research Abstracts*, European Geosciences Union 7, 1-5.
- Loke M.H., Barker R.D., 1996a. Rapid least squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi Newton method. *Geophys Prospect* 44, 131-152.
- Loke M.H., Barker R.D., 1996b. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. *Geophys Prospect* 44, 499-523.
- Loke, M.H., 2020. Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys. [www.geotomosoft.com](http://www.geotomosoft.com).
- Oseji J.O., Asokhia M.B., Okolie E.C., 2006. Determination of groundwater potential in Obiaruku and environs using surface geoelectric sounding. *Environmentalist* 26, 301-308
- Sahu P.C., Sahoo H., 2006. Targeting groundwater in tribal dominated Bonai area of drought-prone Sundargarh District, Orissa, India. A combined geophysical and remote sensing approach. *J Hum Ecol*, 20, 109-115.
- Shankar K.R., 1994. Affordable water supply and sanitation. In: *Groundwater exploration 20th WEDC Conference Colombo, Sri Lanka*, 1994, 225-228.
- Soupios P., Kouli M., Vallianatos F., Vafidis A., Stavroulakis G., 2007. Estimation of aquifer parameters from surficial geophysical methods. A case study of Keritis Basin in Crete. *J Hydrol* 338, 122-131
- Stamplidis A., Tsourlos P., Soupios P., Mimides T.H., Tsokas G., Vargemezis G., Vafidis A., 2005. Integrated geophysical investigation around the brackish spring of Rina, Kalimnos Isl, SW Greece. *J Balk Geophys Soc* 8(3), 63-73.
- Zohdy, A.A., Eaton, C.P., Mabey, D.R., 1974. Application of surface geophysics to groundwater investigation. *Tech. Water Resources Investigation*, Washington, U.S Geological Survey, pp. 2401-2543.
- Zohdy, A. A. R., 1989. A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves, *Geophysics*, 54, 2, 245-253.



## GRAVİTE BELİRTİSİ AYRIMI TEKNİKLERİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR ÇALIŞMA

Yunus Levent EKİNCİ\*

Bitlis Eren Üniversitesi, Sanat Tarihi Bölümü, Bitlis, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Gravite Belirtisi Ayrımı,  
Sonlu Elemanlar,  
Filtreleme,  
Yukarı Uzanım,  
Polinoma Yaklaşırma.

### Öz

Potansiyel alan yöntemlerinin doğasından dolayı elde edilen belirtiler sığ ve derin kökenli yapılardan kaynaklanan kısa ve uzun dalga boylu etkileri içerirler. Bu nedenle, gravite veya manyetik yöntemlerle gerçekleştirilen jeofiziksel aramada en önemli veri işlem adımlarından biri de belirti ayrımı işlemidir. Bu amaçla gözlemlenen veriyi rezidüel ve rejyonal belirti adı verilen iki bileşene ayırmada bazı matematiksel teknikler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi, tercihi filtreleme ve en uygun yukarı uzanım yüksekliği gibi üç hesaplama yönteminin etkinliği iyi bilinen ve günümüzde de en yaygın belirti ayrımı tekniği olarak kullanılan polinoma yaklaşırma yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Uygulamada Jilin (Çin) manyetit alanı üzerinde alınmış gerçek gravite belirtisi kullanılmıştır. Elde edilen bulgular eleman şekil fonksiyonları kullanımıyla sonlu elemanlar yöntemi uygulamasının diğerlerine göre daha belirgin rezidüel gravite belirtisi ürettiğini göstermiştir.

## A COMPARISON STUDY ON THE GRAVITY ANOMALY SEPARATION TECHNIQUES

### Keywords

Gravity Anomaly Separation,  
Finite Element,  
Filtering,  
Upward Continuation,  
Polynomial Fitting.

### Abstract

Due to the nature of the potential field methods obtained anomalies include both short and long wavelength effects caused by shallow and deeper causative sources. Thus, anomaly separation procedure is one of the most important data processing steps in geophysical prospection performed via gravity or magnetic method. To that end, some mathematical procedures are performed to separate the observed data into two components, namely residual and regional anomalies. In this study, the efficiencies of three computational processes named finite element method, preferential filtering and optimal upward continuation height have been compared with the well-known polynomial fitting method which is still the most commonly used anomaly separation technique in potential field methods. In the applications a real gravity anomaly observed over the Jilin (China) magnetite area has been considered. Findings obtained have shown that performing finite element method with the use of element shape functions provides clearer residual gravity anomaly patterns than those of the others.

### Alıntı / Cite

Ekinci, Y.L., 2021. Gravite Belirtisi Ayrımı Teknikleri Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1276-1283.

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

Y.L. Ekinci, 0000-0003-4966-1208

### Makale Süreci / Article Process

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| Başvuru Tarihi / Submission Date | 18.05.2021 |
| Revizyon Tarihi / Revision Date  | 02.08.2021 |
| Kabul Tarihi / Accepted Date     | 05.08.2021 |
| Yayın Tarihi / Published Date    | 20.12.2021 |

### 1. Giriş (Introduction)

Yanal ve düşey yeraltı yoğunluk değişimlerine oldukça duyarlı olan gravite alanı farklı derinlik yüzeyleri üzerinde bulunan herhangi bir noktada gözlemlenebilir. Bu nedenle gravite anomalilerinin hem sığ hem de derin jeolojik kaynakların etkilerinin tümünü içerdiği iyi bilinmektedir. Matematiksel olarak, rezidüel ve rejyonal etki olarak adlandırılan bu iki bileşen ve gravite belirtisi izleyen şekilde tanımlanabilir (Pawłowski, 1994):

\* İlgili yazar / Corresponding author: ylekcinci@beu.edu.tr

$$G(x, y) = G_s(x, y) + G_d(x, y). \quad (1)$$

Yukarıda verilen formülde  $G(x, y)$  gözlemlenen gravite belirtisini,  $s$  ve  $d$  terimleri ise sırasıyla sığ ve derin kökenli jeolojik yapılardan kaynaklanan kısa ve uzun dalgaboylu belirtileri temsil eder. Gravite araştırmaları sığ boşluk tespiti çalışmalarından petrol ve gaz gibi derin amaçlı araştırmalara kadar geniş bir yelpazede farklılık gösterdiğinden dolayı sözü edilen belirti bileşenlerinin belirlenmesi işlemi önem arz eder. Maden aramalarında birkaç yüz metre derinlikte konumlanan jeolojik yapıların ürettiği belirtiler rejyonel etki olarak adlandırılabilirken, petrol aramalarında rezervuarın yaklaşık 5-6 km derinlikte konumlanmış olması durumunda 10 km veya daha fazla derinliklerde bulunan jeolojik yapıların ürettikleri belirtiler rejyonel etki olarak tanımlanabilir. Bu nedenle neyin sığ ve neyin daha derin olduğu tamamen çalışılan jeolojik probleme bağlıdır (Mallick ve Sharma, 1997, 1999). Bu nedenle gravite belirti ayrımı işlemi yapılarak çalışmanın amacına göre ya rezidüel ya da rejyonel etkiler kullanılır. Bu iki bileşenin hesaplanabilmesi için bazı matematiksel yöntemler gereklidir (Dobrin, 1976; Davis, 2002). Bu konuda günümüze kadar birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen en iyi yöntem konusunda belirsizlikler devam etmektedir. Bu nedenle farklı teknikler yardımıyla hesaplanan farklı rezidüel belirtilerin bilinen yüzey jeolojisiyle karşılaştırılması kullanıcıya hangi yöntemin o bölge için daha iyi sonuçlar ürettiğine dair bir fikir verebilmektedir.

Polinoma yaklaştırma yöntemi, potansiyel alan belirtisi ayrımı için en eski ve en yaygın kullanılan yöntemdir (Hedgley, 1978). Mallick ve Sharma (1997, 1999) tarafından önerilen ve eleman şekil fonksiyonları kullanımıyla gerçekleştirilen sonlu elemanlar yöntemi başarılı sonuçlar üretmiştir (Kaftan vd., 2005, 2011; Ekinci, 2010; Ekinci ve Yiğitbaş, 2012, 2015; Ekinci vd., 2021). Ayrıca yukarı analitik uzanım prosedürüne dayalı (Zeng vd., 2007) ve filtreleme tabanlı (Guo vd., 2013) yöntemlerinde belirti ayrımında başarılı olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada sözü geçen hesaplama tekniklerinin ürettikleri tepkiler karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Jilin (Çin) magnetit alanı üzerinde alınmış gravite belirtisi kullanılmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

## 2. Metodoloji (Methodology)

### 2.1. Polinoma Yaklaştırma (Polynomial Fitting)

Polinoma yaklaştırma prosedürü, potansiyel alan belirtisi ayrımı için en yaygın kullanılan tekniktir. Prosedür, gözlem verisi ile gözlem verilerine karşılık gelen herhangi bir dereceden polinom arasındaki farkların karelerinin toplamının en aza indirgenmesi esasına dayanır (Hedgley, 1978). En küçüklenecek fonksiyon izleyen şekilde ifade edilir:

$$F(a_0, a_1, \dots, a_d) = \sum_{i=1}^{NP} w(x_i) \left( y_i - \sum_{j=0}^d a_j x_i^j \right)^2. \quad (2)$$

Formülde  $d$  modelin derecesi,  $x_i$  ve  $y_i$  ayırık noktaları,  $a_j$  belirlenecek katsayıyı,  $w(x_i)$  ağırlık faktörünü ve  $NP$  ise veri sayısını ifade etmektedir (Hedgley, 1978). Korelasyon katsayılarının veya uyumun iyiliğinin belirlenmesi gibi bazı istatistiksel yaklaşımlar olsa da verinin doğası hakkında herhangi bir ön bilgi tanımlamadan polinomun en iyi derecesinin nasıl seçileceği ve en uygun çözümü elde etmek için trend fonksiyonunun ne olması gerektiği konusunda her zaman bazı zorluklar olmuştur. Yüksek dereceden bir polinomun tercih edilmesi durumunda daha iyi uyum sağlanabilir ve belirlenen trend eğrisi tüm veri noktalarından tam olarak geçebilir. Ancak, yine de hesaplanan rejyonel belirtilerin makul bir jeolojik anlamı olmayabilir (Lowrie, 2007).

### 2.2. Sonlu Elemanlar (Finite Elements)

Sonlu elemanlar yöntemiyle rejyonel etki iki-boyutlu harita uzayı üzerine yerleştirilen ikinci dereceden izoparametrik elemanın 8 düğüm noktasına denk gelen 8 gözlem noktasındaki ayırık değerlerin ağırlıklandırılmış toplamı kullanılarak izleyen şekilde hesaplanır:

$$G(x, y) = \sum N_i(x, y) G_i, \quad i = 1, 2, \dots, 8. \quad (3)$$

Gerçek x-y uzayında 8 düğüm noktalı eleman Şekil 1'de verilmiştir. Gerçek x-y uzay düzleminin referans  $\xi - \eta$  düzlemine dönüşümü izleyen şekilde gerçekleştirilir:

$$\xi = \frac{x - x_c}{a}, \quad \eta = \frac{y - y_c}{b}. \quad (4)$$

Burada  $x_c$  ve  $y_c$  merkez noktasını,  $2a$  ve  $2b$  ise  $x$ - ve  $y$ - eksenine paralel olan kenar uzunluklarını temsil etmektedir. Bu dönüşüm ile birlikte hesaplamalar kolaylaşmakta ve şekil fonksiyonları ile ilgili ağırlıklar belirlenebilmektedir (Mallick ve Sharma, 1997, 1999). Referans uzay düzlemi, -1 ile 1 aralığında değişen boyutsuz koordinatlar ile tanımlanmaktadır. Şekil 1'de gösterilen referans uzay düzleminde 1-8 aralığında bulunan düğüm noktaları için şekil fonksiyonları izleyen formüller yardımıyla hesaplanmaktadır (Cheung ve Yeo, 1979):

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{(1 + \xi\xi_i)(1 + \eta\eta_i)(\xi\xi_i + \eta\eta_i - 1)}{4}, \quad i = 1, 3, 5, 7$$

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{(1 + \xi\xi_i)(1 - \eta^2)}{2}, \quad i = 4, 8$$

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{(1 - \xi^2)(1 + \eta\eta_i)}{2}, \quad i = 2, 6$$
(5)

Şekil fonksiyonu, düğüm noktası  $i$ 'de 1 değerini diğerlerinde ise 0 değerini alır (Mallick ve Sharma, 1997, 1999). Referans uzay düzleminde bir noktada rejyonel alan ikinci dereceden bir polinom kullanılarak izleyen formül ile hesaplanır:

$$g(\xi, \eta) = A_1 + A_2\xi + A_3\xi^2 + A_4\eta + A_5\xi\eta + A_6\eta^2 + A_7\xi^2\eta + A_8\xi\eta^2. \quad (6)$$

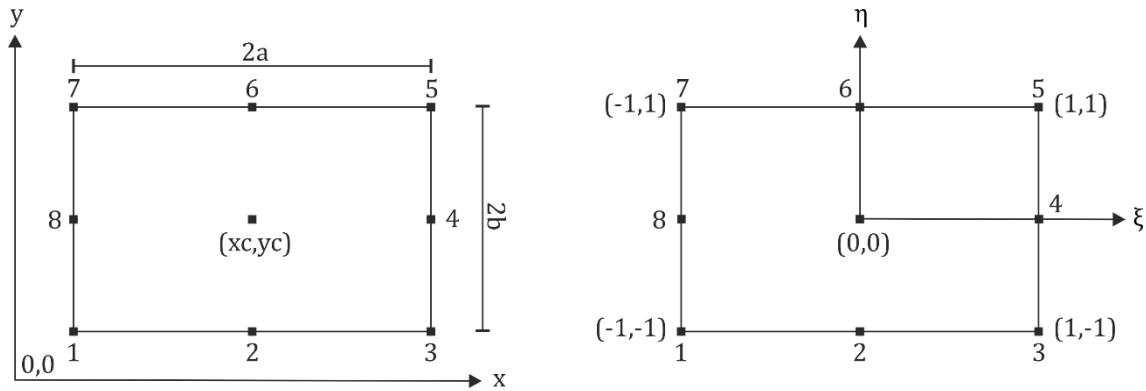
Polinom, şekil fonksiyonları yardımıyla aşağıda verildiği gibi elde edilir (Mallick ve Sharma, 1997, 1999):

$$g(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) g_i \quad (7)$$

Referans uzay düzleminde elde edilen rejyonel etki gerçek  $x$ - $y$  uzay düzlemine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem için izleyen ifadeler kullanılmaktadır (Mallick ve Sharma, 1997, 1999):

$$x(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^8 M_i(\xi, \eta) x_i, \quad (8)$$

$$y(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^8 M_i(\xi, \eta) y_i.$$



Şekil 1. 8 düğüm noktalı eleman ve 8 düğüm noktalı referans eleman (8-node element and 8-node reference element) (Mallick ve Sharma, 1997, 1999).

### 2.3. Optimum Yukarı Analitik Uzanım Seviyesi (Optimum Upward Continuation Level)

Kısa dalga boylu kaynakların etkilerini en aza indirgeyebilmek ve rejyonel etkileri ortaya çıkarmak için kullanılan bu teknik yukarı analitik uzanım yöntemini temel alır. Analitik uzanım işlemi izleyen şekilde hesaplanmaktadır (Blakely, 1986):

$$\Delta T_{UP} = F^{-1} \left[ e^{-\Delta z|k|} F(\Delta T) \right]. \quad (9)$$

Burada  $\Delta T$  gözlemlenen gravite belirtisidir,  $\Delta T_{up}$  yukarı uzanım belirtisini ifade eder,  $F$  ve  $F^{-1}$  sırasıyla Fourier ve ters Fourier dönüşümleridir,  $e$  üstel fonksiyondur,  $\Delta z$  yukarı uzanım yüksekliğidir ve  $k$  grid noktalarındaki radyal

dalga sayısıdır. Rejyonel belirtinin belirlenebilmesi için optimum yukarı analitik uzanım seviyesi istatistiksel bir yaklaşımla belirlenir. İlk olarak, bir dizi yukarı uzanım yükseklikleri belirlenir ve ardından iki ardışık yüksekliğe çıkarılmış olan yukarı uzanım belirtileri arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanır. Hesaplanan korelasyon katsayılarından maksimum defleksiyonu (sapmayı) sağlayan uzanım yüksekliğinin optimum uzanım seviyesi olduğu varsayılmaktadır (Zeng vd., 2007). Bu çalışmada iki ardışık yukarı analitik uzanım yüksekliklerine göre hesaplanan gravite verileri arasındaki korelasyon katsayısı izleyen tanımlamaya göre hesaplanmıştır:

$$R_{A,B} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (A_{mm} - a)(B_{mm} - b)}{\left[ \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (A_{mm} - a)^2 \right) \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (B_{mm} - b)^2 \right) \right]^{1/2}} \quad (10)$$

Verilen formülde,  $A$  ve  $B$  terimleri iki ardışık uzanım yüksekliğinde hesaplanmış gravite verilerini,  $a$  ve  $b$  ise sırasıyla bu terimlerin aritmetik ortalama değerlerini temsil eder.

#### 2.4. Tercihli Filtreleme (Preferential Filtering)

Güç spektrumu esasına dayanan bu yöntem Guo vd. (2013) tarafından önerilmiştir. Gözlemlenen gravite belirtisine Fourier dönüşümü gerçekleştirilir ve ardından radyal ortalamalı logaritmik güç spektrumunu hesaplanır. Ardından, güç spektrumunu her segmente çakıştırılmaktadır. Son olarak, izleyen denklem kullanarak her bir eşdeğer tabakanın derinliğini tahmin edilmektedir.

$$h = \frac{P(r_1) - P(r_2)}{4\pi(r_2 - r_1)} \quad (11)$$

Yukarıdaki formülde,  $r_1$  ve  $r_2$  çakıştırılan doğrunun radyal frekanslarının başlangıç ve bitişleridir,  $P(r_1)$  ve  $P(r_2)$  ise karşılık gelen radyal ortalamalı logaritmik güç spektrumlarıdır. Güç spektrumu yoğunluk fonksiyonu modelleri ve eşdeğer tabakaların tahmini derinlikleri kullanılarak radyal ortalamalı logaritmik güç spektrumu çakıştırılır. Gerçekleştirilen ara işlemlerin (Guo vd., 2013) ardından tüm spektral örnekler için bir lineer denklem sistemi bulunur. Sözü edilen sistem izleyen notasyonla tanımlanır:

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,m+n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdots & a_{2,m+n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{l,1} & a_{l,2} & \cdots & a_{l,m+n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_{m+n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_l \end{bmatrix} \quad (12)$$

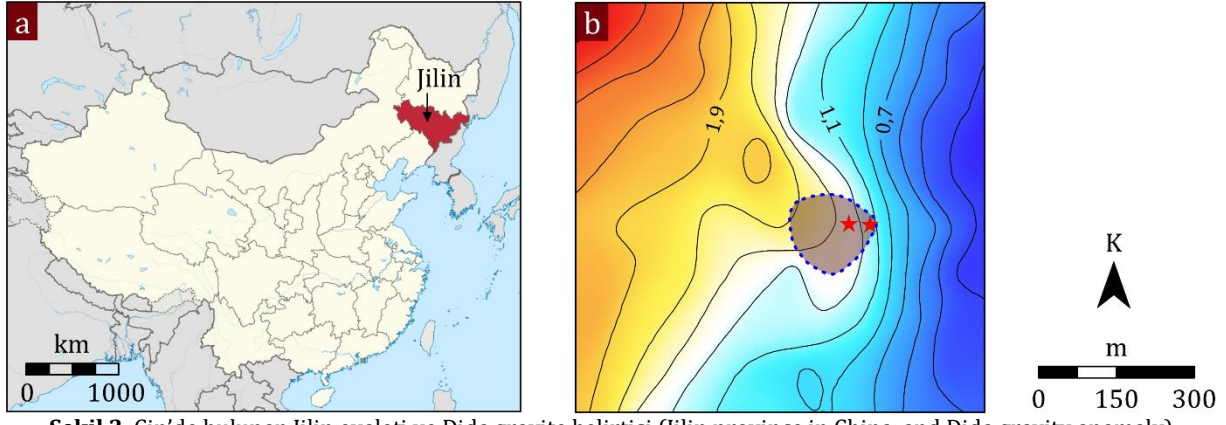
Matris denkleminin en küçük kareler çözümü ise izleyen formülle elde edilir:

$$S = [A^T A]^{-1} A^T P \quad (13)$$

Ardından yinelemeli bir optimizasyon algoritması kullanarak  $S$  vektörünü hesaplanır ve bu vektör yardımıyla ya  $i$ 'nci radyal frekans örnek noktası için ya da  $i$ 'nci eşdeğer kaynak tabaka için güç spektrumu hesaplanır. Tercihli filtre operatörü gravite belirtisine uygulanır ve son olarak ters Fourier dönüşümü yardımıyla belirti bileşenleri uzay ortamında elde edilir. Yöntemle ilgili tüm ayrıntılar Guo vd., (2013)'te bulunmaktadır.

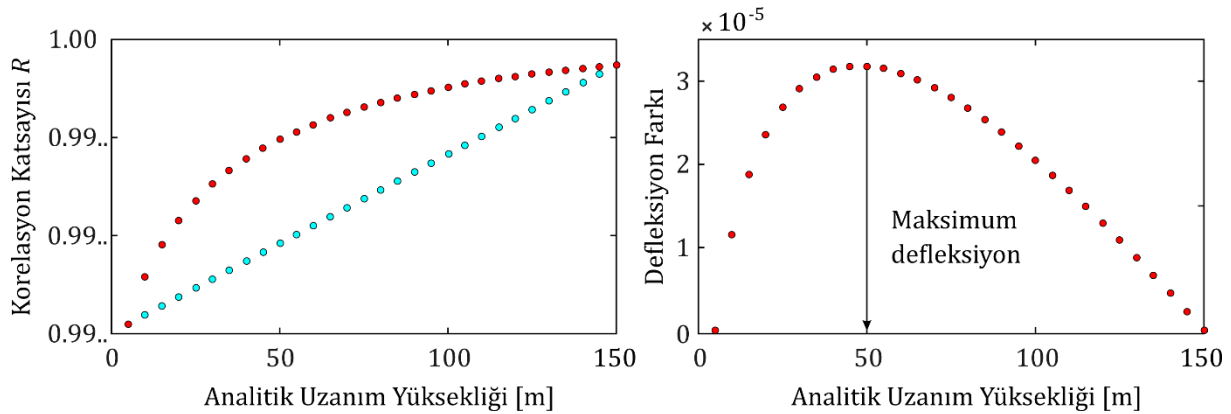
### 3. Uygulamalar (Applications)

Rejyonel/rezidüel ayrımı yöntemlerini sınavabilmek amacıyla Çin'in Jilin Eyaletindeki (Şekil 2a) Dida cevher kütlelerine ait gravite belirtileri (Zeng vd., 2007) kullanılmıştır. Bölgenin jeolojik yapısını iyi bir şekilde yansıttığı belirtilen (Guo vd., 2013) belirti haritasında (Şekil 2b) kuzeybatıdan güneydoğuya doğru kademeli azalan genlikler görülmektedir. Kesikli çizgiler bölgede yüzlek vermiş ve sondajlarla belirlenmiş manyetitin yatay yayılımını göstermektedir (Wang vd., 2020). Kırmızı yıldızlar ise sondaj lokasyonlarıdır.

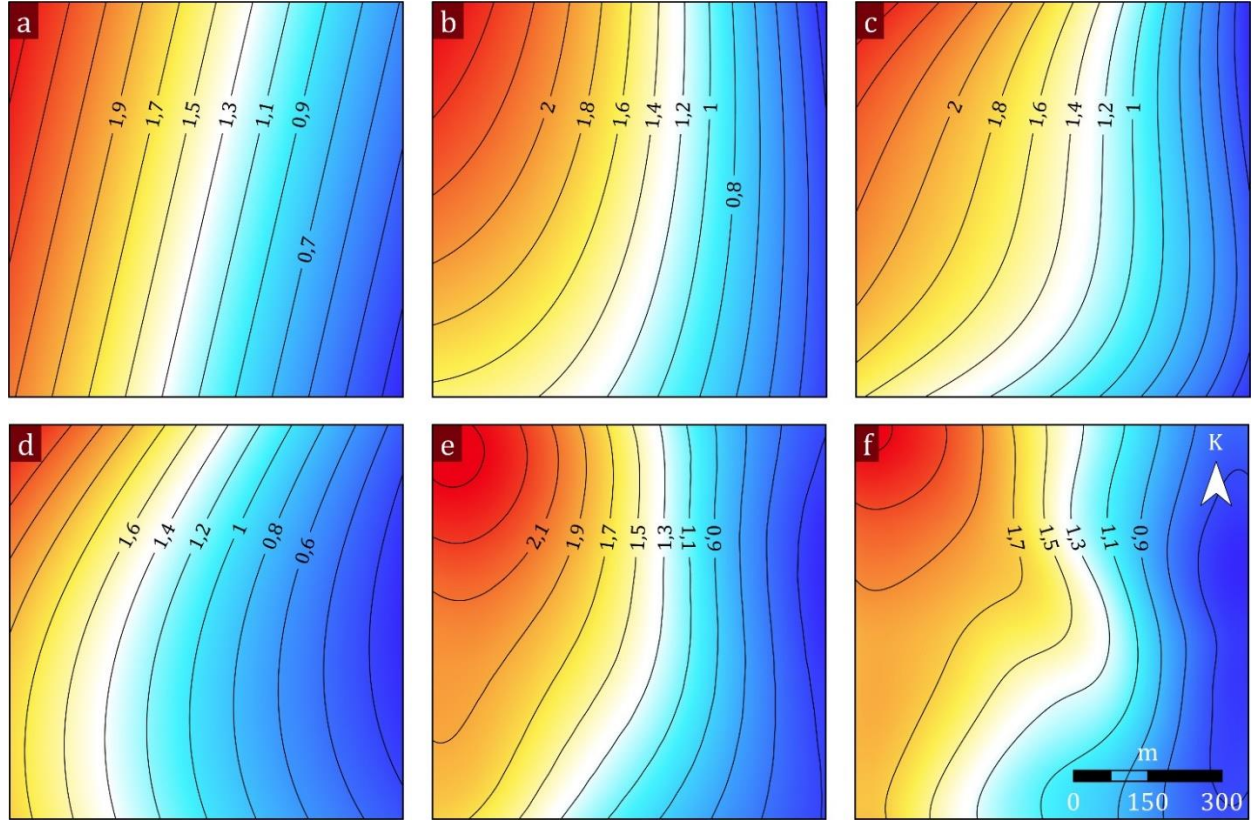


Şekil 2. Çin'de bulunan Jilin eyaleti ve Dida gravite belirtisi (Jilin province in China, and Dida gravity anomaly)

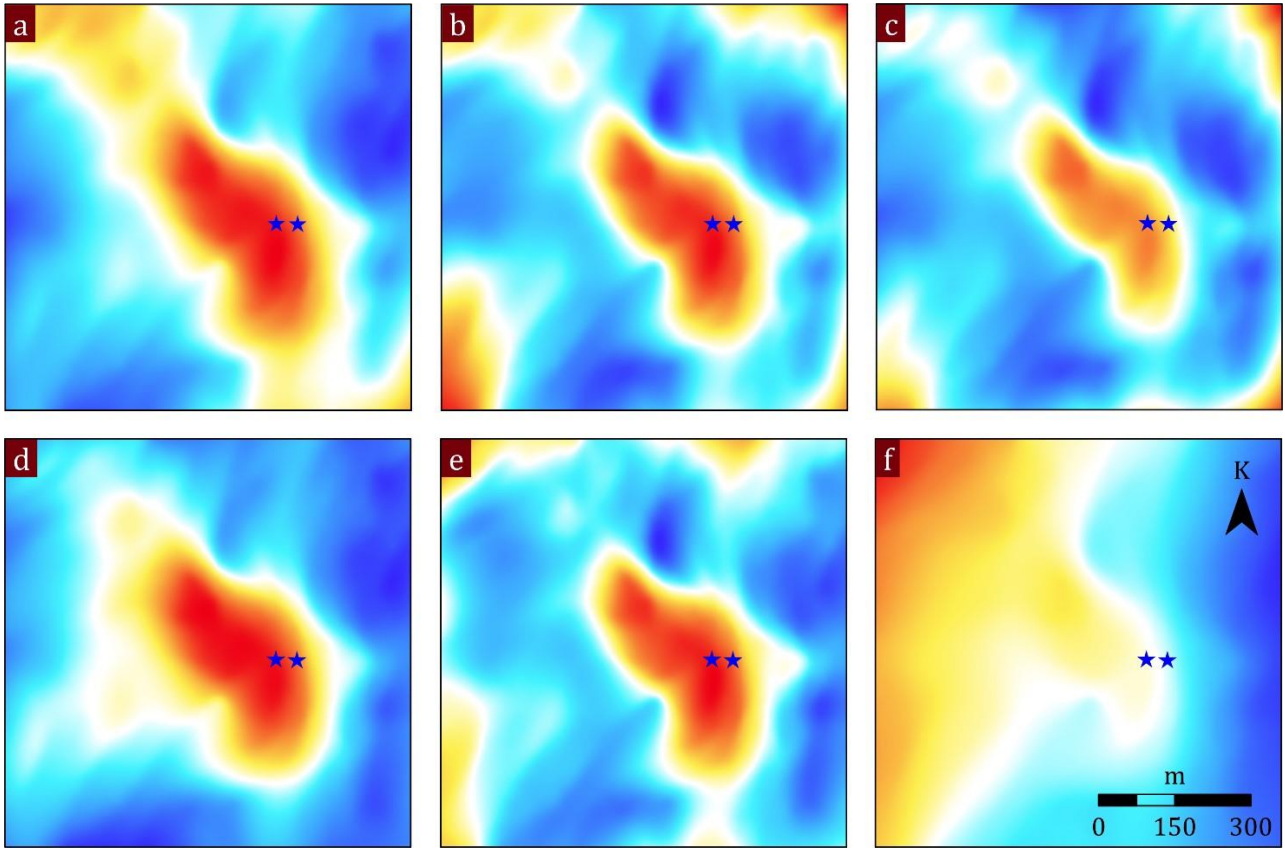
Alanda manyetit ile anakaya arasındaki yoğunluk farkı  $1.0-1.2 \text{ gr/cm}^3$  iken, skarn zonu ile anakaya arasındaki fark ise  $0.3-0.5 \text{ gr/cm}^3$ 'tür (Guo vd., 2013). Skarn ve manyetit kütlelerinin yeterince büyük olması ve göreceli olarak sığ derinlikte bulunması, önemli gravite ve manyetik belirtilere neden olmaktadır. Yapılan manyetik çalışmalar sonucunda gravite belirtisi haritasında kesikli çizgiyle işaretlenen alanın dışında demir cevheri kütlelerinin merkezden kuzeybatıya doğru gözlemlenen  $1.9 \text{ mGal}$  kontur değerine sahip kapalı maksimumun merkezinde bulunduğu belirtilmiştir (Wang vd., 2020). Ancak bu kütle gravite haritasında gözlenmemektedir. Maden cevheri, çevresindeki anakaya göre yüksek yoğunluğa sahiptir ancak rejyonel belirtilerin ve Kuvaterner örtünün etkisi nedeniyle gravite belirtisi haritasında cevherin yatay yayılımı net bir şekilde belirlenmemektedir. Rejyonel etkilerin hesaplanmasından önce optimum yüksekliğin belirlenebilmesi amacıyla  $5 \text{ m}$ 'den  $150 \text{ m}$ 'ye kadar artım miktarı  $5 \text{ m}$  olacak şekilde gravite belirtilerine yukarı analitik uzanım tekniği uygulanmış ve ardışık uzanımlar için elde edilen belirtiler arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır (Şekil 3). Şekilden de görüleceği üzere maksimum defleksiyon  $50 \text{ m}$ 'de gözlenmiştir. Bu nedenle rejyonel etkinin en uygun olarak  $50 \text{ m}$ 'lik analitik uzanım seviyesi belirlenebileceği ortaya konulmuştur. Şekil 4 farklı hesaplama teknikleri ile elde edilen rejyonel belirtisi haritalarını sunmaktadır. Optimum uzanım seviyesiyle elde edilen belirtisi haritasında cevher kütlelerinin yüzlek verdiği alanda belirtisi genliklerinde bir etkinin olduğu gözlenmektedir. Bu nedenle rezidüel etkilerin tam olarak giderilemediği açıktır. Şekil 5'te hesaplanan rezidüel belirtiler verilmiştir. Optimum uzanım seviyesi yardımıyla hesaplanan belirtisi haritasında başarılı bir sonuç elde edilememiştir (Şekil 5f). Diğer belirtisi haritaları birbirlerine benzer şekilde belirtisi genlikleri sunmaktadır. Ancak haritalar dikkatli bir şekilde incelendiğinde sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla hesaplanan rezidüel belirtisi haritası (Şekil 5d) dışındakilerde rejyonel etkilerin çalışma alanı sınırlarında gözlenebildiği ve bu etkilerin başarılı bir şekilde giderilemediği belirlenmiştir. Özellikle 1. dereceden polinom yardımıyla hesaplanan rezidüel belirtilerin kuzeybatı yönünde devam ettiği görülmektedir. Elde edilen bulgular ışığında sonlu elemanlar yönteminin diğerlerine göre daha başarılı sonuçlar ürettiği belirlenmiştir.



Şekil 3. Ardışık yukarı uzanımlar arasındaki korelasyon katsayıları ve maksimum defleksiyon (Correlation coefficients between successive upward continuations, and maximum deflection)



**Şekil 4.** Hesaplanan rejyonel belirtiler a) 1. dereceden polinomla, b) 2. dereceden polinomla, c) 3. dereceden polinomla, d) Sonlu elemanlarla, e) Filtrelemeyle, f) Optimum uzanım seviyesiyle (Calculated regional anomalies via a) 1st degree polynomial, b) 2nd degree polynomial, c) 3rd degree polynomial, d) Finite Elements, e) Filtering, f) Optimum continuation level)



**Şekil 5.** Hesaplanan rezidüel belirtiler a) 1. dereceden polinomla, b) 2. dereceden polinomla, c) 3. dereceden polinomla, d) Sonlu elemanlarla, e) Filtrelemeyle, f) Optimum uzanım seviyesiyle (Calculated regional anomalies via a) 1st degree polynomial, b) 2nd degree polynomial, c) 3rd degree polynomial, d) Finite Elements, e) Filtering, f) Optimum continuation level)

#### 4. Sonuçlar (Results)

Bu çalışmada gravite belirtilerinin yorumlanması aşamasında en sık kullanılan veri işlem aşamalarından biri olan rejyonal/rezidüel ayrımı çalışılmıştır. Bu amaçla, kullanılan en eski yöntem olan polinoma yaklaştırma yöntemi ile sonlu elemanlar, tercihli filtreleme ve optimum yükseklik seviyesi yöntemlerinin karşılaştırmaları yapılmıştır. Uygulama örneği olarak Çin'in kuzeydoğusunda bulunan Jilin Eyaletindeki Dida cevher kütlelerine ait gravite belirtileri kullanılmıştır. Demir minerali olan manyetit cevherinin alandaki anakayaya göre oldukça yüksek yoğunluk değerine sahip olması güçlü gravite belirtilerinin oluşmasına neden olmaktadır. Ancak derin kökenli jeolojik kaynak yapıları ait rejyonal belirtilerin ve aynı zamanda yüzeyde bulunan Kuvaterner örtünün etkileri nedeniyle gravite belirti haritasında manyetit kütlelerine ait yatay yayılımının tümü net bir şekilde gözlemlenmemektedir. Bu nedenle rejyonal ve rezidüel etkilerin bir arada bulunduğu bu gravite belirti haritası sunulan çalışma için ideal bir örnek oluşturmaktadır. Uygulamalarda 5 m'den 150 m'ye kadar artım miktarı 5 m olacak şekilde belirlenen ardışık yükseklikler için yapılan yukarı analitik uzanım çalışmalarından optimum yükseklik seviyesinin 50 m olduğu belirlenmiş ve bu seviyeye indirgenmiş gravite belirtilerin tamamen rejyonal etkileri yansıttığı varsayılmıştır. Ancak diğer yöntemlerden de elde edilen rejyonal ve rezidüel belirtiler incelendiğinde en başarısız sonucun optimum uzanım seviyesiyle elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca yöntemin doğası gereği veri içinde gürültü içeriğinin yüksek olması durumunun yöntemin başarısı üzerindeki etkisinin büyük olduğu göz ardı edilmemelidir. Polinoma yaklaştırma yönteminde ise hangi dereceden bir polinomun kullanılması gerektiğinin kesin bir cevabının olmaması yöntemin en büyük dezavantajıdır. Yüksek dereceden bir polinomun tercih edilmesi durumunda veriler arasında daha iyi bir uyum sağlanabilir ve hesaplanan yüzey eğrisi bütün veri noktalarıyla çakışabilir. Ancak, yüksek dereceden bir polinomla hesaplanan rejyonal belirtilerin çoğunlukla makul bir jeolojik anlamı olmamaktadır. Diğer yandan, tercihli filtreleme yönteminin ise tamamen güç spektrumu yöntemi esasına dayanması yöntemin en büyük dezavantajıdır. Literatürde güç spektrumu yönteminin zayıf yanlarına ait birçok çalışma bulunmaktadır. Uygulamalar, sonlu elemanlar yönteminin en başarılı sonuçları ürettiğini göstermiştir. Diğer yöntemlerin aksine sonlu elemanlar ile rejyonal belirti hesabında herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç duyulmaması yöntemin en büyük avantajlarından birisidir. Bu nedenle gravite verilerinde rejyonal/rezidüel belirti ayrımı işlemi için sonlu elemanlar yönteminin kullanılması önerilmektedir.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

#### Kaynaklar (References)

- Blakely, R.J., 1995. Potential theory in gravity and magnetic applications. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cheung, Y.K., Yeo, M.F., 1979. A practical introduction to finite element analysis. London: Pitman.
- Davis, J.C., 2002. Statistics and data analysis in geology. New York, NY, Wiley.
- Dobrin, M.B., 1976. Introduction to geophysical prospecting. New York, NY: McGraw Hill.
- Ekinci, Y.L., 2010. Gravity anomaly separation using finite element method. In 19th International Geophysical Congress and Exhibition. Ankara, Turkey. No. 59.
- Ekinci, Y.L., Yiğitbaş, E., 2012. Geophysical approach to the igneous rocks in the Biga Peninsula (NW Turkey) based on airborne magnetic anomalies: geological implications. *Geodinamica Acta* 25: 267-285.
- Ekinci Y.L., Yiğitbaş, E., 2015. Interpretation of gravity anomalies to delineate some structural features of Biga and Gelibolu peninsulas, and their surroundings (north-west Turkey). *Geodinamica Acta* 27: 300-319.
- Ekinci, Y.L., Balkaya, Ç., Göktürkler, G., Özyalın, Ş., 2021. Gravity data inversion for the basement relief delineation through global optimization: a case study from the Aegean Graben System, Western Anatolia, Turkey. *Geophysical Journal International*, 224, 923-944.
- Guo, L., Meng, X., Chen, Z., Li, S., Zheng, Y., 2013. Preferential filtering for gravity anomaly separation. *Computers and Geosciences*, 51, 247-254.
- Hedgley, D.R., 1978. An efficient algorithm for choosing the degree of a polynomial to approximate discrete nonoscillatory data. NASA Technical Memorandum, 72854.
- Kaftan, İ., Şalk, M., Sarı, C., 2005. Application of the finite element method to gravity data case study: Western Turkey. *Journal of Geodynamics*, 39, 431-443.
- Kaftan, İ., Şalk, M., Sarı, C., 2005. Performance of the finite element method for regional-residual separation on gravity method. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 13, 9-20.
- Lowrie, W., 2007. Fundamentals of geophysics. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mallick, K., Sharma, K.K., 1997. Computation of regional gravity anomaly – A novel approach. *Proceedings of the Indian Academy of Science (Earth and Planetary Sciences)*, 106, 55-59.
- Mallick, K., Sharma, K.K., 1999. A finite element method for computation of the regional gravity anomaly. *Geophysics*, 64, 461-469.
- Pawlowski, R.S., 1994. Green's equivalent-layer concept in gravity bandpass filter design. *Geophysics*, 59, 69-76.
- Wang, J., Meng, X., Li, F., 2020. A computation scheme based on field attenuation rate for improving regional-residual separation of potential field data set. *Journal of Geophysics and Engineering*, 17, 117-126.



Zeng, H., Xu, D., Tan, H., 2007. A model study for estimating optimum upward-continuation height for gravity separation with application to a Bouguer gravity anomaly over a mineral deposit, Jilin province, northeast China. *Geophysics*, 72, P145–P150.



## EVALUATION OF THE MAJOR AIR POLLUTANTS LEVELS AND ITS INTERACTIONS WITH METEOROLOGICAL PARAMETERS IN ANKARA

Kadir ULUTAŞ<sup>1\*</sup>, Sohaib K. M. ABUJAYYAB<sup>2</sup>, Salem S. ABU AMR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karabuk University, Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, Karabük, Türkiye

<sup>2</sup> Karabuk University, Faculty of Letters, Department of Geography, Karabük, Türkiye

### Keywords

*Air Quality,  
Air Pollutants,  
Meteorological Effect,  
Temporal Variation,  
Statistical Correlation.*

### Abstract

The aim of this study is to examine levels, temporal changes and interactions of major air pollutants with meteorological variables in Ankara, Turkey. The level of air pollutants namely PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CO was evaluated monthly, seasonally, and annually during 2019. The statistical relationship between air pollutants and ambient temperature, relative humidity and air pressure was examined and discussed. The pollutants concentrations started to rise in the morning and evening hours (excluding O<sub>3</sub>) when the traffic was at its peak and was at the highest level between 10:00 -14:00 and 22:00-02:00. It was seen at the lowest values (excluding O<sub>3</sub>) during daylight hours. A strong positive correlation was reported between PM<sub>10</sub> and both PM<sub>2.5</sub> and CO. Also, it was positive between NO and CO and NO<sub>x</sub>. On the other hand, negative correlation was reported between O<sub>3</sub> and all other parameters. Moreover, paired comparisons of the selected parameters during the seasons were investigated. A statistically significant difference was found between different paired parameters namely CO/NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> and PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>. The results revealed that the changes in the meteorological parameters during the mentioned seasons significantly impact the behavior of air pollutant parameters.

## ANKARA'DA BAŞLICA HAVA KİRLİTİCİ SEVİYELERİNİN VE METEOROLOJİK PARAMETRELERLE ETKİLEŞİMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

### Anahtar Kelimeler

*Hava Kalitesi,  
Hava Kirleticileri,  
Meteorolojik Etki,  
Zamansal Değişim,  
İstatistiksel Korelasyon.*

### Öz

Bu çalışmanın amacı, Ankara'daki başlıca hava kirleticilerin seviyelerini, zamansal değişimlerini ve meteorolojik değişkenlerle etkileşimlerini incelemektir. Başlıca hava kirleticilerinden olan PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CO seviyeleri 2019 yılı boyunca aylık, mevsimsel ve yıllık olarak değerlendirilmiştir. Hava kirleticileri ile ortam sıcaklığı, bağıl nem ve hava basıncı arasındaki istatistiksel ilişki incelenmiş ve tartışılmıştır. Kirletici konsantrasyonları trafiğin en yoğun olduğu sabah ve akşam (O<sub>3</sub> hariç) saatlerinde yükselmeye başlamış ve en yüksek düzeyde 10:00-14:00 ile 22:00-02:00 arasında olmuştur. Gündüz ise en düşük değerler (O<sub>3</sub> hariç) görülmüştür. PM<sub>10</sub> ile hem PM<sub>2.5</sub> hem de CO arasında güçlü bir pozitif korelasyon rapor edilmiştir. Ayrıca NO ve CO ve NO<sub>x</sub> arasında pozitif korelasyon görülmüştür. Diğer yandan O<sub>3</sub> ile diğer tüm parametreler arasında negatif korelasyon rapor edilmiştir. Ayrıca mevsimlerde seçilen parametrelerin ikili karşılaştırmaları da incelenmiştir. CO/NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> ve PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> gibi farklı eşleştirilmiş parametreler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur. Sonuçlar, söz konusu mevsimlerde meteorolojik parametrelerdeki değişikliklerin hava kirletici parametrelerin davranışını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur.

### Alıntı / Cite

Ulutaş, K., Abujayyab, S.K.M., Abu Amr, S.S., (2021). Evaluation of the major air pollutants levels and its interactions with meteorological parameters in Ankara, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(4), 1284-1295.

\* İlgili yazar / Corresponding author: kadirulutas@karabuk.edu.tr, +90-370-418-4182

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process         |            |
|--|---|------------|
| K. Ulutaş, 0000-0002-2931-3559           | <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 20.05.2021 |
| S.K.M. Abujayyab, 0000-0002-6692-3567    | <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 15.06.2021 |
| S.S. Abu Amr, 0000-0003-0589-1490        | <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 02.07.2021 |
|  | <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

## 1. Introduction

The Global Exposure Mortality Model developed by Burnett et al. (2018) reported that exposure to environmental air pollution was responsible for approximately nine million premature deaths globally in 2015 (Burnett et al., 2018). The principal of human health issues triggered by long-term exposure to air pollutants found are cardiovascular diseases and respiratory disorders. There are adverse effects of heavy metal particulate on respiration, especially on sick and elderly people as well as children living in contaminated areas. Some heavy metal pollutants may also serve as immunotoxins, resulting in increased vulnerability to infection (Sorvari et al., 2017; Kadioglu et al., 2010). Health effects related to urban air pollution have primarily occurred in megacities due to high concentrations of atmospheric air pollutants (Brook et al., 2017; Yurdakul et al., 2019; Tepe and Doğan, 2019). As a result of industrial activities, air pollution has now arisen in developed countries and the quantity of emission sources such as improper vehicles has also increased (Ghorani-Azam et al., 2016). Air quality in Ankara as the capital and high populated city in Turkey relied on varied natural sources, such as man-made pollution (for example traffic, domestic heating, industrial and commercial activities), topographic factors, and meteorological, and atmospheric conditions (Kadioglu et al., 2010; Bari and Kindzierski, 2015; Sari et al., 2019). In the last two decades, Ankara has faced severe ambient air pollution, particularly air pollutants criteria (particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>), Carbon monoxide (CO), Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>), Nitrogen Oxides (NO<sub>x</sub>), and sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), due to the unsustainable growth of industrialization and urbanization as well as influenced by high traffic activities (Genc et al., 2010; Njoku et al., 2016; Baran 2021). Indeed, Ankara environmental air pollution has become one of the challenging environmental issues for the Ankara municipality government, officials, policy makers, and the people of Ankara. Substantial efforts have been done by the Ankara municipality to reduce the concentration of air pollution (Genc et al., 2010). To date, several studies have been carried out to address the air pollutants levels, temporal changes and their interactions with meteorological variables (Genc et al., 2010; Kadioglu et al., 2010 Chandu and Dasari, 2020; Kalbarczyk and Kalbarczyk, 2017; de Foy, 2018). In Ankara, during 1999 and 2000, Genc et al., (2010) studied the temporal variations of traffic-impacted concentrations of PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO, and CO using a multiple linear regression model. It was noticed that air quality in residential areas was affected by the traffic activities in the city. In addition, Genc found that meteorology rather than pollution determined the air quality. In 2000, Yatin studied the atmospheric trace elements and factors affecting chemical composition of fine particles. Yatin reported that variations in soil moisture and wind speed determine atmospheric loading and seasonal variations in the intensity of crustal elements. In addition, local meteorology regulates short-term episodes of pollutant concentrations, especially mixing height and wind velocity (Yatin et al., 2000). In 2020, Kadioglu et al., (2010) studied the heavy metal pollutants in road dust levels during the summer season. The road dust collected as a polluted and measurable material for the determination of the pollutants from the abrasion of brake pads, motor vehicle exhaust, and lithology. The outcomes revealed that the toxic trace metals in road dust do not originate from industrial plants and lithology but from brake pad abrasion and motor fuel exhausts. The results showed deleterious effects on ecosystems and human health in Ankara. Despite the remarkable studies conducted, a detailed and deep understanding of the temporal volatility of air pollutants as well as the meteorological impacts on their concentrations using a solid approach is still unclear in Ankara to date. Sari et al., (2019) evaluated the levels, temporal changes, interactions, and sources of the major air pollutants during the seasons in Bursa, Turkey. Yousefian et al., (2020) studied the temporal variations of ambient air pollutants and the influences of meteorology on their concentrations in Tehran between 2012 and 2017. Li et al., (2020) discussed the concentrations of some major air pollutants in ecological functional zones during 22 years in Shenyang, Northeast China. Most of studies are generally evaluated the levels of air pollutants and their relationship to the meteorological data are evaluated seasonally and monthly using normal descriptive statistics. However, the hourly behavior of air pollutants has not been well discussed in the literature. Pairwise comparison between air pollutants has not been well reported and evaluated. The use of Kruskal Wallis test, Bonferroni Dunn test and Spearman's Correlation Analysis between air pollutants and meteorological data was not documented. Therefore, this study aimed to analyze the concentrations, temporal changes, and interactions of the main air pollutants with meteorological variables in Ankara, the capital of Turkey. In this work, the hourly concentration levels of the pollutants; PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, and CO were evaluated. The distribution of meteorological data with selected air quality parameters according to seasons was examined and discussed. The seasonal relationship between meteorological data and concentration of pollutants was presented. The performance of correlation for selected air quality parameters was carried out. Moreover, the pairwise comparisons of the selected parameters during seasons were studied. This study was conducted in Ankara, the capital city of Turkey in 2019.

## 2. Material and Method

### 2.1. Study Area

The current study focused on the evaluation of the level of air pollutants and their relationship and interaction with the metrological variables in a capital city of Turkey. Ankara as the capital city of Turkey, which is located in the region of Central Anatolia, has an area of 25,437 km<sup>2</sup>, is located at an altitude of 890 m above sea level, and has a total of 25 districts. There are public institutions, ministries, embassies and important commercial and cultural centers which are located within the boundaries of Çankaya district. According to the statistics of Statistical Institute 2019, the total population of the district is 944,609, and the area of the district with the largest population in the province is 46,259 hectares (TSI, 2020; Çankaya Municipality, 2020). The Sihhiye Air Quality Monitoring Station (SAQMS) is located in the Çankaya district, the center of Ankara, where the population is the highest area and resource type of SAQMS with latitude/longitude 39.92728083/32.85968467 are urban and traffic (Figure 1). SAQMS which is the traffic source is located at Adnan Saygun Street in Çankaya district. SAQMS, which is in the garden of the Ministry of Health, General Directorate of Public Health, is located in the northeast of Ankara and is about 800 m northeast of Kızılay, which we consider as the city center. The station is located in a flat area. SAQMS is mainly surrounded by a residential area with hospitals, workplaces, restaurants and public buildings. There is Adnan Saygun Street about 10 m to the west, Aksu Street about 30 m to the south and east and Celal Bayar Boulevard about 130 m to the north and the D200 highway at a distance of about 4 km to the north of SAQMS. In addition, the Çankaya Municipality's Yenışehir Marketplace, located approximately 50 m southwest of SAQMS, is open every day of the week (NCACACD, 2020).

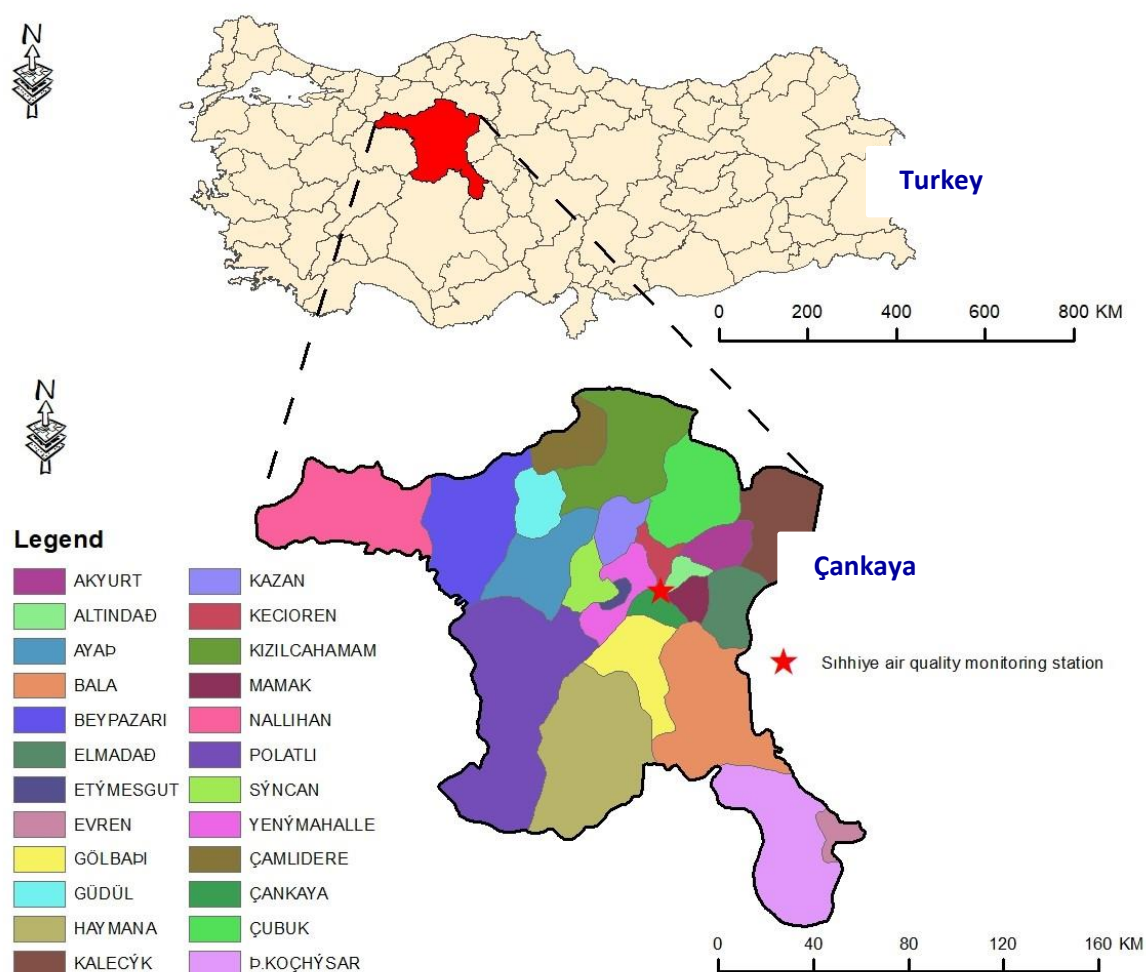


Figure 1. Geographic location of the study area in Sihhiye Air Quality Monitoring Station in Çankaya district of Turkey

## 2.2. Data Collection and Statistical Analysis

The data used in this study were obtained from the website of the Ministry of Environment and Urbanization Air Quality Monitoring Network (MEU, 2020). To evaluate the behavior of air quality pollutants, hourly measurements of air pollutants namely PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CO were examined with the values of ambient temperature, relative humidity and atmospheric pressure values according to spring, summer, autumn and winter seasons in 2019. Table 2 presents the data about air quality monitoring station. For sulfur dioxide analysis, ISO/FDIS 10498 in outdoor air - determination of sulfur dioxide - UV fluorescence method, for the analysis of nitrogen dioxide and nitrogen oxides ISO 7996:1985 in outdoor air - determination of mass concentrations of nitrogen oxides - chemical radiation (bone-luminescence) method, for PM<sub>10</sub> sampling and measurement, EN 12341 "Air Quality-Determination of PM<sub>10</sub> fraction of suspended particulate matter- measurement method, for carbon monoxide measurement, Non-Dispersive Infrared Spectrometry (NDIR) method, for ozone analysis, ISO FDIS 13964 UV photometric method were specified as reference methods by the Regulation of Air Quality Assessment and Management (RAQAM, 2008), Statistical Package for Social Sciences software (version 22.0) was used for the statistical analyses. Descriptive statistical methods (mean, standard deviation, median, minimum, maximum) were used while evaluating the analysis of study data. The suitability of the quantitative data to the normal distribution was tested by Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk test and graphical evaluations. The Kruskal Wallis test was used for comparisons of three and more groups that did not have a normal distribution, and the Bonferroni Dunn test was used for paired comparisons. Spearman's Correlation Analysis was used to evaluate the relationships between variables. Significance was assessed at least at the p <0.05 level. Table 1 presents the data about air quality monitoring station (NCACACD, 2020).

**Table 1.** Sihhiye air quality monitoring station

| Name     | Ankara-Sihhiye | Air Pollutants (µg/m <sup>3</sup> ) |                 | Meteorological Parameters |
|----------|----------------|-------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| Owner    | MEU-NCACACD    | PM <sub>10</sub>                    | NO <sub>2</sub> | AT (°C)                   |
| Type     | Urban-Traffic  | PM <sub>2.5</sub>                   | NO <sub>x</sub> | RH (%)                    |
| Province | Ankara         | SO <sub>2</sub>                     | O <sub>3</sub>  | AP (mbar)                 |
| District | Çankaya        | NO                                  | CO              |                           |

AT: Air Temperature, RH: Relative Humidity, AP: Air Pressure, SD: Standard Deviation

## 3. Result and Discussion

### Hourly Concentration Levels of Pollutants

The mean concentrations were calculated for each hour to evaluate hourly fluctuations of the pollutant concentrations based on four seasons (Figure 2). In general, during the first daylight hours between 08:00 and 13:00, the increases of pollutant levels (except O<sub>3</sub>) were observed due to the maximum level of residential heating and high traffic in the high populated area such as Ankara. However, the level of these pollutants was reduced after 13:00 pm due to the consumption of the high amount of the pollutants in photochemical reaction (especially for SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and CO) and produce high level of O<sub>3</sub>. When residential heating and traffic were at their minimum level at 04:00-07:00 am, the lowest concentrations were observed as seen in Figure 2. However, the highest concentrations of pollutant were seen 1-2 hours later, especially in the winter and autumn seasons. In addition, for the same reasons, the level of pollutants started to rise again in the evening (after 18:00-20:00) and reached their highest level at night due to the lowering of the boundary layer. The level of O<sub>3</sub> started to increase from 8:00 am and started to decrease after 13:00 pm. Its fluctuation is in contrasts with the NO<sub>x</sub> due to the photochemical reaction, especially in summer. It was found by US EPA (2020a) that ground-level ozone, also called bad ozone, does not spread directly in the atmosphere and O<sub>3</sub> is formed by photochemical reactions in the presence of NO<sub>x</sub> and VOCs. The results obtained are consistent with the EPA's opinion. The concentrations of pollutants (excluding O<sub>3</sub>) are highest during the morning and evening hours when traffic is at its peak, and turn into a valley shape in the afternoon. This shows a clear link with the boundary layer height change (Chandu and Dasari, 2020). Despite the absence of industrial facilities and the widespread use of natural gas in the study area, the obviously high pollutant concentrations during the winter months may be evidence of the pollution caused by heating. In addition, it is well known that heavy traffic potential is one of the most important sources of air pollution. It was observed that the highest level of pollutants was reported during peak hours of traffic. In addition, it has been stated by the US EPA and in previous studies that traffic is among the sources of PM, SO<sub>2</sub>, CO and NO<sub>x</sub> pollutants emitted automobiles, heavy equipment that burn fuel with a high sulfur content, cars, trucks and buses, off-road equipment and other vehicles or machinery by burning fossil fuels (Clarke et al., 2014; Kalbarczyk and Kalbarczyk, 2017; de Foy, 2018; US EPA 2020b, c, d, e).

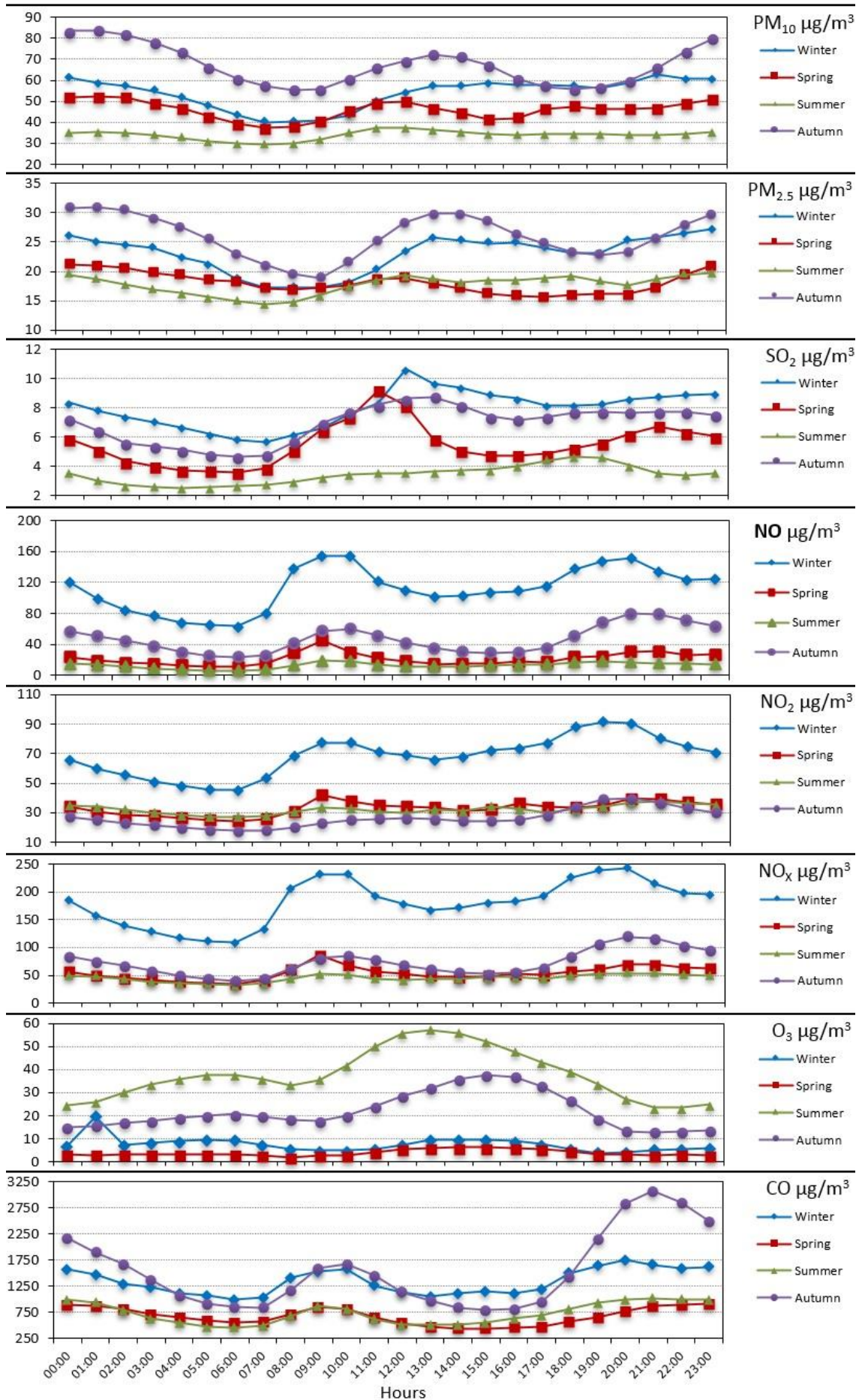


Figure 2. Hourly concentration levels of air quality pollutants

### Distribution of Meteorological Data with Selected Air Quality Parameters According to Seasons

The monthly and seasonal distribution of the selected air quality parameters including PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, and CO, and meteorological data including air temperature, relative humidity and air pressure were presented in Table 2. The highest concentration of PM<sub>10</sub> (87.99±29.02 µg/m<sup>3</sup>), PM<sub>2.5</sub> (36.15±12.13 µg/m<sup>3</sup>), SO<sub>2</sub> (11.31±4.39 µg/m<sup>3</sup>), NO (149.48±98.90 µg/m<sup>3</sup>), NO<sub>2</sub> (76.14±12.64 µg/m<sup>3</sup>), NO<sub>x</sub> (207.05±117.65 µg/m<sup>3</sup>), O<sub>3</sub> (48.00±10.06 µg/m<sup>3</sup>) and CO (2102.83±628.05 µg/m<sup>3</sup>) were obtained in November, November, February, December, February, December, July and November, respectively. In addition, the maximum temperature (27.04±2.64 °C), relative humidity (81.46±8.62 %) and air pressure (909.72±3.77 mbar) were obtained in August, December and November, respectively. These results for the selected pollutants are consistent with the pollutants in the studies carried out by Dogruparmak and Ozbay (2011) and Ulutas (2020). The difference between PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, and CO measurements according to the seasons was found statistically significant ( $p = 0.001$ ;  $p < 0.01$ ) and the difference between the level of pollutants according to the seasons was presented in Table 3. PM<sub>10</sub> in autumn were higher than in winter, spring, and summer ( $p = 0.001$ ;  $p < 0.01$ ), while the level of PM<sub>2.5</sub> in autumn is higher than that in winter, spring and summer ( $p = 0.006$ ;  $p = 0.001$ ;  $p = 0.001$ ;  $p < 0.01$ , respectively). The concentration of SO<sub>2</sub> in autumn is reported higher than that in spring and summer seasons ( $p = 0.004$ ;  $p = 0.001$ ;  $p < 0.01$ , respectively). SO<sub>2</sub> measurements in the winter season are also higher than in the spring and summer seasons ( $p = 0.001$ ;  $p < 0.01$ ). Moreover, the levels of NO, NO<sub>x</sub> and NO<sub>2</sub> in winter are reported higher than in spring, summer and autumn seasons ( $p = 0.001$ ;  $p < 0.01$ ). For O<sub>3</sub>, The higher level was found in summer ( $p = 0.001$ ;  $p < 0.01$ ), which may due to the activation of photochemical reaction with exist of high sunlight. In addition, as a result of the photochemical reaction, O<sub>3</sub> concentrations increase while NO<sub>x</sub> concentrations decrease in summer. Moreover, depending on seasonal conditions, O<sub>3</sub> concentrations indirectly affect the CO level. O<sub>3</sub> acts as the photochemical precursor of hydroxyl radicals (OH) in the lower troposphere. The OH reaction is an effective mechanism for removing CO from the atmosphere. If there is sufficient NO presence, a significant amount of O<sub>3</sub> is produced as a result of the troposphere oxidation reactions of CO (Dogruparmak and Ozbay, 2011; Riga-Karandinos and Saitanis, 2005). Chandu and Dasari (2020) reported the highest level of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in winter, while Bozkurt *et al.* (2018) found that the highest NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> levels were observed in the winter due to changes in some meteorological conditions and pollutant sources, such as the increased use of fossil fuels for heating, as well as the high traffic density. According to the Regulation of Air Quality Assessment and Management (RAQAM, 2008) and European Union (EU, 2008) daily and annual limit values for PM<sub>10</sub> is 50 and 40 µg/m<sup>3</sup> respectively. In addition, daily limit values cannot be exceeded more than 35 times in any calendar year. The annual average concentration (50.1±29.77 µg/m<sup>3</sup>) is determined above the limit. In addition, the daily limit value has been exceeded 127 times. The annual average concentration of PM<sub>2.5</sub> in this study is 21.3±11.96 µg/m<sup>3</sup>. however, there is no limit value for PM<sub>2.5</sub> pm<sub>3</sub> in RAQAM. The limit value (35 µg/m<sup>3</sup>) set by the US EPA (2012) for 24 hours was exceeded 32 times. The annual SO<sub>2</sub> concentration was determined as 5.94±3.63 µg/m<sup>3</sup>. According to RAQAM (2008) and EU (2008) hourly and daily limit values for SO<sub>2</sub> are 350 and 125 µg/m<sup>3</sup> respectively and these values were not exceeded. The annual average NO, NO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> concentrations were determined as 45.29±56.9, 38.37±22.16, 83.67±74.13 µg/m<sup>3</sup>, respectively. Hourly and annual limit values of NO<sub>2</sub> are set as 200 and 40 µg/m<sup>3</sup> for the protection of human health by RAQAM (2008) and EU (2008). According to the results, the hourly limit value was exceeded 170 times, but the annual limit value was not exceeded. The annual limit value of NO<sub>x</sub> is set at 30 µg/m<sup>3</sup> for the protection of vegetation. However, it is seen that this value was exceeded. The annual average concentrations of O<sub>3</sub> and CO are 21.84±18.69 and 1074.58±714.12 µg/m<sup>3</sup> respectively. The limit values of O<sub>3</sub> and CO are set as 120 and 10.000 µg/m<sup>3</sup> for 8 hours by RAQAM (2008) and EU (2008) and both parameters have not exceeded these limit values.

**Table 2.** Monthly and seasonal distribution of pollutant concentrations and meteorological data for 2019

| Months<br>Seasons |      | Concentration (µg/m <sup>3</sup> ) |                   |                 |        |                 |                 |                |         | Meteorological parameters |       |          |
|-------------------|------|------------------------------------|-------------------|-----------------|--------|-----------------|-----------------|----------------|---------|---------------------------|-------|----------|
|                   |      | PM <sub>10</sub>                   | PM <sub>2.5</sub> | SO <sub>2</sub> | NO     | NO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | O <sub>3</sub> | CO      | AT(°C)                    | RH(%) | AP(mbar) |
| January           | Mean | 40.75                              | 20.27             | 7.18            | 83.37  | 74.58           | 157.95          | 8.89           | 982.69  | 5.92                      | 78.25 | 902.19   |
|                   | SD   | 14.82                              | 10.14             | 3.48            | 27.32  | 14.08           | 40.36           | 3.00           | 332.42  | 2.42                      | 8.00  | 6.27     |
| February          | Mean | 46.49                              | 16.50             | 11.31           | 88.59  | 76.14           | 164.73          | 5.27           | 1027.33 | 7.40                      | 68.66 | 907.62   |
|                   | SD   | 17.35                              | 5.63              | 4.39            | 27.06  | 12.64           | 38.32           | 1.75           | 295.81  | 1.53                      | 9.61  | 4.47     |
| March             | Mean | 38.04                              | 14.79             | 5.60            | 27.88  | 26.83           | 54.71           | 4.44           | 836.19  | 10.17                     | 53.25 | 905.51   |
|                   | SD   | 13.72                              | 3.07              | 2.93            | 23.35  | 19.61           | 42.71           | 1.52           | 256.32  | 2.59                      | 11.93 | 5.35     |
| April             | Mean | 43.34                              | 16.75             | 5.05            | 17.42  | 21.86           | 39.28           | 5.13           | 689.63  | 13.70                     | 53.61 | 904.87   |
|                   | SD   | 20.65                              | 6.89              | 3.86            | 4.56   | 4.56            | 7.59            | 1.15           | 180.39  | 3.83                      | 12.61 | 4.90     |
| May               | Mean | 56.28                              | 22.64             | 5.89            | 14.13  | 42.82           | 56.95           | 3.92           | 510.55  | 20.71                     | 49.55 | 904.43   |
|                   | SD   | 43.75                              | 6.88              | 4.02            | 4.50   | 6.18            | 9.40            | 0.87           | 136.41  | 4.41                      | 11.35 | 3.55     |
| June              | Mean | 25.44                              | 20.59             | 3.13            | 11.56  | 43.20           | 54.76           | 19.71          | 719.76  | 25.12                     | 53.04 | 904.12   |
|                   | SD   | 18.24                              | 4.96              | 0.91            | 2.91   | 8.85            | 10.33           | 12.53          | 226.02  | 2.77                      | 9.64  | 2.30     |
| July              | Mean | 38.96                              | 17.86             | 3.55            | 12.69  | 34.94           | 47.63           | 48.00          | 715.67  | 26.18                     | 41.66 | 902.65   |
|                   | SD   | 9.63                               | 4.76              | 1.35            | 2.51   | 8.29            | 8.98            | 10.06          | 170.42  | 2.82                      | 11.09 | 3.71     |
| August            | Mean | 37.03                              | 15.13             | 3.59            | 14.11  | 19.04           | 33.15           | 41.40          | 757.68  | 27.04                     | 41.31 | 904.74   |
|                   | SD   | 10.31                              | 5.23              | 1.32            | 3.91   | 6.13            | 8.15            | 15.10          | 262.94  | 2.64                      | 11.39 | 3.06     |
| September         | Mean | 46.61                              | 15.48             | 4.41            | 20.71  | 19.14           | 39.85           | 39.49          | 994.66  | 22.76                     | 40.46 | 906.48   |
|                   | SD   | 17.20                              | 6.62              | 2.79            | 9.93   | 3.86            | 13.32           | 7.18           | 467.65  | 3.13                      | 6.54  | 2.74     |
| October           | Mean | 67.76                              | 26.23             | 8.53            | 34.56  | 21.44           | 56.00           | 22.67          | 1533.65 | 18.16                     | 52.29 | 908.92   |
|                   | SD   | 19.53                              | 7.09              | 3.18            | 12.74  | 3.40            | 15.87           | 11.07          | 531.69  | 2.30                      | 10.34 | 3.90     |
| November          | Mean | 87.99                              | 36.15             | 7.76            | 85.90  | 39.02           | 124.92          | 6.40           | 2102.83 | 12.12                     | 62.09 | 909.72   |
|                   | SD   | 29.02                              | 12.13             | 1.98            | 62.30  | 22.98           | 84.35           | 2.66           | 628.05  | 2.57                      | 11.23 | 3.77     |
| December          | Mean | 73.08                              | 33.30             | 5.64            | 149.48 | 57.57           | 207.05          | 7.91           | 1980.19 | 6.53                      | 81.46 | 906.99   |
|                   | SD   | 46.97                              | 26.11             | 2.10            | 98.90  | 20.18           | 117.65          | 5.41           | 1332.13 | 2.37                      | 8.62  | 8.54     |
| Winter            | Mean | 53.67                              | 23.19             | 7.94            | 112.16 | 67.99           | 180.14          | 7.90           | 1340.16 | 6.65                      | 76.37 | 905.54   |
|                   | SD   | 33.39                              | 17.64             | 4.13            | 73.37  | 18.57           | 83.77           | 4.35           | 938.05  | 2.19                      | 10.18 | 7.06     |
| Spring            | Mean | 45.92                              | 18.11             | 5.52            | 18.63  | 31.16           | 49.79           | 4.48           | 678.68  | 14.79                     | 52.18 | 904.95   |
|                   | SD   | 29.81                              | 6.74              | 3.60            | 12.99  | 14.16           | 23.20           | 1.27           | 237.24  | 5.69                      | 11.99 | 4.65     |
| Summer            | Mean | 33.84                              | 17.76             | 3.43            | 12.80  | 32.27           | 45.07           | 37.72          | 731.86  | 26.26                     | 44.23 | 903.81   |
|                   | SD   | 14.43                              | 5.44              | 1.22            | 3.30   | 12.71           | 12.81           | 17.14          | 223.42  | 2.81                      | 11.84 | 3.27     |
| Autumn            | Mean | 67.23                              | 25.95             | 6.92            | 46.49  | 26.34           | 72.82           | 22.89          | 1543.60 | 17.74                     | 51.51 | 908.36   |
|                   | SD   | 27.82                              | 12.27             | 3.22            | 45.69  | 15.91           | 61.08           | 16.26          | 704.65  | 5.09                      | 12.94 | 3.74     |
| Annual            | Mean | 50.1                               | 21.3              | 5.94            | 45.29  | 38.37           | 83.67           | 21.84          | 1074.58 | 16.33                     | 56.41 | 905.72   |
|                   | SD   | 29.77                              | 11.96             | 3.63            | 56.9   | 22.16           | 74.13           | 18.69          | 714.12  | 8.06                      | 16.88 | 5.2      |

AT: Air Temperature, RH: Relative Humidity, AP: Air Pressure, SD: Standard Deviation

**Table 3.** Evaluation of concentrations of pollutants according to the seasons

| Conc. (µg/m <sup>3</sup> ) | Winter <sup>1</sup> | Spring <sup>2</sup> | Summer <sup>3</sup> | Autumn <sup>4</sup> | ap             | Post Hoc; bp |             |
|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------|
| PM <sub>10</sub>           | Min-Max             | 16.6-194.6          | 3.1-231.4           | 1.9-72.6            | 17.1-135.7     | 0.001**      | 4 > 1. 2. 3 |
|                            | (Median)            | (46.5)              | (42.4)              | (38.5)              | (67.1)         |              |             |
|                            | Mean±SD             | 53.67±33.39         | 45.92±29.81         | 33.84±14.43         | 67.23±27.82    |              |             |
| PM <sub>2.5</sub>          | Min-Max             | 4.9-102.2           | 5.5-39.7            | 6.3-33.3            | 4.2-59.5       | 0.001**      | 4 > 1. 2. 3 |
|                            | (Median)            | (17.5)              | (16.8)              | (17.9)              | (25.8)         |              |             |
|                            | Mean±SD             | 23.19±17.64         | 18.11±6.74          | 17.76±5.44          | 25.95±12.27    |              |             |
| SO <sub>2</sub>            | Min-Max             | 2-24.5              | 1.5-19.5            | 1.6-8.9             | 1.8-18.4       | 0.001**      | 1. 4 > 2. 3 |
|                            | (Median)            | (6.7)               | (4.4)               | (3.1)               | (6.9)          |              |             |
|                            | Mean±SD             | 7.94±4.13           | 5.52±3.60           | 3.43±1.22           | 6.92±3.22      |              |             |
| NO                         | Min-Max             | 22.8-461.8          | 6-103.6             | 6.7-22.5            | 10-214.1       | 0.001**      | 1 > 2. 3. 4 |
|                            | (Median)            | (95.4)              | (15.8)              | (12.5)              | (34.7)         |              |             |
|                            | Mean±SD             | 112.16±73.37        | 18.63±12.99         | 12.80±3.30          | 46.49±45.69    |              |             |
| NO <sub>2</sub>            | Min-Max             | 32.6-137.4          | 13.2-82.9           | 10.1-82.2           | 12.4-80.9      | 0.001**      | 1 > 2. 3. 4 |
|                            | (Median)            | (66.4)              | (23.8)              | (33.2)              | (21.8)         |              |             |
|                            | Mean±SD             | 67.99±18.57         | 31.16±14.16         | 32.27±12.71         | 26.34±15.91    |              |             |
| NO <sub>x</sub>            | Min-Max             | 66.8-599.3          | 23.1-186.5          | 17.1-96.4           | 23.2-287.4     | 0.001**      | 1 > 2. 3. 4 |
|                            | (Median)            | (162.3)             | (46.4)              | (44.7)              | (57.3)         |              |             |
|                            | Mean±SD             | 180.14±83.77        | 49.79±23.20         | 45.07±12.81         | 72.82±61.08    |              |             |
| O <sub>3</sub>             | Min-Max             | 2.4-25.4            | 2.4-7               | 5.6-73.7            | 2.7-58.8       | 0.001**      | 3 > 1. 2. 4 |
|                            | (Median)            | (6.5)               | (4.2)               | (38.7)              | (20.7)         |              |             |
|                            | Mean±SD             | 7.90±4.35           | 4.48±1.27           | 37.72±17.14         | 22.89±16.26    |              |             |
| CO                         | Min-Max             | 316.5-5903.8        | 283.8-1343.8        | 236.9-1365.6        | 398.2-3715.9   | 0.001**      |             |
|                            | (Median)            | (1122.7)            | (636.3)             | (740.1)             | (1582.5)       |              |             |
|                            | Mean±SD             | 1340.16±938.05      | 678.68±237.24       | 731.86±223.42       | 1543.60±704.65 |              |             |

<sup>a</sup>Kruskal Wallis Test; <sup>b</sup>Bonferroni Dunn Test; \*\*p<0,01



### The Correlation Between Selected Air Quality Parameters

The scope and nature of the relationship between O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, CO and PM<sub>2.5</sub> variables were measured with the correlation method (Chandu and Dasari 2020). Table 4 presents the correlation between selected air quality parameters annually. A strong positive correlation was reported between PM<sub>10</sub> and both PM<sub>2.5</sub> and CO, and between NO and CO and NO<sub>x</sub>. The strong positive correlation between these parameters may attribute to the same source of these parameters. The negative correlation was reported between O<sub>3</sub> and all other parameters. Since the PM may be various sizes and shapes depending on its source, a correlation may be observed between them if the source is the same. Therefore, in this study, it is an expected result to see a correlation between PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>, as natural process, such as re-suspension of local soil, and primary and secondary anthropogenic combustion products resulted from traffic affect their concentration. In addition, there may be a strong correlation between NO<sub>x</sub> and NO, since there is a conversion between NO<sub>x</sub> and NO as a result of photochemical reaction in summer, especially in sunny and stable weather conditions. As stated in US EPA and previous studies, one of the most important emission sources of PM, SO<sub>2</sub>, CO and NO<sub>x</sub> pollutants is cars, trucks and buses, off-road equipment and other vehicles using fossil fuels (US EPA 2020a). Therefore, a strong correlation may be seen between these pollutants. Pollutants except O<sub>3</sub> are directly associated with traffic pollution. Tropospheric O<sub>3</sub> is known as a secondary pollutant due to the increasing of ozone formation by other pollutants in the atmosphere (Mohan et al., 2019). Combustion of fossil fuels, vehicle exhausts and industry cause emission of NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub> and VOCs as a primary air pollutant. The photochemical reaction reacts with the primary pollutants such as SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> in the environment and provides the formation of secondary pollutants such as O<sub>3</sub>. The photochemical reaction causes a decrease in the concentration of primary pollutants in the environment while increasing the O<sub>3</sub> concentration (Jenkin and Clemittshaw 2000; Rani et al., 2011). In the troposphere O<sub>3</sub> is formed or its concentration increases at the end of photochemical reactions (Bozkurt et al., 2018). The concentration of NO<sub>x</sub> and intensity of solar radiation extremely affect the formation and concentration of O<sub>3</sub> (US EPA 2020a; Bozkurt et al., 2018; Mohan et al., 2019). As a result, the highest levels of ozone pollution occur during periods of sunny weather (WHO, 2000). Therefore, a negative correlation was observed between O<sub>3</sub> and other pollutants as expected.

### The Correlation Between Selected Air Quality Parameters

The variations of air temperature, relative humidity, and atmospheric pressure and their influences on pollutant concentrations of in the ambient air were analyzed using Spearman correlation annually. There was no statistically significant correlation between air temperature and PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> ( $p > 0.05$ ). SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and CO had weak and negative significant correlation with temperature ( $r = -0.399$ ;  $r = -0.384$ ;  $r = -0.300$ ;  $p < 0.05$ ), while NO<sub>x</sub> had moderate and negative significant correlation with temperature ( $r = -0.538$ ;  $p < 0.05$ ). Temperature had a moderate significant correlation negatively with NO<sub>x</sub> and positively with O<sub>3</sub>. Temperature had a good significant correlation with NO negative and with O<sub>3</sub> positive ( $r = -0.693$ ;  $r = 0.752$ ;  $p < 0.05$ ). As with temperature, there was no statistically significant relationship between relative humidity and PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> ( $p > 0.05$ ). While there was a statistically positive, very weak / weakly significant relationship between relative humidity and SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and CO ( $r = 0.240$ ;  $r = 0.488$ ;  $r = 0.342$ ;  $p < 0.05$ ), there was a statistically positive and moderately significant relationship of relative humidity with NO and NO<sub>x</sub> ( $r = -0.611$ ;  $p < 0.05$ ). A negative, statistically significant and moderate correlation was found between relative humidity and O<sub>3</sub> ( $r = -0.611$ ;  $p < 0.05$ ). There was no statistically significant correlation between air pressure and NO<sub>x</sub> ( $p > 0.05$ ). While a very weak / weak, positive significant relationship was found between pressure and PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO and CO ( $r = 0.342$ ;  $r = 0.219$ ;  $r = 0.280$ ;  $r = 0.213$ ;  $p < 0.05$ ), a negative, very weak statistically significant relationship was found between pressure and NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> ( $r = -0.177$ ;  $r = -0.202$ ;  $p < 0.05$ ). The increase in temperature causes the evaporation that provides moisture to increase as well (Shaman and Kohn 2009). Since moisture has a direct effect on the felt temperature, it affects each other and causes the opposite effect to each other, as is the case with the results obtained on contaminants. The air is dry and calm under high pressure. Especially in big cities, if high pressure is effective for a long time, a dirty, foggy and misty air will be created. Therefore, the impact of pollutants on the environment will increase. This situation indicates that there will be an increase in the primary pollutant concentration during the periods when the pressure increases. As in this study, it is stated that the primary pollutant concentration increases with high pressure (Avdakovic et al., 2016).

**Table 4.** Annual correlation between selected air quality parameters

| Parameters        |   | PM <sub>10</sub> | PM <sub>2.5</sub> | SO <sub>2</sub> | NO      | NO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | O <sub>3</sub> | CO      |
|-------------------|---|------------------|-------------------|-----------------|---------|-----------------|-----------------|----------------|---------|
| PM <sub>10</sub>  | r | 1.000            | 0.759             | 0.525           | 0.492   | 0.153           | 0.420           | -0.207         | 0.661   |
|                   | p | -                | 0.001**           | 0.001**         | 0.001** | 0.005**         | 0.001**         | 0.001**        | 0.001** |
| PM <sub>2.5</sub> | r | -                | 1.000             | 0.430           | 0.367   | 0.293           | 0.462           | -0.346         | 0.529   |
|                   | p | -                | -                 | 0.001**         | 0.001** | 0.001**         | 0.001**         | 0.001**        | 0.001** |
| SO <sub>2</sub>   | r | -                | -                 | 1.000           | 0.566   | 0.277           | 0.499           | -0.417         | 0.521   |
|                   | p | -                | -                 | -               | 0.001** | 0.001**         | 0.001**         | 0.001**        | 0.001** |
| NO                | r | -                | -                 | -               | 1.000   | 0.490           | 0.780           | -0.528         | 0.769   |
|                   | p | -                | -                 | -               | -       | 0.001**         | 0.001**         | 0.001**        | 0.001** |
| NO <sub>2</sub>   | r | -                | -                 | -               | -       | 1.000           | 0.875           | -0.416         | 0.248   |
|                   | p | -                | -                 | -               | -       | -               | 0.001**         | 0.001**        | 0.001** |
| NO <sub>x</sub>   | r | -                | -                 | -               | -       | -               | 1.000           | -0.530         | 0.580   |
|                   | p | -                | -                 | -               | -       | -               | -               | 0.001**        | 0.001** |
| O <sub>3</sub>    | r | -                | -                 | -               | -       | -               | -               | 1.000          | -0.250  |
|                   | p | -                | -                 | -               | -       | -               | -               | -              | 0.001** |
| CO                | r | -                | -                 | -               | -       | -               | -               | -              | 1.000   |
|                   | p | -                | -                 | -               | -       | -               | -               | -              | -       |

r: Spearman’s correlation coefficient; \*p<0.05; \*\*p<0.01

**Identification of Pollutant Sources and Correlations of Some Pollutants**

CO/NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>, and PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratios can be used to determine the emission sources. The high CO/NO<sub>x</sub> and low SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> ratios is related to mobile source of pollutants, while low CO/NO<sub>x</sub> and high SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> ratios classified the point source. In addition, the PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratio is used to describe anthropogenic (high ratio) or natural (low ratio) resources (Sari et al., 2019; Dogruparmak and Ozbay, 2011; Xu et al., 2017). Sari et al. (2019) used the ratios such as CO/NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>, and PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> to characterize the sources of emission. In the study, it was stated that the CO/NO<sub>x</sub> ratio obtained in the winter and autumn seasons in 2016 and 2017 was low due to the effect of anthropogenic sources. While SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> ratio (0.09 and 0.16) indicates that mobile resources are effective, the increase in PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratio was affected by very high combustion sources in winter and industrial activities in summer (Sari et al., 2019). The pollutant ratios are presented in Table 5. A statistically significant difference was found between the seasonal CO/NO<sub>x</sub> measurements (p = 0.001; p <0.01). As a result of the paired comparisons; CO/NO<sub>x</sub> measurements in autumn season are higher than in winter, spring and summer seasons (p = 0.001; p <0.01). CO/NO<sub>x</sub> measurements in summer and spring are also higher than in winter (p = 0.001; p <0.01). No statistically significant difference was found between the CO/NO<sub>x</sub> measurements of summer and spring seasons (p> 0.05). A statistically significant difference was found between SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> measurements according to the seasons (p = 0.001; p <0.01). Moreover, SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> measurements in autumn season are higher than in winter and summer seasons (p = 0.001; p <0.01). SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> measurements in the spring season are also higher than in the winter and summer seasons (p = 0.001; p = 0.025; p <0.05, respectively). SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> measurements in summer are also higher than in winter (p = 0.001; p <0.01). No statistically significant difference was found between SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> measurements of autumn and spring seasons (p> 0.05). A statistically significant difference was found between PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> measurements according to the seasons (p = 0.001; p <0.01). As a result of pollutant ratios; PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> measurements in summer are higher than in winter, spring and autumn seasons (p = 0.032; p = 0.010; p = 0.001; p <0.05, respectively). No statistically significant difference was found between PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> measurements of other seasons (p> 0.05). In this study the lowest and the highest ratios of CO/NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> were determined in winter (the low ratio in winter indicates anthropogenic sources) and autumn seasons, respectively while PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratio was the highest level in summer season. According to these results, it can be thought that mobile-borne anthropogenic pollutants are effective in this study area.

**Table 5.** Evaluation of CO/NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratios according to the seasons

| Seasons | Statistics               | CO/NO <sub>x</sub>      | SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> | PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> |
|---------|--------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Winter  | Min-Max (Median)         | 4.7-12.8 (6.7)          | 0.01-0.11 (0.04)                 | 0.2-0.8 (0.4)                       |
|         | Mean±SD                  | 7.28±1.98               | 0.04±0.02                        | 0.44±0.15                           |
| Spring  | Min-Max (Median)         | 4.1-22.6 (14.6)         | 0.02-0.43 (0.1)                  | 0.1-9.5 (0.4)                       |
|         | Mean±SD                  | 13.90±5.25              | 0.12±0.08                        | 0.51±0.97                           |
| Summer  | Min-Max (Median)         | 5.7-31.7 (16.1)         | 0.03-0.26 (0.07)                 | 0.2-14 (0.5)                        |
|         | Mean±SD                  | 17.16±5.82              | 0.08±0.04                        | 1.38±2.83                           |
| Autumn  | Min-Max (Median)         | 7.9-44.8 (25.8)         | 0.02-0.36 (0.11)                 | 0.2-1 (0.4)                         |
|         | Mean±SD                  | 24.93±7.62              | 0.12±0.06                        | 0.10                                |
|         | <sup>a</sup> p           | 0.001**                 | 0.001**                          | 0.001**                             |
|         | Post Hoc; <sup>b</sup> p | 4 > 1, 2, 3<br>2, 3 > 1 | 2, 4 > 1, 3<br>3 > 1             | 3 > 1, 2, 4                         |

<sup>a</sup>Kruskal Wallis Test; <sup>b</sup>Bonferroni Dunn Test; \*\*p<0.01

#### 4. Conclusion

The measurements of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> and CO pollutants and meteorological parameters (air temperature, relative humidity and air pressure) were carried out in Ankara during the year 2019. The annual average concentrations were 50.15, 21.31, 5.97, 46.7, 39.715, 86.42, 17.77, 12 and 1070.91 µg/m<sup>3</sup>, respectively. All data were collected hourly and determined the concentration of all parameters at each hour to see the fluctuation so that when the pollution peaked, it was observed. The pollutant concentrations (excluding O<sub>3</sub>) started to rise in the morning and evening hours when the traffic was at its peak and was the highest level between 10:00-14:00 and 22:00-02:00. It was seen at the lowest values during daylight hours. In addition, the lowering of the boundary layer can be shown as the reason for the concentration increase in the evening, especially after 19:00. On the contrary, the ozone concentration started to increase after 10:00 and was observed at the highest level between 12:00-14:00, when the sunlight was at its peak. The increase in ozone concentration, which is a type of secondary pollutant, can be clearly explained by a photochemical reaction. The selected parameters were distributed seasonally and the highest level of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and CO was reported in autumn, the highest level of SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> was reported in winter, while O<sub>3</sub> was reported in summer. In this study the lowest and the highest ratios of CO/NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> were determined in winter (the low ratio in winter indicates anthropogenic sources) and autumn seasons, respectively while PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratio was the highest level in summer season. According to these results, it can be thought that mobile-borne anthropogenic pollutants are effective in this study area. A strong positive correlation was reported between PM<sub>10</sub> and both PM<sub>2.5</sub> and CO, and between NO and both CO and NO<sub>x</sub>. The strong correlation between these pollutants indicates that they can be affected by the same pollution source. The correlation method was applied to evaluate the relationship between selected air pollutants and meteorological factors. There was statistically significant correlation between air temperature and humidity with air pollutants except PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> as well as pressure with air pollutants except NO. The paired comparisons for the selected air quality parameters during the different seasons was investigated. A statistically significant difference was found between the seasonal CO/NO<sub>x</sub> measurements (p = 0.001; p < 0.01). Although the relation between air pollutants and meteorological parameters based on seasonal variation provide a significant difference. The statistical relationship between air quality parameters on a monthly, daily, and hourly basis in future work will provide more understanding about the behavior of air pollutants which will be useful for direct and immediate evaluation and action.

#### Acknowledgement

The authors would like to acknowledge the Ministry of Environment and Urbanization in Turkey for their support by providing the useful data on air quality.

#### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

#### References

- Avdakovic, S., Dedovic, M.M., Dautbasic, N., Dizdarevic, J., 2016. The influence of wind speed, humidity, temperature and air pressure on pollutants concentrations of PM<sub>10</sub>—Sarajevo case study using wavelet coherence approach. In 2016 XI International Symposium on Telecommunications (IEEE). <https://doi.org/10.1109/BIHTEL.2016.7775719>.
- Baran, B., 2021. Air quality index prediction in Besiktas district by artificial neural networks and k nearest neighbors, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 52-63. DOI: 10.21923/jesd.671836.

- Bari, M., Kindzierski, W.B., 2015 Fifteen-year trends in criteria air pollutants in oil sands communities of Alberta, Canada. *Environ. Int.* 74: 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.009>.
- Bozkurt, Z., Üzmez, Ö.Ö., Döğeroğlu, T., Artun, G., Gaga, E.O., 2018. Atmospheric concentrations of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, ozone and VOCs in Düzce, Turkey using passive air samplers: sources, spatial and seasonal variations and health risk estimation. *Atmos. Pollut. Res.* 9(6): 1146-1156. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.05.001>.
- Brook, R.D., Newby, D.E., Rajagopalan, S., 2017. The global threat of outdoor ambient air pollution to cardiovascular health: time for intervention. *JAMA Cardiology* 2(4): 353-354. doi:10.1001/jamacardio.2017.0032.
- Burnett, R., Chen, H., Szyszkwicz, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope, C.A., Apte, J.S., Brauer, M., Cohen, A., Weichenthal, S., Coggins, J., Di, Q., Brunekreef, B., Frostad, J., Lim, S.S., Kan, H., Walker, K.D., Thurston, G.D., Hayes, R.B., Lim, C.C., Turner, M.C., Jerrett, M., Krewski, D., Gapstur, S.M., Diver, W.R., Ostro, B., Goldberg, D., Crouse, D.L., Martin, R.V., Peters, P., Pinault, L., Tjepkema, M., Donkelaar, A.V., Villeneuve, P.J., Miller, A.B., Yin, P., Zhou, M., Wang, L., Janssen, N.A.H., Marra, M., Atkinson, R.W., Tsang, H., Thach, T.Q., Cannon, J.B., Allen, R.T., Hart, J.E., Laden, F., Cesaroni, G., Forastiere, F., Weinmayr, G., Jaensch, A., Nagel, G., Concin, H., Spadaro, J.V., 2018. Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 115(38): 9592-9597. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115>.
- Chandu, K., Dasari, M., 2020. Variation in concentrations of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> during the four seasons at the port city of Visakhapatnam, Andhra Pradesh, India. *Nat. Environ. Pollut. Technol.* 19(3): 1187-1193. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2020.v19i03.032>
- Clarke, K., Kwon, H.O., Choi, S.D., 2014. Fast and reliable source identification of criteria air pollutants in an industrial city. *Atmos. Environ.* 95(2): 239-248. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.06.040>.
- Çankaya Municipality, 2020. Çankaya Municipality 2020-2024 Strategic Plan. [http://www.cankaya.bel.tr/uploads/files/CANKAYA\\_BELEDIYE\\_STRATEJIK\\_PLAN.pdf](http://www.cankaya.bel.tr/uploads/files/CANKAYA_BELEDIYE_STRATEJIK_PLAN.pdf). Accessed 1 Jan 2021.
- De Foy, B., 2018. City-level variations in NO<sub>x</sub> emissions derived from hourly monitoring data in Chicago. *Atmos. Environ.* 176: 128-139. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.12.028>.
- Dogruparmak, Ş.Ç., Ozbay, B., 2011. Investigating correlations and variations of air pollutant concentrations under conditions of rapid industrialization-Kocaeli (1987-2009). *Clean-Soil Air Water* 39(7): 597-604. <https://doi.org/10.1002/clen.201000478>.
- EU, 2008. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. *Official Journal of the European Communities* 51:1-43. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:EN:PDF>. Accessed 1 Jan 2021.
- Genc, D.D., Yesilyurt, C., Tuncel, G., 2010. Air pollution forecasting in Ankara, Turkey using air pollution index and its relation to assimilative capacity of the atmosphere. *Environ. Monit. Assess.* 166(1): 11-27. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0981-y>.
- Ghorani-Azam, A., Riahi-Zanjani, B., Balali-Mood, M., 2016. Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran. *J Res Med Sci.* 21: 65. <https://doi.org/10.4103/1735-1995.189646>.
- Jenkin, M.E., Clemitshaw, K.C., 2000. Ozone and other secondary photochemical pollutants: chemical processes governing their formation in the planetary boundary layer. *Atmospheric Environment* 34(16): 2499-2527. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00478-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00478-1).
- Kadioglu, Y.K., Ustundag, Z., Solak, A.O., Karabiyiçoğlu, G., 2010. Sources of environmental pollution in Ankara (Turkey): geochemistry and traffic effects-PEDXRF applications. *Spectrosc. Lett.* 43(3): 247-257. <https://doi.org/10.1080/00387010903329391>.
- Li, L., Zhao, Z., Wang, H., Wang, Y., Liu, N., Li, X., Ma, Y., 2020. Concentrations of Four Major Air Pollutants among Ecological Functional Zones in Shenyang, Northeast China, *Atmosphere*, 11, (1070): 2 - 6. <https://doi.org/10.3390/atmos11101070>.
- MEU, 2020. National air quality monitoring network. <https://sim.csb.gov.tr/>. Accessed 23 Jan 2020.
- Mohan, S., Saranya, P., 2019. Assessment of tropospheric ozone at an industrial site of Chennai megacity. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 69(9), 1079-1095. <https://doi.org/10.1080/10962247.2019.1604451>.
- NCACAD, 2020. Annual Reports. <https://kiathm.csb.gov.tr/sayfa=31>. Accessed 1 Mar 2020.
- Njoku, P., Ibe, F.C., Alinnor, J., Opara, A., 2016. Seasonal variability of carbon monoxide (CO) in the ambient environment of Imo State, Nigeria. *Int. Lett. Nat. Sci.* 53: 40-52. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILNS.53.40>.
- Rani, B., Singh, U., Chuhan, A.K., Sharma, D., Maheshwari, R., 2011. Photochemical Smog Pollution and Its Mitigation Measures. *Journal of Advanced Scientific Research* 2(4): 28-33.
- RAQAM, 2008. Regulation of Air Quality Assessment and Management. <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=12188&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeli&mevzuatTertip=5>. Accessed 1 Mar 2021.
- Riga-Karandinos, A.N., Saitanis, C., 2005. Comparative assessment of ambient air quality in two typical Mediterranean coastal cities in Greece. *Chemosphere* 59(8): 1125-1136. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.11.059>.
- Sari, M.F., Tasdemir, Y., Esen, F., 2019. Major air pollutants in Bursa, Turkey: their levels, temporal changes, interactions, and sources. *Environ. Forensics* 20(2): 182-195. <https://doi.org/10.1080/15275922.2019.1597782>.
- Shaman, J., Kohn, M., 2009. Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(9): 3243-3248. <https://doi.org/10.1073/pnas.0806852106>.
- Sorvari, J., Rantala, L.M., Rantala, M.J., Hakkarainen, H., Eeva, T., 2007. Heavy metal pollution disturbs immune response in wild ant populations. *J. Environ. Poll.* 145(1): 324-328. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.004>.
- TSI, 2020. Population registration system results based on address. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2019-33705>. Accessed 1 Mar 2020.
- Tepe, A.M., Doğan, G., 2019. Türkiye'nin Güney Sahilinde Yer Alan Dört Şehrin Hava Kalitelerinin İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(3), 585-595. DOI: 10.21923/jesd.535124.
- Ulutaş, K., 2020. The level and temporal changes of major air pollutants in Körfez, Kocaeli. 2nd International Eurasian Conference on Science, Eng. and Technology October 07-09, 2020.

- [https://www.eurasiansciencetech.org/bildiri%20taslaklar%C4%B1/ProgrammeBook\\_EurasianSciEnTech\\_2020.pdf](https://www.eurasiansciencetech.org/bildiri%20taslaklar%C4%B1/ProgrammeBook_EurasianSciEnTech_2020.pdf). Accessed 1 Mar 2020.
- US EPA, 2012. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), Air and Radiation, US EPA. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>. Accessed 1 Nov 2021.
- US EPA, 2020a. Ground-level ozone pollution. <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ground-level-ozone-basics#effects>. Accessed 1 Nov 2020.
- US EPA, 2020b. Particulate Matter (PM) pollution. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>. Accessed 1 Nov 2020.
- US EPA, 2020c. Sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) pollution. <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#what%20is%20so2>. Accessed 1 Nov 2020.
- US EPA, 2020d. Carbon monoxide (CO) pollution in outdoor air. <https://www.epa.gov/co-pollution>. Accessed 1 Nov 2020
- US EPA, 2020e. Nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) pollution. <https://www.epa.gov/no2-pollution>. Accessed 1 Nov 2020.
- WHO, 2000. Air quality guidelines for Europe. WHO regional publications, European Series, No. 91. Copenhagen, Denmark. [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/74732/E71922.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf). Accessed 1 Nov 2020.
- Xu, G., Jiao, L., Zhang, B., Zhao, S., Yuan, M., Gu, Y., Liu, j., Tang, X., 2017. Spatial and temporal variability of the PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratio in Wuhan, Central China. *Aerosol Air Qual. Res.*, 17(3): 741-751. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2016.09.0406>.
- Yatin, M., Tuncel, S., Aras, N.K., Olmez, I., Aygun, S., Tuncel, G., 2000. Atmospheric trace elements in Ankara, Turkey: 1. Factors affecting chemical composition of fine particles. *Atmos. Environ.* 34(8): 1305-1318. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(98\)00297-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00297-0).
- Yousefian, T., Faridi, S., Azimi, F., Aghaei, M., Shamsipour, M., Yaghmaeian, K., Hassanvand, M., 2020. Temporal variations of ambient air pollutants and meteorological influences on their concentrations in Tehran during 2012–2017, *Scientific Reports* 10 (292). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56578-6>.
- Yurdakul, S., Ayyıldız, N., Çelik, V. E., İçöz, E., 2019. Süleyman Demirel Üniversitesi seçili dersliklerinin iç çevre kalitesi açısından incelenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(4), 811-818. DOI: 10.21923/jesd.541011.



## DESIGN OF CIRCULAR SLOTTED RECTANGULAR MICROSTRIP PATCH ANTENNA WITH DUAL-RESONANCE FOR WLAN/WIMAX APPLICATIONS

Sena Esen BAYER KESKİN<sup>1\*</sup>, Cem GÜLER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kırklareli University, Faculty of Engineering, Electrical and Electronics Engineering Dept., Kırklareli, Turkey

### Keywords

*Microstrip Patch Antenna,  
Wideband,  
Dual Resonance,  
WLAN,  
Circular Slotted.*

### Abstract

In this work, a design for enhancing bandwidth of a dual-resonant circular slotted patch antenna for 2.4-3.5 GHz WLAN/WiMAX applications is proposed and tested. The designed antenna is a modified form of the rectangular patch antenna consisting of three identical circular slots in antenna surface and it printed on an FR-4 substrate. This antenna has two different operating frequencies, with center frequencies of 2.592 and 3.338 GHz. Classical microstrip antennas yield a maximum bandwidth of about 8%. By incorporating slots in antenna, the bandwidth of the antenna is improved. The fractional bandwidth at 2.592 GHz is 50.9% and at 3.358 GHz is 39.5%. The proposed antenna is simulated, fabricated and tested. Measured results showed good agreement with the simulated results. The gain of the antenna is 2.169 dB at 2.59 GHz and 2.175 dB at 3.338 GHz.

## WLAN UYGULAMALARI İÇİN ÇİFT REZONANS FREKANSINDA ÇALIŞAN DAİRESEL YARIKLI DİKDÖRTGENSEL MİKROŞERİT YAMA ANTEN TASARIMI

### Anahtar Kelimeler

*Mikroşerit Yama Anten,  
Genişbant,  
Çift Rezonans,  
WLAN,  
Dairesel Yarık.*

### Öz

Bu çalışmada, 2,4-3,5 GHz WLAN/WiMAX uygulamalarında bant genişliği artırımı için çift rezonanslı dairesel yarıklı yama anten önerilmiş ve analiz edilmiştir. Tasarlanan anten, dikdörtgenel yama antenin yüzeyinden 3 tane dairesel yarık oluşturulması ile elde edilmiş ve anten FR-4 malzemesi kullanılarak üretilmiştir. Bu anten, merkez frekansları 2,592 GHz ve 3,338 GHz olmak üzere iki farklı çalışma frekansına sahiptir. Klasik mikroşerit antenlerin maksimum oransal bant genişliği %8 civarındadır. Klasik mikroşerit antene dairesel yarıkların açılması ile oransal bant genişliği 2,592 GHz merkez frekansında %50,9 artırılmış olup, 3,338 GHz merkez frekansında ise %39,5 artırılmıştır. Antenin kazancı 2,592 GHz'de 2,169 dB ve 3,338 GHz'de 2,175 dB olarak bulunmuştur. Önerilen antenin simülasyonu, üretimi ve analizleri yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçları ile tutarlı olduğu gözlenmiştir.

### Alıntı / Cite

Bayer Keskin, S. E., Güler, C., (2021). Design of Circular Slotted Rectangular Microstrip Patch Antenna with Dual-Resonance for WLAN/WiMAX Applications, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(4), 1296-1301.

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

S. E. Bayer Keskin, 0000-0001-8309-3393  
C. Güler, 0000-0002-6631-7559

### Makale Süreci / Article Process

|   |            |
|---|------------|
| <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 17.01.2020 |
| <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 15.09.2021 |
| <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 22.09.2021 |
| <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

## 1. Introduction

In recent years, it has become indispensable for mobile applications and wireless communication to operate multiple features at the same time. There is increasing demand for antennas having broad band and multiple resonance frequencies in recent years. The design of lightweight, low cost, high bandwidth microstrip antennas is essential for wireless devices to be able to transmit images, speech and data in various frequency bands at the

\* İlgili yazar / Corresponding author: senakeskin@klu.edu.tr, +90-288-214-05-14

same time. The patch antenna idea appeared to be proposed by Deschamps in the early 1950s. A few years later, a microstrip antenna patent was issued by Gutton and Baissinot. In the 1970s, thin, surface-compatible microstrip antennas were produced for military applications such as missiles and space shuttles. Microstrip antennas have many advantages such as being small in size, easy adaptation to electronic circuits, low power consumption, high performance, low cost, mechanical durability and dual frequency applications. Because of these advantages, they have become a widely used antenna type in almost all areas of wireless communication. However, microstrip antennas have disadvantages of narrow bandwidth and low efficiency as a result of various losses. Much of the development work in microstrip antennas has trying to overcome these problems, in order to satisfy systems requirements.

## 2. Literature Review

Data transmission in various frequency bands of wireless devices is achieved by using a multi-band or broad band antenna. Broad band and multiple resonance frequencies in microstrip patch antennas have recently been in increasing demand.

There are many studies in the literature covering the WLAN applications of microstrip patch antennas (Armağan vd., 2016; Yu vd., 2012; gemio vd., 2009). Yassin et. al. (2013) examined dual band rectangular microstrip patch antenna operating at 2.4 GHz and 3.5 GHz frequency. Return loss is -22 dB and -27 dB, bandwidths are 65 MHz and 50 MHz at 2.4 GHz and 3.5 GHz, respectively. Wu et. al. (2013) presented a C and T-shaped patch and a dual-band patch antenna consisting of a 50ohm microstrip line feeding these patches for wireless communication systems. The antenna is operating between 2.5 GHz and 3.5 GHz frequency. -10 dB impedance bandwidth is 200 MHz at 2.5 GHz (2.50 GHz-2.70 GHz) and 800 MHz at 3.5 GHz. Designed antenna is suitable for using Multi Input Multi Output (MIMO) systems. Rosaline et. al. (2015) suggested a microstrip antenna design with complementary split ring resonators (CSRR) developed from hexagonal microstrip patch antenna. The antenna operates at GSM 1.8 GHz and WLAN 3.5 GHz frequency bands. Antenna gain is 0.62 dBi and 1.07 dBi at 1.8 GHz and 3.5 GHz, respectively. Kumari et. al (2012) have designed a triangular two-element dielectric resonator antenna (DRA) array for wireless local area network (WLAN) and microwave access (WiMAX) applications. Impedance bandwidth of the suggested antenna is 2.16-2.94 GHz for 2.4 GHz WLAN applications and 3.22-3.63 GHz for 3.5 GHz WiMAX applications. Liu et. al (2016) presented a new design with linear polarization for the single-feed double-layer dual-band patch antenna. The antenna has E-shaped and U-shaped patches of 42 mm and 31 mm. Suggested antenna impedance bandwidths are 26.9% and 7.1%, respectively. Gupta et. al. (2015) suggested meander slot microstrip patch antenna for dual-band applications at 2400 MHz and 3500 MHz. Suggested antenna bandwidths are 177.4 MHz and 146.6 MHz and gains are 2.44 dB and 3.35 dB at 2400 MHz and 3500 MHz, respectively. It is observed that the slits on the patch and partial ground planes increased the bandwidth and gain on the microstrip patch antennas. (Değirmenci vd.,2014; İsmail vd., 2015; Sharma vd., 2012).

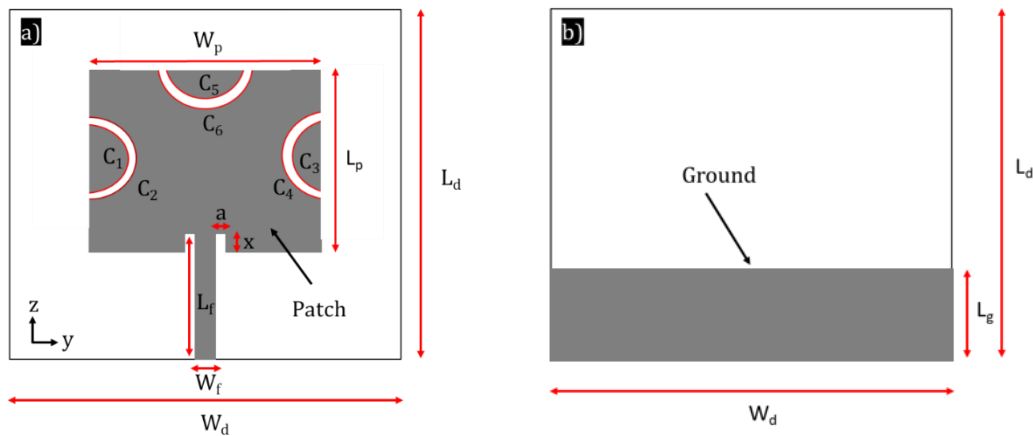
In this paper, a circular slotted microstrip patch antenna with dual-resonance is proposed and designed for. Wireless Local Area Network (WLAN, 2.4-3.5 GHz) applications as well as Worldwide interoperability for Microwave Access (WiMAX -IEEE 802.16e). The frequency range of the designed antenna is between 2.26 GHz and 3.58 GHz (1.32 GHz) and has a dual resonance frequency of 2.592 GHz and 3.338 GHz. Fractal Bandwidths are 50.9% at 2.592 GHz and 39.5% at 3.338 GHz resonance frequency. The proposed antenna designed and simulated using CST Microwave Studio. Numerical analysis results such as resonance frequency, bandwidth, directional gain, radiation efficiency and surface current distributions are included. Table 1 shows the comparison of the performance of similar antennas with the antenna proposed in this study. It is observed that the proposed antenna enhances the bandwidth.

**Table 1.** Comparison between different antenna designs.

| Study                   | Dimension (mm <sup>3</sup> ) | Operation Frequency        | Bandwidth (<-10 dB)             |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| (Yassin et. al., 2013)  | 4.6×36×1.6                   | 2.4 GHz and 3.5 GHz        | 65 MHz and 50 MHz               |
| (Wu et.al., 2013)       | 95×60×0.8                    | 2.5 GHz and 3.66 GHz       | 200 MHz and 800 MHz             |
| (Gupta et.al., 2015)    | 37.75×31.75×1.5              | 2.4 GHz and 3.5 GHz        | 177.4 MHz and 146.6 MHz         |
| (Kumari et.al., 2012)   | 60×56×1.6                    | 2.4 GHz and 3.5 GHz        | 780 MHz and 410 MHz             |
| (Liu et.al., 2016)      | 60×45×1.5                    | 2.4 GHz and 3.5 GHz        | 700 MHz and 260 MHz             |
| <b>Proposed Antenna</b> | <b>60×60×1.6</b>             | <b>2.4 GHz and 3.5 GHz</b> | <b>1320 MHz (2.26-3.58 GHz)</b> |

### 3. Material and Method

Microstrip patch antennas are formed by placing the radiating plane on the substrate in the desired geometry. The patch and ground plane generally have uniform geometries, but non-uniform geometries are also used. The substrate used in the proposed antenna is a FR-4 material having a thickness of 1.6mm, dielectric permeability of 4.3 and loss tangent of  $\tan \delta = 0.019 \approx 0.02$ . The patch is excited via  $50 \Omega$  microstrip transmission line. Designed dual-resonance microstrip patch antenna has partial ground structure and circular slots on the rectangular patch to improve the bandwidth. Figure 1 shows the geometry of the proposed antenna. Here,  $L_d$  is substrate length,  $W_d$  is substrate width and also ground width,  $L_p$  is patch length,  $W_p$  is patch width,  $L_f$  is feed line length,  $W_f$  is feed line width,  $C_1 = C_3, C_2 = C_4, C_5$  and  $C_6$  are angular length of circular slots,  $L_g$  is ground length,  $a$  is gap width of inset feed and  $x$  is gap length of inset feed.



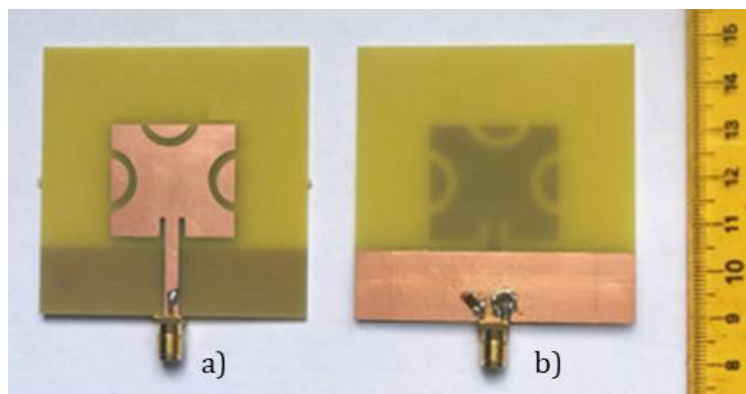
**Figure 1.** The structure of the proposed antenna, a) front view, b) rear view.

The dimensions of the proposed microstrip patch antenna is given in Table 2.

**Table 2.** Dimensions of the proposed antenna.

| Parameter  | $W_d=L_d$ | $W_p$ | $L_g$ | $W_f$ | $C_2=C_4$ | $C_1=C_3$ |
|------------|-----------|-------|-------|-------|-----------|-----------|
| Value (mm) | 60        | 28    | 15    | 3     | 19.98     | 13.69     |
| Parameter  | $L_f$     | $a$   | $x$   | $L_p$ | $C_5$     | $C_6$     |
| Value (mm) | 21.86     | 1.5   | 4.36  | 25    | 11.59     | 17.93     |

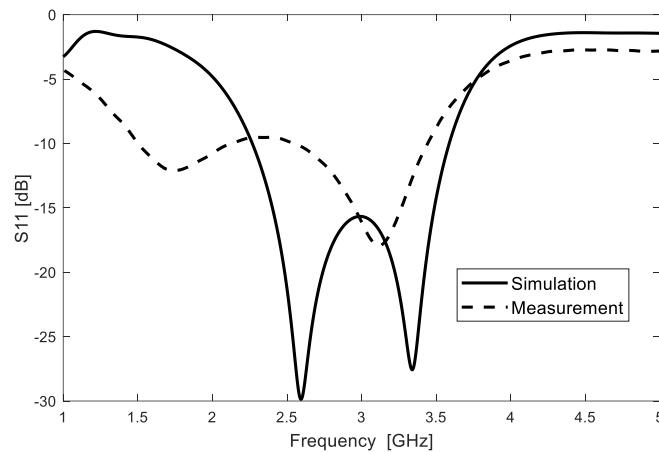
The antenna is built on a low-cost substrate 60 mm long and 60 mm wide. The structure is fabricated using the LPKF (S63) PCB prototyping machine on a low-cost FR4 substrate (loss tangent = 0.02) with 1.6 mm thickness and 4.3 relative permittivity. Fabricated antenna is shown in Figure 2.



**Figure 2.** Fabricated antenna a) front view, b) rear view.



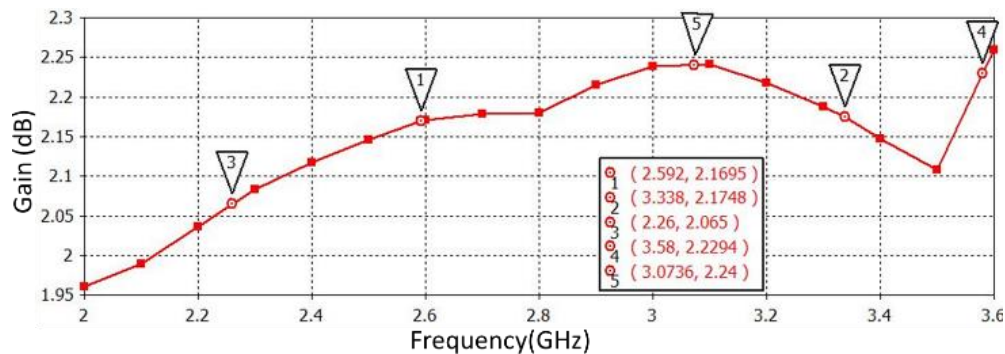
In Figure 3, the S-parameter ( $S_{11}$ ) versus frequency curve for the proposed antenna design is presented. Simulations are carried out by CST Microwave Studio. To validate the results, the fabricated antenna is measured using the Rohde&Schwarz vector network analyzer (VNA) with model no. ZVA40. According to the results in Figure 3, operating frequency range of the microstrip patch antenna with slots added rectangular is almost from 2.267 GHz to 3.587 GHz.



**Figure 3.** The simulation and measurement results for reflection coefficients of the proposed microstrip patch antenna.

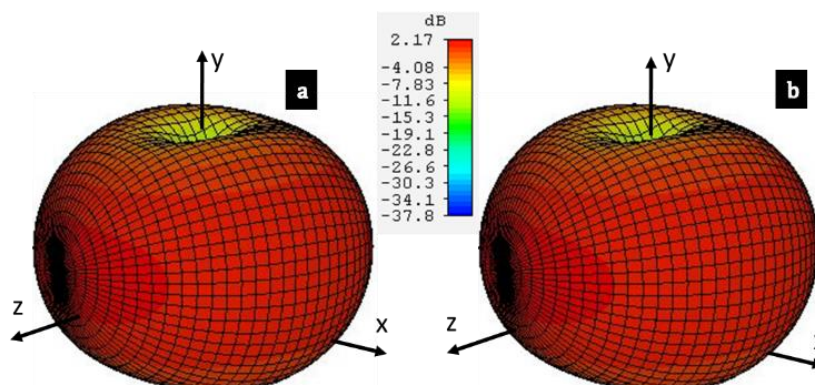
#### 4. Experimental Results

Figure 4 shows the gain (dB) of the proposed microstrip patch antenna. The antenna's gain has the tendency to increase with the increase in frequency within the UHF RFID band. From the figure it is noticed that the gain of antenna varies between 2.065 to 2.24 dB within the operating frequency band and with the maximum gain of 2.24 dB at 3.0736 GHz. The lowest gain is found at the 2.26 GHz frequency with a 2.065 dB. Designed antenna gain at resonance frequencies are 2.169 dB at 2.592 GHz and 2.175 dB at 3.338 GHz.



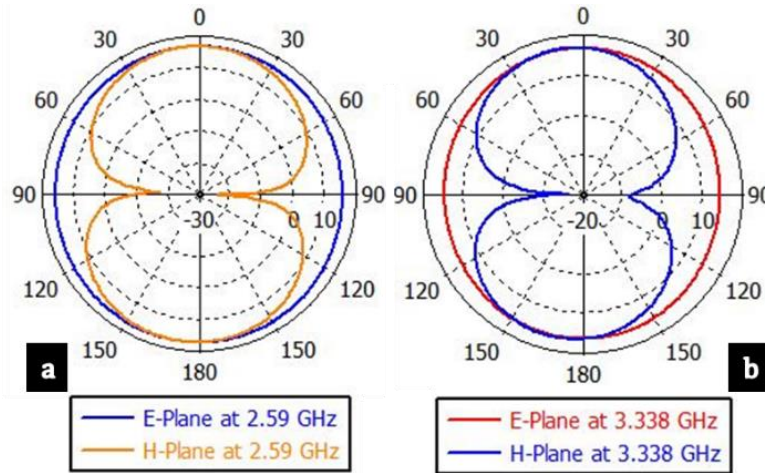
**Figure 4.** Gain (dB) versus frequency.

The 3D gain of the designed antenna is presented in Figure 5 a) at 2.592 GHz and b) 3.338 GHz. Designed microstrip patch antenna provides a maximum directive gain about 2.169 dB at 2.592 GHz and 2.175 dB at 3.338 GHz. Both resonance frequencies have nearly same gain values.



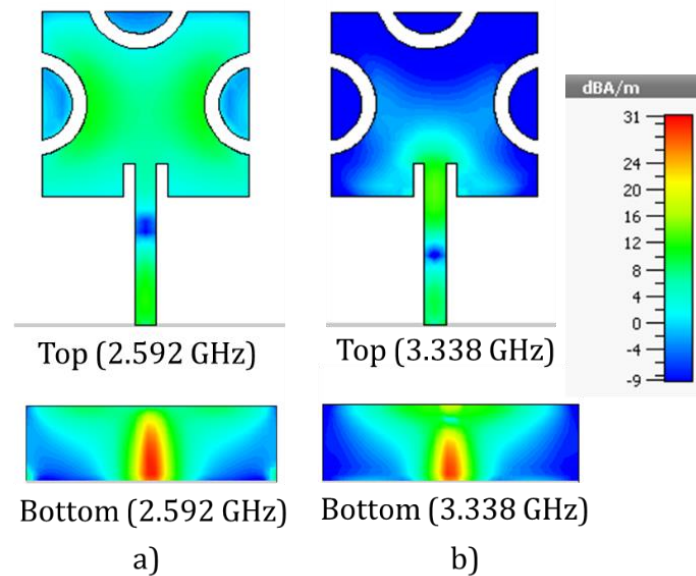
**Figure 5.** 3D Gain plot of the proposed antenna at a) at 2.592 GHz and b) at 3.338 GHz.

The simulated radiation pattern graphs of the proposed antenna are shown in Figure 6.



**Figure 6.** Simulated radiation patterns in the E and H planes for the proposed antenna (a) at 2.59 GHz and (b) at 3.338 GHz

Figure 7 shows the simulated current distribution in circular slotted microstrip patch antenna at 2.592 GHz and 3.338 GHz resonance frequencies. The current distribution is dense and well spread. Efficiency of the antenna depends on the current distribution. Designed circular slotted microstrip patch antenna surface current amplitude is  $150 \mu A/m$  at 2.592 GHz and  $151 \mu A/m$  at 3.338 GHz.



**Figure 7.** Surface currents of the proposed antenna a) for 2.592 GHz, b) for 3.338 GHz.

### 5. Results and Discussion

Microstrip antenna has become one of the most preferred antenna types in communication systems as it has small size, easy adaptation to electronic circuits, low cost and operating at multiple frequencies. In this study, a new antenna design has been proposed to meet the need for microstrip patch antenna designs such as broad band and multiple resonance frequencies arising from the reasons such as increasing the data transfer rate and the continuous data transfer WLAN/WiMAX band applications which are widely used in wireless communication systems. The designed antenna is a modified form of the rectangular patch antenna consisting of three identical circular slots in the patch surface. Proposed antenna has two different operating frequencies, with center frequencies of 2.592 and 3.338 GHz and by modifying antenna with slots, bandwidth of the antenna is improved by 50.9% and 39.5% at these resonance frequencies, respectively. The numerical analysis of the proposed antenna such as reflection coefficients (S11 parameters), directive gain, surface current and radiation patterns examined by using CST Microwave Studio. Return loss of the proposed antenna is -29.87 dB at 2.592 GHz and -27.57 dB at 3.338 GHz and 10 dB bandwidth is 1.32 GHz. Gain values are varying between 2.06 dB and 2.24 dB within the operating band. The proposed antenna has proven to be able to achieve high performance and is suitable for

wireless communication systems.

### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

### References

- Gupta, A. K., Kumar, N., 2015. Dual band meander slot antenna for mobile applications. 2015 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP), 828–830.
- Yassin, A. A., Saeed, R. A., 2013. Reconfigurable Dual Band Antenna for 2.4 and 3.5 GHz using Single PIN Diode. 2013 International Conference On Computing, Electrical And Electronic Engineering (ICCEEE), 63-66.
- Armağan, O., Kahrıman, M., 2016. 2.45 GHz, 3.7 GHz ve 5.8 GHz frekanslarda çalışan üç-bant yama anten tasarımı. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 4 (3), 189-193.
- Ding, Y., Zang, H. Z., Liu, W. L., Yang, B., 2012. Dual-band miniaturized printed antenna for WLAN applications. IEEE International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), 3, 1 -4.
- Değirmenci E., Akman H., Kahrıman M., 2014. ISM 1800 MHz ve 2450 MHz Frekanslarda Kullanılabilecek Daire ve Dikdörtgen Yarıkli Dual Band Anten Tasarımı. IEEE 22. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı. 23-25. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Gemio, J., Junkin, G., Parron, J., and Villarino, R., 2009. Resonator-loaded dual-band monopole for universal WLAN. IEEE Antennas Wireless Propag Lett., 8, 736-739.
- Kumari R., Behera S. K., 2012. A compact dual resonance dielectric resonator antenna array with partial ground plane. Proceedings of 1st international conference on recent advances in information technology (RAIT 2012). 809–812.
- Sharma, R., Kumar, M., 2012. Dual band microstrip- fed printed antennas for wireless applications. Fourth International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks, 37 – 40.
- Rosaline, S. I., Raghayan, S., 2015. Compact dual band antenna for GSM/WiMAX applications. 3rd International Conference on Signal Processing, Communication and Networking (ICSCN). 1–3.
- Ismail, S., Rahim, S., Ibrahim, A., Sabran, M., Mohamad, H., 2015. Dual band inverted H-shaped slot monopole antenna for WLAN applications. 2015 IEEE 12th Malaysia International Conference on Communications (MICC). 197–200.
- Liu, S., Wu, W., Fang, D. G., 2016. Single-feed Dual-layer Dual-and Eshaped and U-slot Patch Antenna for Wireless Communication Application. IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., 15, 468– 471.
- Wu, Y. T., Chu, Q. X., Yao, S. J., 2013. A dual-band printed slot diversity antenna for wireless communication terminals. 2013 IEEE International Wireless Symposium. 1-3.



## SOLARPILOT UYGULAMASIYLA ISPARTA İLİNDE GÜNEŞ KULESİ MODELLEMESİ

Serhat ŞEN\*, İbrahim ÜÇGÜL

Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji ABD, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

### Öz

Güneş Enerjisi,  
Heliostat Alan,  
Güneş Kulesi,  
Alıcı,  
SolarPILOT.

Bu çalışma, özellikle heliostat aynaların alıcıya odaklanarak yüksek sıcaklıklarda enerji üretimi için çalışmalarda bulunan Merkezi Odaklamalı Güneş Güç Sistemi veya Güneş Kulesi olarak adlandırılan sisteme ve sistem tasarımlarına farklı bakış açısı getirmek amacıyla SolarPILOT programı tanıtılmıştır. Isparta ili için günlük 10 MWt kapasiteli, yıllık enerji üretimi gerçekleştirilecek planlamasıyla, sistem uygulanabilirliği için sistem tasarımının en önemli hesaplama parametreleri olan heliostat alan ve heliostat alanın termal gücüne bağlı alıcı ve heliostat alan yerleşimi incelenmiştir. Bu işlemler için, güneş ışınım modeli, güneşlenme modeli, sistem tasarım parametreleri, heliostat seçim kriterleri, optimizasyon simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu hususların adım adım SolarPILOT uygulamasında kullanılan modeller açıklanarak, hesaplama için seçimi gerçekleştirilen model açıklamasıyla birlikte verilmiştir. Uygulama tasarım değerleri tespit edilmiş olup, uygulamanın yapılması planlanan arazinin yıllık ortalama DNI (Direct Normal Irradiation (Doğrudan Normal Işınım)) verisi tespit edilerek sistem optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Alan düzenlemesi gerçekleştirilerek sistem için gerekli heliostat alanı tespit edilmiştir. Yaklaşık termal kayıplar belirlenerek sistem hesaplamaları tamamlanmıştır. Bulgular, güneş kulesi modelinin Isparta ili için uygulanabilir olduğunu göstermiş ve tasarım parametreleri elde edilmiştir.

## SOLAR TOWER MODELING WITH THE SOLARPILOT APPLICATION IN ISPARTA

### Keywords

### Abstract

Solar Power,  
Heliostat Field,  
Solar Tower,  
Receiver,  
SolarPILOT.

In this study, the SolarPILOT program has been introduced to bring a different perspective to the system and system designs called Central Focused Solar Power System or Solar Tower, where studies are carried out for energy generation at high temperatures, especially by focusing on the receiver of heliostat mirrors. The most important calculation parameters of the system design for the system applicability, the heliostat area and the receiver and heliostat area settlement depending on the thermal power of the heliostat area, were examined for the province of Isparta, with a daily capacity of 10 MWt and annual energy production planning. For these processes, solar radiation model, insolation model, system design parameters, heliostat selection criteria, optimization simulation were performed. These issues are explained step by step the models used in the SolarPILOT application, together with the model description selected for calculation. The application design values were determined, and the system optimization was performed by determining the annual average DNI (Direct Normal Irradiation) data of the land to be implemented. The heliostat area required for the system was determined by field arrangement. The system calculations have been completed by determining the approximate thermal losses. The findings showed that the solar tower model is applicable for the province of Isparta and design parameters were obtained.

### Alıntı / Cite

Şen, S., Üçgül, İ., (2021). SolarPILOT Uygulamasıyla Isparta İlinde Güneş Kulesi Modellemesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1302-1325.

\* İlgili yazar / Corresponding author: serhatsen89@gmail.com , +90-246-211-1519

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process         |            |
|--|---|------------|
| S. Şen, 0000-0002-7688-9104              | <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 12.10.2020 |
| İ. Üçgül, 0000-0001-9794-0653            | <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 06.08.2021 |
|  | <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 15.10.2021 |
|  | <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

## 1. Giriş (Introduction)

Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Enerji Bakanlığı'nın (DOE) destekleriyle, Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından ücretsiz olarak System Advisor Model (SAM) programıyla yenilenebilir enerji sektöründe uygulama modellemeleri üzerine programlama gerçekleştiren, dünyada uygulama noktasında en fazla gerçekleştirilen 10 sistem için modelleme dizaynı gerçekleştirmiş olup, gün geçtikçe yeni versiyonlarıyla hem yeni modeller eklemekte, hem de mevcut modellerini geliştirmektedirler (SAM, 2020; NREL, 2020).

Bu uygulamaları gerçekleştirirken, bünyesindeki modellemeler için daha spesifik işlemlerin gerçekleştirilebilmesi amacıyla her model için ayrı program oluşturmaktadır. Bu hususta güneş kulesi hesaplarıyla ilgili olarak SolarPILOT programı geliştirilmiştir. Orijinal ismi "The Solar Power Tower Integrated Layout and Optimization Tool" olan SolarPILOT, Türkçe olarak "Güneş Enerjisi Kulesi Entegre Yerleşim ve Optimizasyon Aracı" olarak adlandırılmaktadır (NREL, 2020).

SolarPILOT, dünyada aktif olarak elektrik enerjisi üretimi gerçekleştiren güneş kulelerinin hesaplama parametrelerini kullanarak, geliştirdiği modelleme sayesinde, güneş kulesi tesisleri için ön fizibilite imkânı sunmaktadır. Bu sayede güncel güneş kulesi hesaplamalarında ilk aşama olarak, heliostat konumlandırma, hedefleme, uygulama arazi sınırlandırması, maliyet analizi vb. hususların incelenmesinde hem iş gücünden hem de zamandan tasarruf edilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada, ülkemizde güneş kulesi uygulamasının heliostat alan yansıtma verimliliği, uygulama için gerekli alan ve uygulanabilirliğinin tespiti için SolarPILOT uygulamasını kullanarak, gerçekleştirilen her adım ve modül aşama aşama açıklanarak, Isparta ilinde belirlenen alan üzerinde sistem hesaplamaları ve uygulanabilirliği ile ilgili araştırmalar gerçekleştirilmiş ve uygulamayı kullanmak isteyen araştırmacılara yardımcı olmayı hedeflemektedir. Programda maliyet analizi (markets, costs) hesaplamaları bulunmakta olup, uygulama esasında öncelikli olarak sistem tasarımı hesaplamaları olmasından dolayı, maliyet analizi işlemleri gerçekleştirilmemiştir.

## 2- Uygulama Yapılması Planlanan Alanın Belirlenmesi (Determination of the Area Planned for Implementation)

Elektrik Enerjisi üretim tesis tasarımlarında ilk olarak belirlenmesi ve incelenmesi gereken husus, kurulması planlanan tesisin uygulama alanıdır. SolarPILOT uygulamasında kullanıcılara, güneş kulesi sistemlerinin aktif olarak uygulama alanlarının güneş enerjisi verileri sistemde kayıtlıdır. Bu kayıtlar incelendiğinde başta Amerika'nın çoğu eyaleti olmak üzere Birleşik Arap Emirlikleri, İspanya, Portekiz, Peru, Kenya, Hindistan, Honduras, Guatemala, Etiyopya, El Salvador, Mısır, Küba, Çin, Şili, Kanada, Brezilya ve Avustralya ülkelerinde uygulama arazilerinin verileri mevcuttur.

Programda, uygulaması planlanan alan verileri olmaması durumunda, Avrupa Komisyonu (European Commission (EU)), Ortak Çalışma Merkezi (Joint Research Centre (JRC)) tarafından, Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)) bilgi merkezleri sayesinde, verileri mevcut olmayan Avrupa, Afrika, Arap yarımadası bölgelerini de kapsayan yaklaşık 150 ülkenin güneş verilerini belirtilen bilgi merkezlerinden elde ederek, SolarPILOT programında ekleyerek kullanmak mümkündür (European Commission, 2019).

Uygulama alanının güneş verileri, Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi" tarafından alınarak sisteme eklenilerek seçilmiştir. (Şekil 1.)

Uygulama alanı ve sistem kapasitesi olarak, Isparta ili, Süleyman Demirel Üniversitesi, Doğu Kampüsü, Teknokent yolu üzerinde mevcut boş bulunan arazi üzerinde günlük 10 MWh kapasiteli, yıllık enerji üretimi incelenmiştir.

## 2.1. Uygulama Bölgesi İklimsel Verileri (Climate)

### 2.1.1. Uygulama Alanı ve Verilerinin Belirlenmesi (Determination of the Area Planned for Implementation)

Uygulaması gerçekleştirilecek alanın verilerini, program verilerine ekledikten sonra uygulama arazisi lokasyonun seçilmesiyle, veri girişi otomatik olarak gerçekleştirilir (Şekil 1.).

Şekil 1. Uygulama Alanı Lokasyonu ve Konum Verileri (Application Area Location and Location Data)

Konumun seçilmesiyle, "Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi" tarafından veri girişi sayesinde otomatik olan doldurulan veriler gözükmemektedir. Weather file location name, uygulama alanının özel bir ismi mevcutsa onu belirtilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Weather file state name, uygulama arazisinin bulunduğu ülkeyi göstermektedir. Time zone olarak adlandırılan alan Greenwich Ortalama Zamanı(Greenwich Mean Time(GMT))ni ifade etmektedir. Plant latitude, uygulama gerçekleştirilecek alanın enlemini, plant longitude uygulama alanının boylamını belirtmektedir. Plant elevation, uygulama alanının deniz seviyesinden yüksekliğini ifade etmektedir. 2018 yılında gerçekleştirilen Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi neticesinde GMT + 03:00 kalıcı saat dilimine geçilmiş olup, veri sisteminde ülkemizin kalıcı saat dilimi güncellemesi gerçekleştirilmemiştir.

Uygulama alanı verilerimiz, yaklaşık olarak 37,8° enleminde 30,5° boylamında ve deniz seviyesinden 1013 m yüksekliktedir.

### 2.1.2. Uygulama Alanı Hava Koşulları Modelleri (Application Area Weather Conditions Models)

Uygulama lokasyonunun belirlenmesinin ardından Şekil 2.'de belirtilen hava şartlarının (atmospheric conditions) belirlenmesi gerekmektedir. Bu kriterler uygulama alanının, güneş ışınımının, güneşlenme modellerinin ve heliostat aynalardan güneş kulesine yansıtılan güneş ışınlarının, atmosferik sebeplerden ötürü ışınım azalmaları ile ilgili hesaplamaları gerçekleştirmektedir.

Uygulama alanı için ilerleyen aşamada, güneş şeklinin özellikleri modeli (sunshape model), güneşlenme modeli (insolation model) ve atmosferik zayıflama model (atmospheric attenuation model)leri açıklanarak sistemsel seçimleri gerçekleştirilmiştir.

Atmospheric conditions

Sunshape model: Gaussian sun

Sunshape angular extent: 4.65 [mrad]

Insolation model: Hottel model

Atmospheric attenuation model: DELSOL3 clear day

Note:  
The polynomial expresses loss fraction per kilometer of distance from the receiver.

0th order coefficient: 0.006789 [-]

1st order coefficient: 0.1046 [1/km<sup>1</sup>]

2nd order coefficient: -0.017 [1/km<sup>2</sup>]

3rd order coefficient: 0.002845 [1/km<sup>3</sup>]

Average attenuation: 9.7 [%]

Şekil 2. Hava Koşulları (Weather Conditions)

### 2.1.2.1. Güneş Işınım Şekli Modelleri (Sunshape Model)

Güneş ışınımı şekli, güneşin görünen şekli, daha teknik olarak, güneşin merkezinden açılal yer değıştirmenin bir fonksiyonu olarak akı yoğunluğunun profili olarak tanımlanır (Şekil 2.) (NREL, 2018; Lopez, 2016).

Programda güneş ışınımı şekli için mevcut modeller;

- Pillbox sun (Pillbox Güneş Modeli)
- Gaussian sun (Gauss Güneş Modeli)
- Limb- Darkened sun (Limb-Darkened Güneş Modeli)
- Point sun (Nokta Güneş Modeli)
- Buie CSR (Buie Güneş Modeli)
- User Sun (Kullanıcı Güneş Veri Giriş)

hesaplama için mevcuttur.

#### 2.1.2.1.1. Pillbox Güneş Modeli (Pillbox Sun)

Pillbox Sun modeli; güneş'i, güneş ışınımının açılal bir dağılımı olarak modelleyen ve güneşin etrafında çevrelenen güneş ışınımına bir yaklaşımdır. Pillbox modellemesi, diğel modellemelere göre hesaplaması daha basittir. Güneşin, belirli bir yarım açının güneş'in merkezinden bir yön konisi üzerinde sabit radyasyon ile sabit bir ışık kaynağı olarak görür ve daha yüksek açılarda sıfıra düşer, bu da açılal dağılımının sabit olduğu anlamına gelir. Pillbox modelinde radyasyonun dağılımı eşit kabul edilmektedir (Lopez, 2016; Cole ve Gottschalg, 2015).

#### 2.1.2.1.2. Gauss Güneş Modeli (Gaussian Sun)

Gaussian modeli; güneş şeklinin açılal genişlik değeriine eşit standart sapmaya sahip güneş merkezli bir gauss (standart normal) dağılımıdır. Bu model sınırlı doğrulukla bir yaklaşım olmasına rağmen, güneş şeklinin ilgilenilen tasarımlar üzerindeki etkisini parametrik olarak uygulamak için kullanılmaktadır. Havanın hem açık hem de bulutlu durumunda yüzeydeki anlık ve entegre güneş radyasyonu değelrini hesaplamaktadır. Yerleşim ve optimizasyon hesaplamalarında kullanım için ideal bir modeldir (NREL, 2018; Kamada vd., 1986; System Advisor Model, 2020).

#### 2.1.2.1.3. Limb-Darkened Güneş Modeli (Limb-Darkened Sun)

Güneşin dış çevresi daha düşük bir yoğunlukta gözlemlendiğinde, güneş merkezinden daha koyu görünür. Güneşin merkezinden, güneşin dış çevresinde görünür dalga boylarındaki yoğunluğun azalması dış çevresinde koyulaşır. Bu model, güneş yoğunluğunu, aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi, güneşin sentroidinden açılal mesafenin bir fonksiyonu olarak belirlenmektedir (NREL, 2018; Ramadevi, 2020):

$$\varnothing(\theta) = 1 - 0,5138\left(\frac{\theta}{0,00465}\right)^4 \quad (1)$$

Burada  $\varnothing(\theta)$ , yer değiştirme açısının bir fonksiyonu olarak güneşin yoğunluk profili,  $\theta$  ise güneşin sentroidinden yer değiştirme açısıdır.

#### 2.1.2.1.4. Nokta Güneş Modeli (Point Sun)

Nokta güneş modeli; güneşi, tüm güneşlenmenin tek bir sonsuz küçük bir noktadan kaynaklanıyormuş gibi modelleyen güneş ışınımına bir yaklaşımdır. Güneşlenmenin uzamsal dağılımı nokta kaynağı yaklaşımında dikkate alınmaz, bu nedenle açısal dağılımlar göz ardı edilir ve güneş ışını tek bir noktadan yayılmak üzere modellenir. Daha geniş bir açısal dağılım göz önüne alındığında, Pillbox yaklaşımında Point Sun yaklaşımından daha doğru olacaktır (Cole ve Gottschalg, 2015).

#### 2.1.2.1.5. Buie Güneş Modeli (Buies CSR)

Buie güneş modeli; güneşi ve güneşin etrafındaki ışın halkası (circumsolar aureole) enerjisini dikkate almaktadır. Buie, şeklinin daha gerçekçi bir model olduğunu fark etmek önemlidir, çünkü hem güneşi hem de güneşin etrafındaki ışın halkası dikkate alınmaktadır. Buie şekli için, güneşten gelen toplam enerjinin yüzdesi olarak ifade edilen, güneşin çevresinden gelen enerji olan Güneş Çevresi Oranı (Circumsolar Ratio (CSR)) değerlendirilmelidir (Lopez, 2016).

#### 2.1.2.1.6. Kullanıcı Güneş Veri Girişi (User Sun)

Uygulama gerçekleştirilecek alanın spesifik olarak güneş ışınlarının veri girişleri ile modelleme imkânı sunmaktadır.

6 model incelendiğinde Pillbox modeli hesaplamalar için ideal bir durumdur. Gaussian modeli hassas olup, hava şartlarında anlık ve entegre güneş radyasyonu değerlerini hesaplama imkânı sunması, çalışmalar için ideal bir modeldir. Limb-Darkened, Point ve Buies CSR modelleri ideal ve hassas ölçümler için uygulama imkânı mevcut olup, Gaussian modelinin uygun optimizasyon imkânı mevcut olmasından dolayı, bu çalışmanın sistem hesaplamalarında "*Gaussian Sun (Gauss Güneş Modeli)*" uygulaması tercih edilmiştir (Şekil 2.).

Gaussian modeli seçildiğinde sistem tarafından güneşin yıllık ortalama açısal genişliği verisi istenilmektedir. Güneş merkezindeki radyasyon yoğunluğunun, güneş ışığından uzaklıktaki açısal sapmadaki radyasyon yoğunluğuna eşdeğer olduğu düşünülür. Bu değer "*4,65 mrad'dir*" (Şekil 2.) (Wang vd., 2020).

#### 2.1.2.2. Güneşlenme Modelleri (Insolation Model)

Güneş enerjisi dönüşüm sistemleri, diğer enerji kaynaklarına dayanan sistemlerden farklıdır, çünkü enerji kaynağı değişen meteorolojik koşullara tabidir. Güneş enerjisi sistemi tasarlamak için ilgilenilen her alanda güvenilir güneşlenme verileri gereklidir (Şekil 2.) (Bird ve Hulstrom, 1980).

Programda güneşlenme özellikleri için mevcut modeller,

- Weather file data (Hava durumu verileri)
- Meinel model (Meinel modeli)
- Hottel model (Hottel modeli)
- Constant value (Sabit DNI değeri)
- Allen model (Allen modeli)
- Moon model (Moon modeli)

hesaplama için mevcuttur.

#### 2.1.2.2.2 Hava Durumu Verileri (Weather file data)

Şekil 1.'de seçimi gerçekleştirilmiş alanın yıllık güneşlenme zamanına göre hesaplama işlemleri gerçekleştirilmektedir.



### 2.1.2.2.2. Meinel modeli (Meinel Model)

Meinel modeli; zenit açısını ve dünya dışı güneş ışınımını içerir (Bird ve Hulstrom, 1980).

$$\delta = \delta_0[(1 - 0,14\alpha)e^{-0,357(\sec\theta_s)^{0,678}} + 0,14\alpha] \quad (2)$$

Burada;  $\delta$ , radyasyon yoğunluğu,  $\alpha$ , mesafe(km),  $\theta_s$ , Güneş zenit açısıdır.

### 2.1.2.2.3. Hottel modeli (Hottel Model)

Hottel modeli; güneş yoğunluğunu dünya dışı radyasyon, alan yüksekliği ve güneş zirve açısının bir fonksiyonu olarak hesaplamaktadır (NREL, 2018).

$$\delta = \delta_0(d + b e^{-c \sec \theta_s}) \quad (3)$$

Burada;

$$b = 0,5055 + 0,00595(6,5 - \alpha)^2$$

$$c = 0,2711 + 0,01858(2,5 - \alpha)^2$$

$$d = 0,4237 - 0,00821(6,0 - \alpha)^2$$

değerlerini almaktadır.

### 2.1.2.2.4. Sabit DNI Değeri (Constant Value)

İsminden de anlaşılacağı üzere sabit değer modeli; hesaplamalar sırasında sabit doğrudan normal ışınım (Direct Normal Irradiation (DNI)) değeri belirterek hesaplama gerçekleştirilmektedir.

### 2.1.2.2.5. Allen Modeli (Allen Model)

Allen modeli; güneşlenmeyi dünya dışı radyasyon, hava kütle düzeltme faktörü, yoğuşan su ve atmosferik basıncın bir fonksiyonu olarak hesaplamaktadır (NREL, 2018).

$$\delta = \delta_0 \left[ 1 - \frac{0,263(K+2,72)}{K+5} (m p)^\gamma \right] \quad (4)$$

Burada;

$$\gamma = \frac{0,367(K+11,53)}{K+7,88},$$

$$m = \frac{1}{\cos \theta_s} (\theta_s < 60^\circ) \text{ veya } m = \frac{1}{\cos \theta_s} - 41,972213(90 - \theta_s)^\beta (\theta_s \geq 60^\circ),$$

$$\beta = -2,0936381 - 0,04117341(90 - \theta_s) + 0,000849854(90 - \theta_s)^2$$

değerlerini almaktadır.  $m$ , açısal düzeltme faktörü,  $K$ , yoğuşan su ve  $p$ , atmosferik basıncı ifade etmektedir.

### 2.1.2.2.6. Moon Modeli (Moon Model)

Moon modeli, Allen modelinin alternatif bir regresyon formu olarak kullanılmaktadır (NREL, 2018).

$$\delta = \delta_0(0,183 e^{-\frac{m p}{0,48}} + 0,715 e^{-\frac{m p}{4,15}} + 0,102) \quad (5)$$

Burada;  $m$ , açısal düzeltme faktörü,  $K$ , yoğuşan su ve  $p$ , atmosferik basıncı ifade etmektedir.

Meinel ve Hottel modelleri, sisteme uygulama arazisi için yüklediğimiz veriler sayesinde otomatik olarak hesaplanmaktadır. Sabit değer modeli, DNI verilerini kullanıcı tarafından girilerek hesaplama sistem tarafından gerçekleştirilmektedir. Allen ve Moon modellerinde, ortam basıncı ve uygulama alanının atmosfer verileriyle işlem

gerçekleştirmektedir. Bu hususlardan dolayı Meinel veya Hottel modelleri uygulama için hesaplama açısından daha net verilerin oluşmasını sağlamakta olup, bu çalışmada sistem modellemesinde, "Meinel" modeli tercih edilmiştir.

### 2.1.2.3. Atmosferik Zayıflama Modelleri (Atmospheric Attenuation Model)

Heliostat aynalar tarafından yansıtılan güneş ışınları, bir güneş kulesi tesisinin alıcısına giderken atmosferik zayıflama nedeniyle azalır. Atmosferik Zayıflama, ışınımının emilmesi ve saçılması sonucunda dünya atmosferindeki elektromanyetik radyasyonun yoğunluğundaki azalma olarak tanımlanmaktadır. Zayıflama büyüklüğüne dair bilgi eksikliği, verim analizi ve kule tesisi tasarımındaki belirsizlikleri arttırmaktadır. Zayıflama, ayrı bir heliostat ile alıcının odak düzlemi arasındaki düz çizgi mesafesinin bir fonksiyonu olarak kısmi bir kayıp olarak ifade edilmektedir (NREL, 2018; Hanrieder vd., 2016) (Freedictionary, 2020).

Programda atmosferik zayıflama için mevcut modeller,

- DELSOL3 clear day (açık gökyüzü)
- DELSOL3 hazy day (bulutlu/kapalı gökyüzü)
- User-defined (kullanıcı tarafından veri girişi)

hesaplama için mevcuttur.

Mevcut model hesaplamaları için DELSOL tasarım veri tabanı modülünü kullanmaktadır. DELSOL, optik ve ekonomik analizleri içeren bir performans ve tasarım modülüdür. Modül, atmosferik zayıflama, ayna ve alıcı yansıtıcılığı, alıcı radyasyonu, konveksiyon ve boru kayıpları ile birlikte güneşlenme, kosinüs için kısalma, gölgeleme, bloke etme ve dökülmedeki farklılıkları hesaba katmaktadır (SAND, 2008).

DELSOL3 açık ve bulutlu gökyüzü zamanları için hesaplama ve uygulama imkânı sağlayan programda, uygulama günleri için seçim gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Sistemde DELSOL modülünün yanı sıra, uygulama alanı için elimizde bulunan verilere göre sisteme veri girişi yapma imkânı sağlamaktadır. Sistem hesaplamasında açık gökyüzü zamanları kullanılarak hesaplama yapılmıştır. SolarPILOT sistemine veri girişi gerçekleştirildiğinde Şekil 3.'deki sistem tarafından otomatik olarak veri kayıpları hesaplanmıştır.

The screenshot displays the configuration window for weather conditions in the SolarPILOT software. It is organized into several sections:

- Choose Climate/Location:** A search bar for filtering locations by name. A list of locations is shown, with "Turkey\_Isparta\_Teknokentload.epw" selected. Buttons for "Refresh list" and "Open folder location" are present.
- Location Information:** Fields for "Weather file location name" (unknown), "Weather file state name" (-), "Time zone" (2.0 [hr]), "Plant elevation" (1013.0 [m]), "Plant latitude" (37.8 [deg]), and "Plant longitude" (30.5 [deg]).
- Atmospheric conditions:** Dropdown menus for "Sunshape model" (Gaussian sun), "Insolation model" (Hottel model), and "Atmospheric attenuation model" (DELSOL3 clear day). A text input for "Sunshape angular extent" is set to 4.65 [mrad].
- Note:** A note explaining that the polynomial expresses loss fraction per kilometer of distance from the receiver. Below this, four coefficients are listed: 0th order coefficient (0.006789 [-]), 1st order coefficient (0.1046 [1/km^1]), 2nd order coefficient (-0.017 [1/km^2]), and 3rd order coefficient (0.002845 [1/km^3]). The "Average attenuation" is set to 9.7 [%].

Şekil 3. Uygulama Arazisinin Hava Şartları (Weather Conditions of the Application Area)

## 2.2. Sistem Tasarım Parametreleri (Layout Setup)

Tasarım noktası, programda uygulama alanına optimum şekilde yerleştirilmesi planlanan heliostatları ve heliostatların performansını değerlendirmek için kullandığı simülasyonları yapılandırmak için veri girişi sağlamaktadır. Performans simülasyonları, bir dizi şema kullanılarak yapılandırılabilir. Ayrıca heliostat performans sıralaması için tercih edilen yöntemin konfigürasyonuna izin verilmektedir (Şekil 4.) (NREL, 2018).

### 2.2.1. Tasarım Noktası Tanımı (Design Point Definition)

Tasarım Noktası, uygulama alanda kullanılması planlanan heliostatların hesaplama kriterlerini, seçimler sonucunda simülasyonu optimize olarak değerlendirmek için veri girişi sağlamaktadır (Şekil 4.).

Design point definition

Heliostat selection criteria: TOU-weighted power

Optimization simulations: Representative profiles

Number of days to simulate: 4 Simulation hour frequency: 2

| Day No. | Month    | Day | Peak DNI W/m2 | Total DNI kWh/m2 | No. hours |
|---------|----------|-----|---------------|------------------|-----------|
| 34      | February | 3   | 695.1         | 3.0              | 7         |
| 125     | May      | 5   | 843.1         | 4.5              | 8         |
| 216     | August   | 4   | 834.4         | 4.5              | 8         |
| 307     | November | 4   | 771.9         | 3.3              | 7         |

Design values

Solar field design power: 0 [MWt]

Design-point DNI value: 0 [W/m2]

Sun location at design point: Summer solstice

Field configuration

Tower optical height: 0 [m]

Layout method: Radial Stagger

Radial spacing method: No blocking-dense

Azimuthal spacing factor: 00

Azimuthal spacing reset limit: 0

Packing transition limit factor: 0

Offset slip plane for blocking

Allowable blocking in slip plane: 0

Advanced layout options

Enable optical layout zone method

Min. optical layout zone size - radial: 0.1 [tower-ht]

Max. optical layout zone size - radial: 1 [tower-ht]

Min. optical layout zone size - azimuthal: 0.1 [tower-ht]

Max. optical layout zone size - azimuthal: 1 [tower-ht]

Optical layout zone mesh tolerance: 0.001

Apply proximity filter

Proximity filter fraction: 0.03

Heliostat shading interaction limit: 00 [helio-ht]

Field Boundaries

Minimum solar field extent angle: 0 [deg]

Maximum solar field extent angle: 0 [deg]

Minimum heliostat distance: -1 [m]

Maximum heliostat distance: -1 [m]

Bounds scale with tower height

Maximum field radius: 9.5

Minimum field radius: 0.75

Use fixed land bounds

Maximum land radius (fixed): 2000 [m]

Minimum land radius (fixed): 100 [m]

Use land boundary array

Exclusions relative to tower position

Tower location offset - X: 0 [m]

Tower location offset - Y: 0 [m]

Import Export Rows: 4

|   | Type | No. | X | Y |
|---|------|-----|---|---|
| 1 |      |     |   |   |
| 2 |      |     |   |   |
| 3 |      |     |   |   |
| 4 |      |     |   |   |

Şekil 4. Sistem Tasarım Parametreleri (Layout Setup)

#### 2.2.1.1. Heliostat Seçim Kriterleri (Heliostat Selection Criteria)

Heliostatların tasarımı için uygulamada çeşitli seçenekler mevcuttur, ancak düzenli kullanım için Alıcı Gücü veya TOU(Time of use) Ağırlıklı Güç modelleriyle hesaplanması, sistem tasarım verimini daha net hesaplama imkanı sunmaktadır. Her bir heliostatın performansı, son mizanpajdaki tercihi sıralamak için aşağıdaki kriterlerden herhangi birinin kullanılabilmesi şeklinde tasarım noktası simülasyonu gerçekleştirme imkânı sunmaktadır (Şekil 4.) (NREL, 2018).

Programda heliostat seçim kriterleri için mevcut hesaplamalar,

- Power to receiver (Alıcı Gücü)
- Total efficiency (Genel Verimlilik)
- Cosine efficiency (Kosinüs Verimliliği)

- Attenuation efficiency (Atmosferik Kayıp Verimliliği)
- Intercept efficiency (Önleme Verimliliği)
- Blocking efficiency (Engelleme Verimliliği)
- Shadowing efficiency (Gölgeleme Verimliliği)
- TOU-weighted power (Kullanım Süresine Göre Üretim Gücü)

göre hesaplama imkânı mevcuttur.

Alıcı gücüne göre hesaplamada; heliostat aynalar tarafından yansıtılan güneş ışınlarının, alıcıya odaklandığında oluşturduğu termal güce göre hesaplama gerçekleştirilmesidir. Genel verimliliğe göre hesaplamada; uygulama sisteminde kayıpların sistem hesaplamasında düşülmesi sonucunda oluşan verimliliğe göre gerçekleştirilmesidir. Kosinüs Verimliliğine göre hesaplamada; heliostat alana gelen güneş ışını ile heliostatın yüzeyinde normal olan ve kosinüs etkisi olarak adlandırılan bir vektör arasındaki açıdan verimliliği hesaplanarak gerçekleştirilmesidir (Bouamra ve Merzouk, 2019). Atmosferik Kayıp Verimliliğine göre hesaplamada; Güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşırken atmosferik yaşanan kayıplar sonucunda oluşan verimliliğe göre hesaplanarak gerçekleştirilmesidir. Önleme verimliliğine göre hesaplamada, alıcıya gelen güneş ışınının, aynı yerde sonsuz büyüklükteki bir düzleme çarpacak güneş ışınımı varsayımıyla karşılaştırarak işlem gerçekleştirilmesidir (NREL, 2018). Bu alanda yaşanan yahut ileri zamanlarda yaşanabilecek kayıplar sonucunda oluşması tahmin edilen verimliliğe göre hesaplama gerçekleştirilmektedir. Engelleme Verimliliğine göre hesaplamada, uygulama alanına yerleştirilen heliostatın diğer heliostatın yansıtılan güneş ışını engellemesi sonucu yaşanan kayıplar sonucunda oluşan verimliliğe göre işlem gerçekleştirilmesidir. Gölgeleme Verimliliğine göre hesaplamada, uygulama alanına yerleştirilen heliostatın diğer heliostatı gölgesiyle engellemesi sonucu yaşanan kayıplar sonucunda oluşan verimliliğe göre işlem gerçekleştirilmesidir. Kullanım Süresine Göre Üretim Gücü hesaplamasında, bir nevi ekonomi modeli olarak düşünülebilecek bu model, ay, gün ve saat olarak sistemin uygulama sürecinde ürettiği elektriğin ücretlendirme tahsis faktörleri tarafından hesaplanması üzerine hesaplama gerçekleştirilmektedir (NREL, 2018).

Yapılan uygulama yıl boyunca aktif olarak kullanımı gerçekleştirileceğinden ve uygulama alanı açısından arazi ile ilgili yerleşim probleminin olmamasından kaynaklı, heliostatların birbirlerini gölgeme yahut engelleme gibi bir durumu söz konusu olmamasından ötürü, alıcı gücünden hesaplama gerçekleştirilmesi yukarıdaki kriterlere göre bu sistem için en uygundur. Bu çalışmada kullanılan sistemin "*Power to Receiver (Alıcı Gücü)*" modeli üzerinden hesaplaması gerçekleştirilecektir.

### 2.2.1.2. Optimizasyon Simülasyonları (Optimization Simulations)

Uygulama alanının yerleşimi için heliostat konumları çok önemlidir. Optimizasyon simülasyonları, uygulamada kullanılması planlanan heliostat özelliklerine göre heliostat alan düzenini bu çalışma için modellemektedir (Şekil 4.).

Programda optimizasyon simülasyonları için mevcut hesaplama modelleri,

- Subset of days/hours (Belirlenen Gün ve Saat Simülasyonu)
- Single Simulation Point (Tek Uygulama Noktası)
- Do not filter heliostats (Koşulsuz Heliostat Düzeni)
- Annual Simulation (Yıllık Simülasyon)
- Limited Annual Simulation (Sınırlı Yıllık Simülasyon)
- Representative profiles (Temsili Zamanla Simülasyon)
- Efficiency map + annual (Yıllık Verimlilik Verileri)

göre hesaplama imkanı mevcuttur.

Belirlenen Gün ve Saat Simülasyonu modeli, programın mevcut sürümünde aktifleştirilmemiştir. Tek Uygulama Noktası modeli, tek bir uygulama noktası için verilerin sisteme girilerek hesaplanması gerçekleştirilmektedir. Bu modellemeyi kullanabilmek için uygulamanın gerçekleştirileceği alanın hesaplanması istenilen tarihteki rüzgâr, basınç, DNI ve kuru termometre sıcaklıklarının bilinmesi gerekmektedir. Koşulsuz Heliostat Düzen modeli, uygulanabilir arazi bölgesindeki tüm heliostat konumlarından oluşmakta olup, bu model için veri girişine gerek bulunmamaktadır (NREL, 2018). Yıllık Simülasyon modeli, yılın her günü için simüle gerçekleştirilmekte olup, saatlik olarak hesaplama yapılmaktadır. Sınırlı Yıllık Simülasyon modeli, program tarafından düzenli aralıklarla seçilen günler üzerinden simüle gerçekleştirilir. Bu hususta, hesaplama için istenilen gün sayısı girildiğinde, model otomatik olarak günleri kendi ayarlamaktadır. Günler için verileri, sisteme yüklenen dosyadan almaktadır. Temsili Zamanla Simülasyon modeli, uygulama için belirlenen gün veya günlerdeki ortalama hava durumu verilerine dayanarak, yıl boyunca sınırlı sayıda gün için ortalama günlük profiller oluşturmaktadır. Bu seçenek sınırlı yıllık simülasyon seçeneğiyle aynı şekilde yapılandırılmış olmasına rağmen, seçilen veri noktaları yerine ortalama veriler kullanır (NREL, 2018). Yıllık Verimlilik Verileri modeli, sistem için yıllık verimlilik verileri

oluşturarak hesaplama gerçekleştirmektedir. Modelin hesaplaması için kaç gün üzerinden simüle etmesi isteniyorsa belirtilir. Belirtilen gün sayısı üzerinden model kendisi uygulama günü belirleyerek hesaplama gerçekleştirir (Şekil 4.).

Heliostatların uygulama alanına yerleştirilmesinde herhangi bir filtreleme işlemi gerçekleştirilmeden hesaplamaların yapılması için, bu çalışma için "*Representative Profiles (Temsili Zamanla Simülasyonu)*" modeli seçilerek işlemler gerçekleştirilmiştir. Seçilen modelde her ay için sistem tarafından farklı gün seçimi ve seçilen gün için saatlik verileri sistem tarafından otomatik olarak hesaplanmış ve uygulamada kullanılacak veriler Şekil 5. de sunulmuştur.

| Day No. | Month     | Day | Peak DNI W/m2 | Total DNI kWh/m2 | No. hours |
|---------|-----------|-----|---------------|------------------|-----------|
| 4       | January   | 4   | 349.4         | 2.4              | 11        |
| 34      | February  | 3   | 448.2         | 3.4              | 12        |
| 64      | March     | 5   | 609.0         | 5.0              | 13        |
| 95      | April     | 5   | 462.1         | 3.6              | 14        |
| 125     | May       | 5   | 487.8         | 4.1              | 15        |
| 156     | June      | 5   | 545.5         | 5.2              | 16        |
| 186     | July      | 5   | 819.8         | 8.2              | 16        |
| 217     | August    | 5   | 792.3         | 7.5              | 15        |
| 246     | September | 4   | 835.8         | 7.4              | 14        |
| 277     | October   | 4   | 603.4         | 4.6              | 13        |
| 307     | November  | 4   | 620.3         | 4.7              | 12        |
| 338     | December  | 4   | 514.8         | 3.5              | 11        |

Şekil 5. Representative Profiles Verileri (Representative Profiles Data)

Burada; Day No.; simülasyon için kullanılan yılın günü, month; simülasyon gününü içeren ay, day; simülasyon günü, Peak DNI; simülasyon gününde hava dosyasında gözlemlenen maksimum DNI, Total DNI; simülasyon gününde 1 m<sup>2</sup>'deki toplam DNI, No. Hours; simülasyon günündeki hesaplama yapılacak saatlerin periyod sayısını ifade etmektedir.

## 2.2.2. Uygulama Tasarım Değerleri (Design Values)

### 2.2.2.1. Güneş Alan Tasarım Gücü (Solar Field Design Power)

Alıcı tarafından sistemde kullanılması için istenilen güçtür. Tesis hesaplamasını günlük 10 MWt gücünde olacak şekilde heliostat alan tasarımı planlanmıştır (Şekil 4.).

### 2.2.2.2. Tasarım Noktası DNI Değeri (Design-Point DNI Value)

Uygulama alanında alıcının bulunduğu noktanın DNI verisidir. Uygulama gerçekleştirilecek alan verileri Tablo 1.'de verilmiş olup, yıllık ortalama DNI verisi üzerinden işlem gerçekleştirilecektir. Bu değer 4,4275 kWh/m<sup>2</sup>-yıl'dır. Uygulama hesabında 4,43 kWh/m<sup>2</sup>-yıl değeri kullanılacaktır.

Tablo 1. Uygulama bölgesi DNI verileri (Application Area DNI Data) (EİGM, 2020)

| AY                           | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık |
|------------------------------|------|-------|------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|
| DNI(kWh/m <sup>2</sup> -gün) | 2,06 | 2,53  | 4,21 | 5,3   | 6,29  | 6,8     | 6,75   | 6,07    | 5,09  | 3,8  | 2,41  | 1,82   |

Uygulama alanı hesaplamasında kullanılması uygun görülen yıllık DNI verisi ve uygulama bölgesinin aylık DNI verileri Tablo 2.'de belirtilmiştir.

Tablo 2. Isparta, SDÜ-Teknokent Yolu için Yıllık Ortalama DNI ve Aylık DNI Verileri (Isparta, SDÜ-Teknokent Road, Annual Average and Monthly DNI Data)

| AY                           | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık |
|------------------------------|------|-------|------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|
| DNI(kWh/m <sup>2</sup> -yıl) | 4,43 | 4,43  | 4,43 | 4,43  | 4,43  | 4,43    | 4,43   | 4,43    | 4,43  | 4,43 | 4,43  | 4,43   |
| DNI(kWh/m <sup>2</sup> -gün) | 2,06 | 2,53  | 4,21 | 5,3   | 6,29  | 6,8     | 6,75   | 6,07    | 5,09  | 3,8  | 2,41  | 1,82   |

### 2.2.2.3. Uygulama Alanı için Güneş Konumu (Sun Location at Design Point)

Uygulama hesaplaması için önemli noktalardan birisi de uygulama alanı için güneş konumudur (Şekil 4.).

Programda güneş konumu için mevcut hesaplamalar,

- Summer solstice (Yaz Gündönümü)
- Equinox (Ekinoks)
- Winter solstice (Kış Gündönümü)
- Zenith (Zenit)
- Other (Ek Veri Girişleri)

göre hesaplama imkanı mevcuttur.

Programa uygulama alanı verileri yüklenildiğinde güneş konumu için mevcut hesaplama verileri otomatik olarak sisteme yüklenmektedir. Güneş konumu seçimi gerçekleştirildikten sonra, sistem otomatik olarak hesaplama işlemlerini gerçekleştirmektedir. Yaz Gündönümü, güneşin dünyaya yaz gündönümü konumuyla işlem gerçekleştirilmektedir. Yaz gündönümü, güneş ışınlarının Yengeç Dönencesi'ne yılda bir kez (21 Haziran olarak kabul edilir) dik geldiği an olarak tanımlanmaktadır (Wikipedia Yaz Gündönümü, 2020). Ekinoks, dünya genelinde gece ve gündüz sürelerinin eşit olduğu gün olarak bilinir. Ekinoks, aydınlanma çemberinin kutuplardan geçtiği anda gerçekleşen bir olaydır. Güneş bu anda Kuzey Yarımküreyi ve Güney Yarımküreyi eşit miktarda aydınlatmaktadır. (Sarıgül, T., 2018; Wikipedia Ekinoks, 2020). Kış Gündönümü, güneş ışınlarının Oğlak Dönencesi'ne yılda bir kez (21 Aralık olarak kabul edilir), dik geldiği an olarak tanımlanmaktadır (Wikipedia Kış Gündönümü 2020). Zenit, yatay yüzey ( $\beta=0$ ) için güneş geliş açısıdır. Doğrudan güneş ışınımı ile yatay düzlemin arasındaki açıdır (Ceylan ve Gürel, 2017). Uygulamada, doğrudan güneş pozisyonu kullanımı gerçekleştirilmektedir (90° yükseklik, 0° azimut) (NREL, 2018). Ek Veri Girişleri, uygulama alanı için güneş konumu kullanıcı tarafından veri girişi yapılarak hesaplama imkânımız bulunmaktadır.

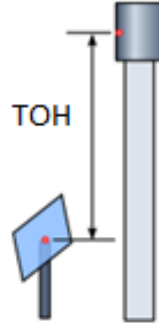
Yaz gündönümü, ekinoks, yaz gündönümü hesabı için kabul edilen 21 Haziran, kış gündönümü hesabı için kabul edilen 21 Aralık, ekinoks için, Kuzey Yarımküre'de yaklaşık olarak 21 Mart İlkbahar Ekinoksu - 23 Eylül Sonbahar Ekinoksu'dur. Güney Yarımküre'de yaklaşık olarak 21 Mart Sonbahar Ekinoksu- 23 Eylül İlkbahar Ekinoksu, tarihlerinde uygulama hesaplarının gerçekleştirilmesi için uygulama imkânı sunmaktadır.

Bu çalışmada, yıllık olarak genel sistem tasarımı gerçekleştirilmesi planlamasından dolayı zenit modeli uygulama için ideal olup, bu çalışmanın sistem hesaplamalarında "*Zenit Modeli*" uygulama için tercih edilmiştir.

### 2.2.3. Field Configuration (Alan Düzenlemesi)

#### 2.2.3.1. Kule Optik Yüksekliği (Tower Optical Height)

Kule optik yüksekliği, heliostat pivot noktası ile alıcının orta noktası arasındaki mesafeyi belirtmektedir (Şekil 6.). Bu çalışmada kullanılan sistem için bu değer 41 m'dir.



Şekil 6. Kule Optik Yüksekliği (Tower Optical Height) (NREL, 2018)

### 2.2.3.2. Heliostat Düzen Yönetimi (Layout method)

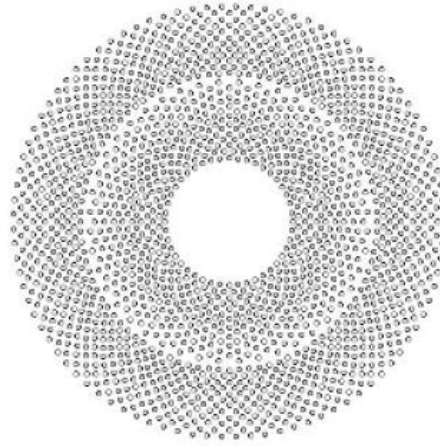
Genel güneş kulesi sistemlerinde uygulanan heliostat ayna alan uygulamalarının modellendirilmesidir (Şekil 4). Programda;

- Radial Stagger (Radyal Basamaklama)
- Cornfield (Mısır Tarlası)
- User-defined (Kullanıcı Tarafından Veri Girişi)

modelleri mevcuttur.

#### 2.2.3.2.1. Radyal Basamaklama (Radial Stagger)

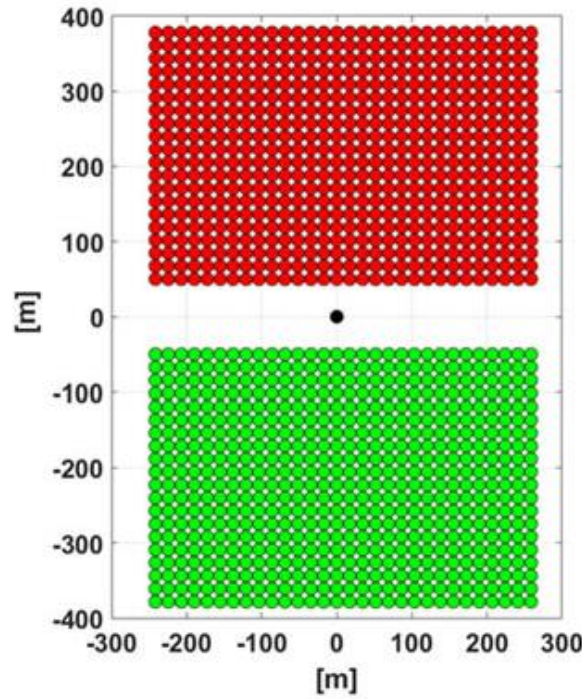
Heliostat yerleşimi için "radyal basamaklama" yöntemini kullanır. Bu yöntemde heliostat sıraları, sabit yarıçaplarda izo-azimuthal çizgileri boyunca dönüşümlü olarak yerleştirilir (Şekil 7.) (NREL, 2018).



Şekil 7. Radial Stagger Genel Arazi Yerleşimi (Radial Stagger General Land Overlay) (European Commission, 2020)

#### 2.2.3.2.2. Mısır Tarlası (Cornfield)

İsminden de anlaşılacağı üzere mısır tarlaları gibi aralarında belirli mesafe bırakılarak, düz bir sırada yerleştirme düzenidir. Bu yerleşimle gerçekleştirilen heliostat uygulamalarında üst görünümü dikdörtgen şeklini anımsatmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Cornfield Genel Arazi Yerleşimi (Cornfield General Land Overlay) (Gadalla ve Saghafifar, 2018)

#### 2.2.3.2.3. Kullanıcı Tarafından Veri Girişi (User-Defined)

Uygulama alanı için heliostat pozisyonlarını kullanıcı tarafından girilerek hesaplama imkânı bulunmaktadır (Şekil 4.).

Literatürde yapılan araştırmalara göre (bkz. (Arrif vd., 2018)), radial staggers düzeninin, cornfield düzeninden daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Bu husustan dolayı "*Radial Stagger (Radyal Basamaklama)*" yönetimi kullanımı uygulama için idealdir. Uygulama için seçilen modelde aşağıda belirtilen veri girişleri gerekmektedir. İstenilen veri girişleri;

- Radial spacing method (Radyal Aralık Yöntemi)
  - No blocking-dense (Engelleme Olmadan Heliostat Yerleşim)
  - Eliminate blocking (Engelsiz Heliostat Yerleşimi)
  - DELSOL Empirical Fit (DELSOL Ampirik Uyum)
- Azimuthal Spacing Factor (Azimut Aralığı Sınırı)
- Azimuthal Spacing reset limit (Azimut Aralığı Sıfırlama Sınırı)
- Offset slip plane for blocking (Engelleme için Ofset Kayma Düzlemi)
- Allowable blocking in slip plane (Kayma Düzleminde İzin Verilen Engelleme)

istenilmekte olup, aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

##### 2.2.3.2.3.1. Radyal Aralık Yöntemi (Radial Spacing Method)

Radial Stagger uygulamasını gerçekleştirmek için algoritma hesaplaması için radyal aralık yönetimi (Radial spacing method) belirlenmesi gerekmektedir (Şekil 4.). Programda;

- Eliminate blocking (Engelleme Olmadan Heliostat Yerleşim)
- No blocking-dense (Engelsiz Heliostat Yerleşimi)
- DELSOL Empirical Fit (DELSOL Ampirik Uyum)

modelleri mevcuttur.

Engelleme olmadan heliostat yerleşim modeli, heliostatların birbirlerini gölgeleme, bloklama gibi olayların yaşanmayacağı bir şekilde heliostat yerleşimini gerçekleştirmektedir. Engelsiz heliostat yerleşimi, engelleme olmadan heliostat yerleşimi modelinin bir varyasyonudur. Heliostat sıralarının arasındaki ayırım, izo-azimuthal çizgileri boyunca düşen heliostatların alıcıya görünümü engellememesi için kuleden her sıranın radyal mesafesinin bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır (NREL, 2018). DELSOL Ampirik Uyum modeli, DELSOL3



yazılımıyla sistemde kuleden uzaklığın, heliostat yüksekliğinin, heliostat genişliğinin, heliostat geometri tipinin (dikdörtgen, yuvarlak vb.) ve alıcı tipinin (bölmeli, silindirik vb.) çeşit aralığı korelasyonunu içermektedir (NREL, 2018).

Uygulama alanı açısından arazi ile ilgili yerleşim probleminin olmaması, heliostatların gölgeleme vb. birbirlerini engellemelerinden kaynaklı verim düşüşü istenilmediğinden dolayı Engelleme olmadan heliostat yerleşim modeli (Eliminate blocking), uygulama için tercih edilmiştir.

#### 2.2.3.2.3.2. Azimut Aralığı Sınırı (Azimuthal Spacing Factor)

Heliostatların, yapısal genişlikleri açısından aynı sıradaki heliostatlar arasındaki başlangıç aralığıdır. Kayma düzleminden sonra veya alanın ilk sırasındaki bir sıradaki heliostat ayrımı, Azimutal Aralık faktörünün Heliostat genişliği ile çarpılmasıyla belirlenir. Bu değer, her gruptaki ilk halkadaki heliostatlar arasındaki azimutal aralığı, heliostat genişliğinin "*iki (2) katına*" eşittir (Siala ve Elayeb, 2001).

#### 2.2.3.2.3.3. Azimut Aralığı Sıfırlama Sınırı (Azimuthal Spacing Reset Limit)

Bir kayma düzleminin uygulandığı ve sonraki radyal sıranın başlangıç azimut boşluğuna geri döndüğü aralık oranı sınırını ifade etmektedir. Azimutal aralık oranı, bir sıradaki heliostatlar arasındaki azimutal aralığın minimum (başlangıç) aralığa bölünmesiyle belirlenir. Herhangi bir satırdaki boşluğun ilk boşluğa oranı, boşluğun ilk değere nereye döneceğini belirler. Bu değer, (Mehos vd., 2017) sistem hesaplamalarında 1,21, (Wagner ve Wendelin, 2018) sistem hesaplamalarında 1,31, şu an uygulama sisteminde 1,33 olarak alınmaktadır. Güncel olarak uygulama alanının hesaplama detayları arttığında değer arttığı gözlemlenmiş olup, bu çalışmada "*1,33*" değeri kullanılması uygundur.

#### 2.2.3.2.3.4. Engelleme için Ofset Kayma Düzlemi (Offset Slip Plane for Blocking)

Etkinleştirilmesi durumunda, kayma düzleminden sonraki ilk satır (yani, azimutal aralığının başlangıç değerine sıfırlandığı ilk satır), kayma düzleminden önceki son satır ile ilk satır arasında engelleme ortadan kaldırılacak şekilde radyal olarak aralıklandırma işlemi için kullanılmaktadır.

#### 2.2.3.2.3.5. Kayma Düzleminde İzin Verilen Engelleme (Allowable Blocking in Slip Plane)

Kesirli bloklama, kayma düzleminden önceki iç sıra ile kayma düzleminden sonraki dış sıra arasında en olumsuz yerleştirme durumuna göre hesaplama gerçekleştirmektedir. 0 değeri, kayma sırası aralığının tüm olası engellemeyi ortadan kaldırmak için yeterli olacağını belirtirken, 1 değeri, alandaki konuma bağlı olarak bazı heliostatların tamamen bloke olabileceğini gösterir. Satırlar arasındaki boşluk, belirtilen değere bakılmaksızın çarpışmayı önlemek için yeterli olmalıdır (NREL, 2018).

Arazi alanı olarak bir problemin olmaması hem de yukarıda belirtilen hususlardan ötürü heliostat düzleminde verimliliğin azalmaması için "*sıfır (0)*" değerini alması idealdir.

### 2.2.4. Gelişmiş Düzen Seçenekleri (Advanced Layout Options)

#### 2.2.4.1. Optik Yerleşim Bölgesi Yöntemi (Enable Optical Layout Zone Method)

Optik yerleşim bölgesi yöntemi, heliostatları birbirine yakınlık ve bir tolerans bandı içindeki tahmini kesme faktörüne göre bölgelere gruplandırır. Bölgenin boyutu ve konumu, kesme faktörünün yerel tahminine bağlı olup, mekânsal olarak değişiklik göstermektedir. Tek bir bölge içindeki heliostatlar, yerleşim simülasyonları sırasında, her bölge için kesişme faktörünün, bölgenin sentroidi kullanılarak sadece bir kez hesaplanacağı şekilde birlikte düşünülür. Bu bölgedeki heliostatlar, bölge genelindeki kesişim değerini referans alır, ancak her bir heliostat için diğer tüm optik terimler hesaplanır. Bu yöntem hesaplama maliyetini azaltır, ancak nihai düzeni değiştirebilir ve dikkatli kullanılmalıdır (NREL, 2018).

Bu hususla alakalı daha önceki adımlarda alan modeli seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu husustan dolayı, bu çalışmada uygulanmamıştır.

#### 2.2.4.2. Heliostat Gölgeleme Etkileşim Sınırı (Heliostat Shading Interaction Limit)

Heliostat bloke etme ve gölgeleme, gelen ışınlama yönü boyunca heliostat köşe noktalarından vektörler yansıtılarak ve vektörlerin yakındaki bir bölgedeki diğer heliostatlarla kesişip kesişmediğini belirleyerek

hesaplanmaktadır. Heliostatların test edildiği bölgenin yarıçapı, heliostat yüksekliği ile heliostat gölgeleme etkileşim sınırı çarpılarak hesaplanır. Varsayılan olarak, bu değer 100'e eşittir. Beklendiği gibi, daha düşük güneş açılarında yakınsama için daha büyük bir sınır gereklidir. Çoğu durumda, yakınsama için 50 sınırı yeterlidir (NREL, 2018).

Uygulama planlanan arazi için güneş açıları incelendiğinde (bkz. (European Commission, 2019)) "100" değeri uygulama hesaplamalarında kullanılmıştır.

### 2.2.5. Alan Sınırları (Field Boundaries)

Bu model, heliostatların yerleştirileceği arazi bölgesini belirlemek için çeşitli alternatifler sunmaktadır. Seçenekler arasında, arazi alanının kule yüksekliğinin bir fonksiyonu olduğu ölçekli sınırlar, heliostatların yerleştirilebileceği kule etrafında ortalanmış minimum ve maksimum sabit yarıçapı belirten sabit sınırlar ve dâhil edilen veya hariç tutulan arazi alanlarını temsil edebilecek çokgen şekiller belirtme seçeneği bulunmaktadır. Aynı anda birden çok arazi sınırı yöntemi kullanılabilir. Aşağıdaki bölümde, alan sınırlarını özelleştirmek için seçenekler ve girdiler açıklanmaktadır (Şekil 4.) (NREL, 2018).

Minimum Güneş Açısız Alanı (Minimum Solar Field Extent Angle), heliostatların yerleştirilebileceği saat yönünün tersine istikamette açısız değerlerle belirlenmektedir.  $-180^{\circ} = +180^{\circ} =$  Güney;  $0^{\circ} =$  Kuzey;  $+90^{\circ} =$  Doğu;  $-90^{\circ} =$  Batı yönlerini ifade etmektedir (NREL, 2018). Maksimum Güneş Açısız Alanı (Maximum Solar Field Extent Angle), heliostatın yerleştirilebileceği saat yönünde açısız değerlere göre sınırları belirlenmektedir.  $-180^{\circ} = +180^{\circ} =$  Güney;  $0^{\circ} =$  Kuzey;  $+90^{\circ} =$  Doğu;  $-90^{\circ} =$  Batı yönlerini ifade etmektedir (NREL, 2018). Bu çalışmada, minimum ve maksimum güneş alan açısı " $\pm 180^{\circ}$ " değerindedir. Minimum Heliostat Mesafesi (Minimum Heliostat Distance), bir heliostatın alıcı konumundan uzağa yerleştirilebileceği gerçek minimum radyal mesafeyi belirtmektedir. Bu değer yalnızca kule yüksekliğine sahip sınır ölçeği ve sabit arazi sınırları seçeneklerini kullanmak için hesaplanmaktadır. Maksimum Heliostat Mesafesi (Maximum Heliostat Distance), bir heliostatın alıcı konumundan uzağa yerleştirilebileceği gerçek maksimum radyal mesafeyi belirtmektedir. Bu değer yalnızca kule yüksekliğine sahip sınır ölçeği ve sabit arazi sınırları seçeneklerini kullanmak için hesaplanır. Minimum ve maksimum heliostat mesafesi değerleri sistem tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır.

### 2.2.6. Kule Yüksekliği Sınırları (Bounds Scale with Tower Height)

Uygulama arazisinin belirli alan sınırlamalarından kaynaklı, arazinin minimum ve maksimum alan sınırlarının kule yüksekliğine ölçeklenip ölçeklenmeyeceğinin hesabını gerçekleştirmektedir.

#### 2.2.6.1. Maksimum Alan Yarıçapı (Maximum Field Radius)

Heliostatların sahaya yerleştirilebileceği eşdeğer kule yükseklikleri bakımından maksimum radyal mesafe değeridir. Gerçek mesafe, kule yüksekliği ile çarpılan bu değere eşittir. Alıcı ile son sıra heliostat arasındaki maksimum mesafe olarak da ifade edilebilir. Bu çalışmadaki sistem için "10" değeri alındığında minimum heliostat mesafesi "410 m" olmaktadır.

#### 2.2.6.2. Minimum Alan Yarıçapı (Minimum Field Radius)

Heliostatların sahaya yerleştirilebileceği eşdeğer kule yükseklikleri bakımından minimum radyal mesafe değeridir. Gerçek mesafe, kule yüksekliği ile çarpılan bu değere eşittir. Alıcı ile ilk sıra heliostat arasındaki minimum mesafe olarak da ifade edilebilir. Bu çalışmadaki sistem için "0,5" değeri alındığında minimum heliostat mesafesi "20,5 m" olmaktadır.

Maksimum ve minimum alan yarıçapları için sistemsel değer belirlemeleri, uygulama aşamasında değerlerin denenerek heliostat verimliliklerinin optimum seviyede olmasına dikkat edilerek seçilmiştir. Maksimum alanın artması ve minimum alanın güneş kulesine yakın olması, heliostat ayna yansıtma verimliliğinin düşük olmasına sebebiyet vermesinden ötürü, sistemin genel değerlendirmeleri neticesinde tavsiye ettiği değerler de incelenerek, ortalama olarak belirtilen değerler tespit edilerek kullanılmıştır.

### 2.2.7. Sabit Arazi Sınırları (Use Fixed Land Bounds)

Minimum ve maksimum alan sınırlarının, sabit minimum ve maksimum değerleriyle sınırlanıp sınırlanmayacağına hesabı gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada uygulama arazisi alan sınırlandırması olmadığından dolayı hesaplama yapılmasına ihtiyaç bulunmamaktadır.

Design point definition

Heliostat selection criteria: Power to receiver

Optimization simulations: Representative profiles

12 Number of days to simulate: 1 Simulation hour frequency

| Day No. | Month    | Day | Peak DNI W/m2 | Total DNI kWhr/m2 | No. hours |
|---------|----------|-----|---------------|-------------------|-----------|
| 4       | January  | 4   | 349.4         | 2.4               | 11        |
| 34      | February | 3   | 448.2         | 3.4               | 12        |
| 64      | March    | 5   | 609.0         | 5.0               | 13        |
| 95      | April    | 5   | 462.1         | 3.6               | 14        |
| 125     | May      | 5   | 487.8         | 4.1               | 15        |

Design values

Solar field design power: 10 [MWt]

Design-point DNI value: 443 [W/m2]

Sun location at design point: Zenith

Field configuration

Tower optical height: 41 [m]

Layout method: Radial Stagger

Radial spacing method: Eliminate blocking

Azimuthal spacing factor: 2

Azimuthal spacing reset limit: 1.33

Packing transition limit factor: 1

Offset slip plane for blocking

Allowable blocking in slip plane: 0

Advanced layout options

Enable optical layout zone method

Min. optical layout zone size - radial: 0.1 [tower-ht]

Max. optical layout zone size - radial: 1 [tower-ht]

Min. optical layout zone size - azimuthal: 0.1 [tower-ht]

Max. optical layout zone size - azimuthal: 1 [tower-ht]

Optical layout zone mesh tolerance: 0.001

Apply proximity filter

Proximity filter fraction: 0.03

Heliostat shading interaction limit: 100 [helio-ht]

Field Boundaries

Minimum solar field extent angle: -180 [deg]

Maximum solar field extent angle: 180 [deg]

Minimum heliostat distance: 20.5 [m]

Maximum heliostat distance: 410 [m]

Bounds scale with tower height

Maximum field radius: 10

Minimum field radius: 0.5

Use fixed land bounds

Maximum land radius (fixed): 2000 [m]

Minimum land radius (fixed): 100 [m]

Use land boundary array

Exclusions relative to tower position

Tower location offset - X: 0 [m]

Tower location offset - Y: 0 [m]

Import Export Rows: 4

| Type | No. | X | Y |
|------|-----|---|---|
| 1    |     |   |   |
| 2    |     |   |   |
| 3    |     |   |   |
| 4    |     |   |   |

Şekil 9. Isparta, SDÜ-Teknokent Yolu için Uygulama Parametreleri (Application Parameters for Isparta, SDÜ-Teknokent Road)

Uygulama alanı için belirlenen parametreler sisteme girildiğinde Şekil 9.'daki veriler ortaya çıkmaktadır.

## 2.3. Heliostatlar (Heliostats)

### 2.3.1. Uygulama için Kullanılacak Heliostat Modeli (Heliostat type use)

Sistemde, birden fazla heliostat geometrisini aynı uygulama alanında modelleme imkânı bulunmaktadır. Bu hususla alakalı programda;

- Use Single Template (Tek Heliostat Boyutu Kullanımı)
- Specified Range (Farklı Geometrideki Heliostat Aralıkları)
- Even Radial Distribution (Eşit Radyal Dağılımlı)

modelleri mevcuttur (Şekil 10.).

Tek heliostat boyutu kullanımı modelinde, uygulama alanında tüm heliostatlar aynı geometriye sahiptir. Heliostat ile ilgili hesaplamaların tamamında tek bir heliostat sistemi kullanılmaktadır. Farklı geometrideki heliostat aralıkları modelinde, uygulama alanında farklı geometrik özellikleri olan heliostat aynaların alana yerleşimi hesabı için kullanılmaktadır. Bu hesaplamaların gerçekleştirilebilmesi için geometrik özellikleri farklı heliostat aynaların radyal ve azimutal aralıklarının belirtilmesi gerekmektedir. Eşit radyal dağılımlı modelinde, radyal dağılımda, uygulamada kullanılması için planlanan heliostat aynalar eşit aralıklı radyal alan kaplayacak şekilde atamaktadır.

Tek bir heliostat geometrisi kullanılacağından dolayı *“Use Single Template (Tek Heliostat Boyutu Kullanımı)” modeli* uygulama için tercih edilmiştir. Uygulama için veri girişi sağlanacak heliostat Template 1 olarak adlandırılmıştır. Sistemde yaşanan problemden kaynaklı ismi değiştirilmemiştir.

Heliostat geometrisi (Heliostat Geometry), heliostat kaidesini belirlemek için parametreler içermektedir. Heliostat eni (Structure Width), heliostat yapısının yatay boyutudur. Bu çalışmada sistem için kullanılan değer "6m'dir". Heliostat Yüksekliği (Structure Height), heliostat yapısının yükseklik boyutudur. Bu çalışmada sistem için kullanılan değer "4m'dir". Heliostat Çarpışmama Yarıçapı (Heliostat Collision Radius), heliostatların birbirleriyle çarpışmaması için aralarında oluşturulması gereken mesafeyi belirtmektedir. Bu değer otomatik olarak hesaplanmakta olup veri girişi gerçekleştirildiğinde, bu çalışmada sistem için kullanılan değer "3,6 m'dir". Birden Fazla Farklı Boyutlarda Heliostat Ayna Kullanımı (Use Multiple Panels), heliostat'ı kaide kullanarak çoklu modelleme imkânı sunmaktadır. Uygulama için tek bir heliostat boyutu kullanımı gerçekleştirildiğinden dolayı bu modelin kullanılmasına gerek yoktur.

### 2.3.3. Odaklama Parametreleri (Focus Parameters)

Heliostat aynaların alıcıya odaklanması için programda;

- Flat (Eğimsiz)
- At slant (Eğimli)
- Group average (Ortalama Eğimli)
- User-defined (Kullanıcı Veri Girişli)

modelleri kullanılır.

Eğimsiz modelde, heliostatın eğriliği yoktur ve düz, düzlemsel bir yüzey olarak işlem gerçekleştirilir. Eğimli modelde, heliostat odak uzaklığı, heliostat pivot noktası ile alıcı centroid arasındaki mesafeye eşit olarak gerçekleştirilir. Ortalama Eğimli modelde, heliostat odak uzunluğu, geçerli şablonu kullanan tüm heliostatların ortalama eğim aralığına eşit olarak hesaplama işlemi gerçekleştirilir. Kullanıcı Veri Girişli modelde, odak uzunluğunu hem yatay hem de dikey yönlerde belirleyerek hesaplama işlemi gerçekleştirilir.

Bu dört (4) modelden "Flat (Eğimsiz)" modelin kullanılması uygulama için tercih edilmiştir.

### 2.3.4. Optik Sapma Parametreleri (Optical Error Parameters)

#### 2.3.4.1. Açısal Sapmalar (Pointing Errors)

Yükseklik Açısal Sapması (Elevation Pointing Error), normal bir dağılım varsayıldığında, yükselme tahrikindeki açısal hatanın standart sapması. Bu değer, (Qui vd., 2020) için sistem hesaplamalarında 0.46 mrad olarak tespit edilmiş olup, (Khalsa vd., 2020), deneylerle hata sapmasını teorik olarak 0.1 mrad değerine indirgemıştır. Bu uygulama için "0.46 mrad" değeri kullanılması kabul edilmiştir. Azimut Açısal Sapması (Azimuth Pointing Error), normal dağılım varsayımıyla azimut sürücüsünde açısal hatanın standart sapmasıdır. Bu değer, (Qui vd., 2020) için sistem hesaplamalarında 0.46 mrad olarak tespit edilmiş olup, (Khalsa vd., 2020), deneylerde 0.4 mrad değerine indirgenmiştir. Bu uygulama için "0.46 mrad" değeri kullanılması kabul edilmiştir.

#### 2.3.4.2. Yüzey Eğim Sapmaları (Surface Slope Errors)

X (Yatay) Düzleminde Yüzey Eğim Sapması (Surface Slope Error in X), heliostat yüzeyinin açısal yer değiştirmesinin (yatay) normal bir dağılım varsayarak yatay yönde standart sapmasıdır. Y (Düşey) Düzleminde Yüzey Eğim Sapması (Surface Slope Error in Y), heliostat yüzeyinin açısal yer değiştirmesinin (düşey) normal bir dağılım olduğu düşünüldüğünde dikey yönde standart sapmasıdır.

Yüzey eğim hataları için bu değerler, Andraka için 1.5 mrad'lık bir eğim hatası bildirirken, daha detaylı raporlar incelediğinde 1.5 ila 2.5 mrad arasında bir eğim hatası aralığını göstermektedir. (Andraka, 2008.), uygulama için "1.5 mrad" değeri kullanılması kabul edilmiştir.

#### 2.3.4.3. Yansıtılan Işın Sapmaları (Reflected Beam Errors)

X (Yatay) Düzleminde Yansıtılan Işın Sapması (Reflected Beam Error in X), speküler yansımanın normal bir dağılım varsayımıyla yüzeyden yatay yönde standart sapmasıdır. Y (Düşey) Düzleminde Yansıtılan Işın Sapması (Reflected Beam Error in Y), normal dağılım varsa, aynasal yansımanın yüzeyden düşey yönde standart sapmasıdır.

Işın hataları için bu değerler; (Wang vd., 2020), için normal eğim hatasının 2 mrad olduğu, (Leea vd., 2015), için makul ölçüde küçük bir 2 mrad değerinde yüzey eğim hatasının standart sapmasını varsayımı gerçekleştirilmiş ve uygun değer olduğu tespit edilmiştir (Leea vd., 2015). (Göttsche vd., 2017) için sayısal yaklaşımı kullanan eğim hatası sonucu, analitik yöntem kullanıldığında 2.256 mrad ve 2.22 mrad değerlerinin uygunluğu tespit edilmiştir. Uygulamamız için "2.23 mrad" değeri kullanılması kabul edilmiştir.

Toplam Yansıtma Sapması (Total Reflected Image Error), yansıtılan görüntünün, tüm hata kaynakları dâhil olmak üzere heliostattan etkin standart sapmasını gösteren, sistem tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır.

### 2.3.5. Heliostat Ayna Performans Parametreleri (Mirror performance parameters)

Yansıtıcı Yüzey Oranı (Reflective Surface Ratio), aktif yansıtıcı ayna alanının, toplam heliostat ayna alanına oranı olarak hesaplanmaktadır. Yansıtıcı yüzey oranında; (González, 2016), yaptığı araştırmalarda minimum 0,93 olabileceği, (Hekim, 2017), yaptığı araştırmalarda günümüz teknolojileri sayesinde 0,97 verimliliğin sağlandığı tespit edilmiştir. Uygulama için "0,97" verim değeri kullanılması kabul edilmiştir. Heliostat Ayna Yansıtıcılığı (Mirror Reflectivity), aynanın bozulmamış veya temiz durumda taban yüzey yansıtıcılığıdır. Heliostat tarafından verilen güç ayna yansıtma oranı ile orantılıdır. Ayna yansıtma oranında; (Wang vd., 2020), 0,95, (Bonanos, 2012) ise 0,90 yansıtma oranlarının olduğunu tespit etmişlerdir. Uygulama için "0,95" verim değeri kullanılması kabul edilmiştir. Kirlenme Faktörü (Soiling Factor), yüzey kirliliği hesaba katıldıktan sonra yansıyan ışığın oranıdır. Uygulama için "0,95" verim değeri kullanımı tercih edilmiştir.

The screenshot shows the following parameters:

- Heliostat geometry:**
  - Structure width: 6 [m]
  - Structure height: 4 [m]
  - Heliostat collision radius: 3.6 [m]
  - Use multiple panels
  - No. horizontal panels: 0
  - No. vertical panels: 0
  - Cant panel horiz. gap: 00 [m]
  - Cant panel vert. gap: 0 [m]
  - Heliostat canting method: On-axis at slant
- Optical error parameters:**
  - Elevation pointing error: 0.00046 [rad]
  - Azimuth pointing error: 0.00046 [rad]
  - Surface slope error in X: 0.0015 [rad]
  - Surface slope error in Y: 0.0015 [rad]
  - Reflected beam error in X: 0.00223 [rad]
  - Reflected beam error in Y: 0.00223 [rad]
  - Total reflected image error: 0.00385 [rad]
  - Optical error type (SolTrace only): Gaussian
- Mirror performance parameters:**
  - Reflective surface ratio: 0.97
  - Mirror reflectivity: 0.95
  - Soiling factor: 0.95

Şekil 10. Isparta, SDÜ-Teknokent Yolu için Heliostat uygulama parametreleri (Heliostat application parameters for Isparta, SDÜ-Teknokent Road)

Heliostat için belirlenen uygulama parametreleri sisteme girildiğinde Şekil 10.'deki veriler ortaya çıkmaktadır.

## 2.4. Alıcı (Receiver)

### 2.4.1. Çoklu Alıcı Hedef Noktası ve Düzen Optimizasyonu (Multi-Receiver Aimpoint and Layout Optimization)

SolarPILOT, aynı heliostat alandan güç alan çoklu alıcıların simülasyon uygulamasına izin vermektedir. Yazılım, alıcı seçiminin bir işlevi olarak heliostat performansını, her bir alıcı için toplam güç gereksinimlerini ve güneş konumunun bir fonksiyonu olarak performanstaki değişikliği hesaba katarken, her bir alıcıya heliostat atamak için en iyi stratejiyi belirlemektedir. SolarPILOT, her bir alıcı için yeterli performansı sağlamak üzere düzen sırasında hem heliostat seçimini optimize etmek hem de alıcı güç kısıtlamalarını gerçekleştirirken, alan güç çıkışını en üst düzeye çıkarmak için performans çalışmaları sırasında belirli bir heliostat alanının optimum atamasını sağlamak için geliştirilmiştir (NREL, 2018).

| Template | Dimensions [m,m] | Area [m2]            | Power fraction | Power [MWt] |      |
|----------|------------------|----------------------|----------------|-------------|------|
| 1        | Receiver 1       | 17.65 (D) x 21.6 (H) | 1197.7         | 1           | 1.00 |

Şekil 11. Isparta, SDÜ-Teknokent Yolu Çoklu Alıcı Verileri (Isparta, SDÜ-Teknokent Road Multiple Receiver Data)

Bu uygulamada tek bir alıcı kullanılacak olup, bundan dolayı Şekil 11.'de veri girişi istenilen Multi-Receiver Aimpoint and Layout Optimization ve specify multi-receiver power fractions seçimi gerçekleştirilmeyecektir.

#### 2.4.2. Alıcı Geometrisi (Receiver Geometry)

Alıcı Tipi (Receiver Type) için, alıcının sistemsel uygulaması için programda (Şekil 12.);

- Düz Plaka (Flat Plate)
- Silindirik (External Cylindrical)

modelleri kullanılmaktadır.

Düz Plaka (Flat Plate) modelinde alıcı, düz bir plaka olarak kullanılmıştır. Isı emici yüzey, aksi belirtilmedikçe, kuzeyde ufka doğru bakan bir yüzey normal vektörü olan düz bir düzlem içinde yer almaktadır. Silindirik (External Cylindrical) modelinde alıcı, silindirik modellemedir. Isı emici yüzey, belirtilen çap ve yükseklikte bir silindir olarak tanımlanır. Alıcının merkez eksenini yukarıya doğrudur.

Uygulama için "*External Cylindrical (Silindirik Alıcı)*" modeli uygulama için tercih edilmiştir.

Alıcı Yüksekliği (Receiver Height), silindir olarak uygulaması planlanan alıcının yüksekliğidir. Bu uygulama için alıcı yüksekliği "*10m*" olarak alınmıştır. Alıcı Çapı (Receiver Diameter), silindir olarak uygulaması planlanan alıcının çapıdır. Bu uygulama için alıcı çapı "*5m*" olarak alınmıştır. Alıcı Kabul Yatay Açısı (Receiver Horizontal Acceptance Angle), gelen ışığın kabul edilebileceği alıcının perspektifinden yatay doğrultuda açısal kapsamdır. Daha sade bir dille alıcının yatay yöndeki kabul açısıdır. Alıcının yüzeyinden normal vektör etrafında açısal aralık simetriktir. Bu husustan dolayı, bu uygulama için "*360°*" olarak seçilmiştir. Açıcı Azimutal Yönü (Receiver Orientation Azimuth), alıcının azimutal yönüdür. 0 = Kuzey, 90 = Doğu, 270 = Batı yönlerini ifade etmektedir. Bu model, yalnızca düz plaka alıcıları için uygulanmaktadır. Alıcı En Boy Oranı (Receiver Aspect Ratio (H/W)), alıcının en boy oranını gösteren sistem tarafından otomatik olarak hesaplanan değerdir. En boy oranı, alıcının yüksekliğinin genişliğe bölünmesiyle tanımlanır; burada genişlik ile silindirik bir alıcı için belirtilen çapa eşittir. Bu değer hesaplama sonucunda sistem tarafından "*2*" olarak verilmiştir. Alıcı Emici Alanı (Receiver Absorber Area), Alıcının ısı emici yüzey alanıdır. Silindirik alıcılar için bu,  $\pi$  değerinin yükseklik ve çap ile çarpımına eşittir. Bu değer sistem tarafından otomatik olarak hesaplanmakta olup, bu çalışmadaki sistem için "*157,1 m<sup>2</sup>*" olarak hesaplanmıştır.

Şekil 12. Alıcı Geometrisi (Receiver Geometry)

### 2.4.3. Alıcı Pozisyonu (Receiver Position)

Bu girişleri kullanarak, alıcı konumunda kule konumuna göre bir konum belirleme imkânımız mevcuttur. Alıcı varsayılan olarak heliostat koordinatlarına göre ( $x = 0, y = 0$ ) konuma yerleştirilir.

Alıcı bütün sistemin merkezi olarak düşünülebilir. Heliostat odaklaması alıcıya yapılmakta, buradan çevrime akışkan gönderilmekte ve sistemden güç üretilmektedir. Bu husustan dolayı alıcının noktası "merkez noktası (0,0)" olarak hesaplanacaktır.

#### 2.4.3.1. Alıcı Konumlandırması (Receiver Positioning Offset)

X Eksenini alıcı konumlandırması (Receiver Positioning Offset - X Axis), alıcı konumunu Doğu-Batı yönünde konumlandırılabilir. Pozitif bir X-ofseti doğuya kaymayı göstermektedir. Y Eksenini alıcı konumlandırması (Receiver Positioning Offset - Y Axis), alıcı konumunu Kuzey-Güney yönünde konumlandırılabilir. Pozitif bir Y ofseti kuzeye kaydırmayı göstermektedir. Z Eksenini alıcı konumlandırması (Receiver Positioning Offset - Z Axis), alıcı konumunu dikey yönde konumlandırılabilir. Pozitif bir Z ofseti yukarı doğru yer değiştirmeyi göstermektedir. Uygulama merkezi olarak alıcının bulunmasından dolayı koordinatları "(0,0,0)" olarak konumlandırılması uygulama için tercih edilmiştir (Şekil 13.).

Şekil 13. Alıcı Konumlandırması (Receiver Positioning Offset)

#### 2.4.3.2. Alıcı Optik Yüksekliği (Receiver Optical Height)

Alıcı, Z eksenini konumu dâhil, optik yüksekliğinin hesaplanmasını sağlayan değerdir. Optik yükseklik, heliostat pivot noktaları ile alıcının dikey merkezi arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır. Bu değer sistem için "41m"dir (Şekil 13.).

### 2.4.4. Optik Özellikler (Optical Properties)

#### 2.4.4.1. Alıcı Termal Emilimi (Receiver Thermal Absorptance)

Alıcı termal emilimi, alıcıya çarparken emilen ışığın fraksiyonunu (radyasyon ve konvektif kayıplardan önce) belirtir. Bu değer tipik olarak alıcı yüzey kaplamasının emiciliğini göstermektedir.

Alıcı emiciliği; (Wang vd., 2020), 0,9, (Wagner ve Wendelin, 2018), 0,94, (Mehos vd., 2017), güncel malzeme teknoloji sayesinde emiciliğin 0,9'dan fazla olacağını tespit etmişlerdir. Uygulama için "0,9" emicilik değerinin kullanılması tercih edilmiştir.

#### 2.4.4.2. İzin Verilen Tepe Akısı (Allowable Peak Flux)

İzin verilen tepe akısı sadece optimizasyon için kullanılır. Bu değer, alıcı yüzeyinin herhangi bir noktasında izin verilen maksimum akıyı belirtir. Optimizasyon sırasında, izin verilen akı aşılsa, algoritma alıcı yüzey alanını artırmaya çalışabilir. Uygulama için, "1000 kW/m<sup>2</sup>" değerinin kullanılması tercih edilmiştir.

#### 2.4.5. Termal Kayıplar (Thermal Losses)

Alıcı termal kayıpları, alıcının emici yüzeyinden konvektif, radyasyon ve boru kaybını içerir. Termal kayıplar, belirtilen bir tasarım noktası değeri, alıcı emme alanı ve termal kayıpları olay güç seviyesi ve rüzgâr hızı ile ölçeklendiren polinomlar kullanılarak değerlendirme gerçekleştirilmektedir (NREL, 2018).

Termal kayıplar iki şekilde kullanılır: İlk olarak, alıcıya iletilen toplam termal gücün, güneş alanı tasarım gücüne ekstradan tasarım noktası termal kaybına ve alıcı termal emme fraksiyonundan kaynaklanan fraksiyonel kayıplara eşit olmalıdır. Bu nedenle, heliostat alan tarafından alıcıya gönderilen termal güç, tasarlanan üretim gücünden fazla olacaktır (NREL, 2018).

##### 2.4.5.1. Tasarım Noktası Alıcı Termal Kaybı (Design Point Receiver Thermal Loss)

Bu katsayıyı kullanarak temel alıcı termal kaybını ayarlayabilirsiniz. Değer, alıcı emici alanının metrekaresi başına kWt cinsinden konveksiyon ve radyasyon nedeniyle alıcıdan kaynaklanan kayıpları gösterir. (Xu vd., 2011) yaptığı araştırmalarda alıcı termal verimliliğin %90, (Christian ve Ho, 2012) ise termal verimliliği %88 ile %90,08 arasında olduğunu belirlemiştir. Uygulama için "%90" termal verim değeri kullanılması kabul edilmiştir. Bu değer sistemden 1MW'lık bir kayba sebep olmaktadır.

##### 2.4.5.2. Yüke Dayalı Termal Kayıp (Load-Based Thermal Loss Adjustment)

Yüke dayalı termal kayıp ayarı, termal kayıpların alıcıdaki olay gücüyle nasıl değişebileceğinin belirlenmesini sağlamaktadır. Sağlanan katsayılar, alıcıdaki güç olayı tarafından herhangi bir zamanda tasarım noktasında alıcı üzerindeki güce bölünmesiyle verilen 3. derece polinomuna karşılık gelmektedir. 0. derece katsayısı sabittir, 1. derece katsayısı doğrusal bir terimdir, 2. derece katsayısı ikinci dereceden bir terimdir ve üçüncü derece katsayısı kübik bir terimdir. Sabit katsayı değeri sistem tarafından "bir (1)" olarak tanımlanmıştır.

Termal kayıp ayarlamaları hem tasarımdaki termal kaybı hesaplamak hem de DNI ve heliostat alanı optik verimliliği referans koşullarından saptığında yerleşim simülasyonu sırasındaki termal kaybı hesaplamak için kullanılmaktadır.

##### 2.4.5.3. Rüzgâr Kaynaklı Termal Kayıp (Wind-Based Thermal Loss Adjustment)

Rüzgâr tabanlı termal kayıp ayarı, termal kayıpların bir hava dosyasından ölçülen rüzgâr hızıyla nasıl değişebileceğini belirlenmesini sağlar. Bu katsayılar sabit (0), doğrusal (1), kuadratik (2) ve kübik (3) terime karşılık gelir. Katsayılar, karşılık gelen güce yükseltilecek rüzgâr hızı olan argümanı çoğaltır. Sabit katsayı değeri sistem tarafından "bir (1)" olarak tanımlanmıştır (NREL, 2018).

Termal kayıp ayarları hem tasarımdaki termal kaybı hesaplamak hem de rüzgâr hızı referans koşullardan (sıfır) saptığında yerleşim simülasyonu sırasındaki termal kaybı hesaplamak için kullanılmaktadır.

##### 2.4.5.3.5. Tasarım Noktası Termal Kayıp (Design-Point Thermal Loss)

Tasarım noktası termal kaybı, referans koşullarında radyasyon ve konveksiyondan kaynaklanan toplam termal kayıp oranıdır. Bu sistem için termal kayıp değeri olarak "1 MW" hesaplaması gerçekleştirilmiştir.

##### 2.4.5.4. Alıcı Boru Kayıp Katsayısı (Receiver Piping Loss Coefficient)

Alıcı boru tesisatı kayıp katsayısı, alıcı boru tesisatı kaybını, kule yüksekliği metre başına kWt birimi cinsinden belirler. Bu kaybı (Hekim, 2017), sistem toplam gücünün yaklaşık %12'sinin alıcı boru tesisatı kaybı olduğunu



hesaplamıştır. Optimum kayıp olarak hesaplama gerçekleştirmek için %10 üzerinden hesaplanması idealdir. Bu değer, sistemde "1 MW" olarak hesaplaması gerçekleştirilmiştir.

#### 2.4.5.5. Alıcı Boru Kaybı Sabiti (Receiver Piping Loss Constant)

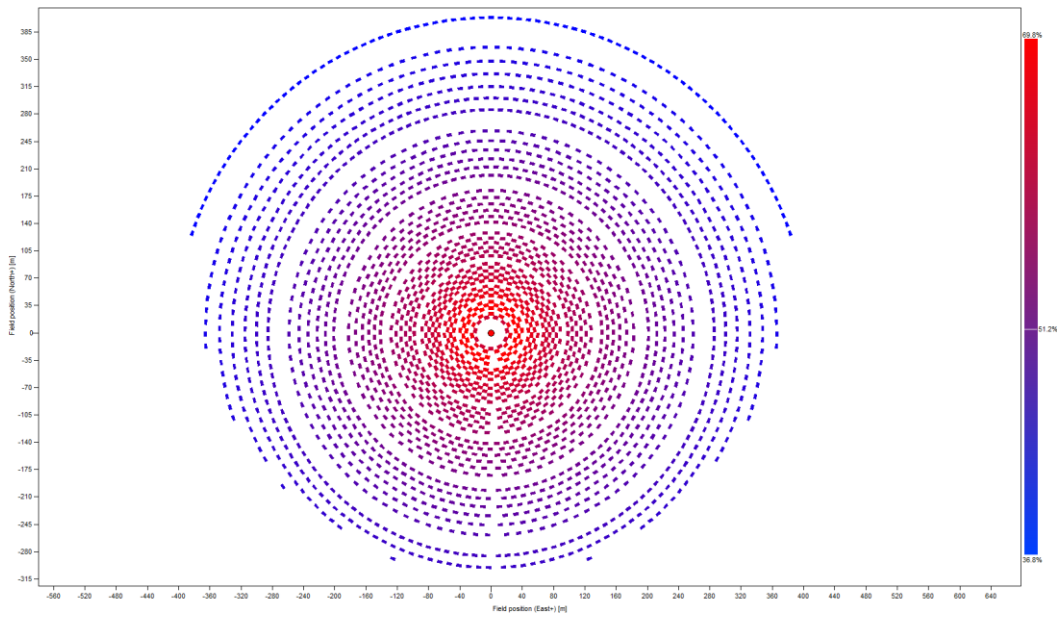
Alıcı boru kaybı sabiti, sabit olan ve sistem geometrisine bağlı olmayan alıcı boru tesisatından kaynaklanan termal kayıpları belirlemektedir.

#### 2.4.5.6. Alıcı Boru Kaybı (Receiver Piping Loss)

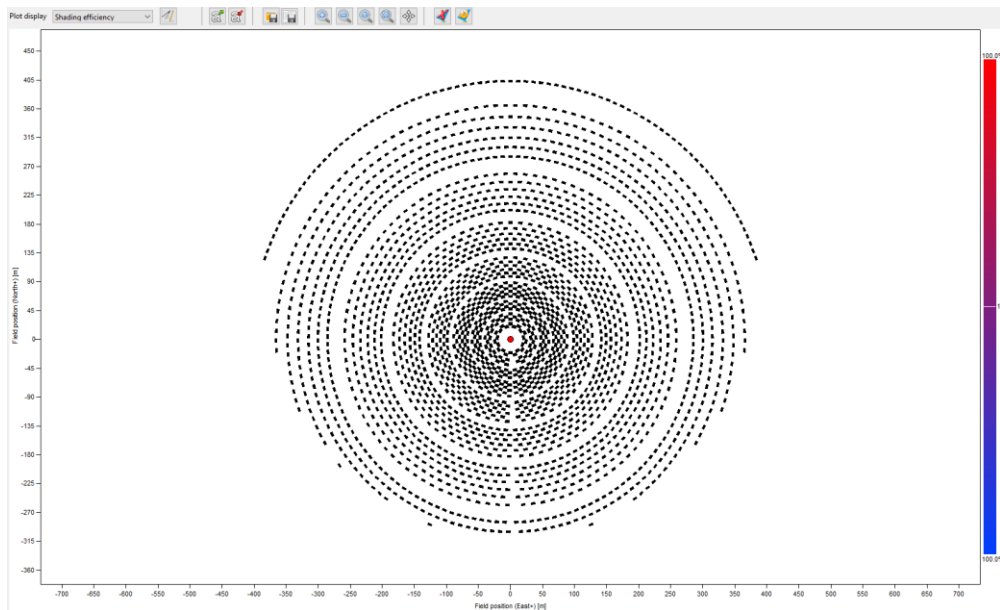
Alıcı boru tesisatı kaybı, sabit kayıp ve kule yüksekliği ile ölçeklenen kayıp dâhil toplam alıcı boru tesisatı kaybını gösteren hesaplanmış bir değer olup, alıcı boru kayıp katsayısında sistemde gerçekleşen kayıp "1 MW" olarak tespit edilmiştir.

### 3- Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Uygulama için veri girişleri, sisteme girildiğinde Şekil 14.'deki saha düzeni ve heliostat alan verimliliği ortaya çıkmaktadır.



Şekil 14. Uygulama Alanı Saha Düzeni ve Heliostat Alan Verimliliği (Area of Application Layout and Heliostat Area Efficiency)



Şekil 15. Heliostatların Birbirlerini Engelleme ve Gölgelemeleri (Heliostats Blocking and Shadowing)

Gerçekleştirilen hesaplama sonucunda, heliostat alan yerleşimine göre %69,8 ila %36,8 değerleri arasında verimliliği sağlanan, 2534 heliostatla gerçekleştirilen uygulama saha düzeninde (Şekil 14.), heliostat aynaların en uygun şekilde yerleştirilmesi sayesinde, aynalar birbirlerine engelleme ve gölgeleme gerçekleştirmemişlerdir (Şekil 15.).

#### 4- Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Uygulamanın, heliostat alan yansıtma verimliliği yaklaşık %60, alıcı termal veriminin %90, yıllık ortalama 4,43 kWh/m<sup>2</sup>-yıl ışıınım değeriyle sistem oluşturulmuştur.. Heliostatlar birbirlerine engelleme ve gölgeleme gerçekleştirmemiş olup, 60816 m<sup>2</sup> heliostat alanıyla, uygulama alanı olarak belirlenen Süleyman Demirel Üniversitesi, Doğu Kampüsü, Teknokent yolu üzerinde bulunan alan üzerinde sistemin inşasının gerçekleştirilmesi, genel sistem verimi (Şekil 14.), (Şen, 2021) yaptığı araştırmalarda, belirtilen verimliliklerin güneş kulesi tesis tasarımı için uygunluğunu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen modelleme sayesinde heliostat aynaların uygulama alanındaki koordinatları bellidir. Bu sayede, sistem inşası çok daha hızlı gerçekleştirilecektir.

Tablo 2. İncelendiğinde, Ekim, kasım, aralık, ocak, şubat ve mart aylarında ışıınım değerinin hesaplama değerinden az olmasından dolayı, sistemden elde edilecek güç azalacaktır. Nisan, mayıs, haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında ışıınım değerinin hesaplama değerinden fazla olmasından dolayı, sistemde elde edilecek güç istenilen değerde alınacaktır. ışıınım değerinin hesaplanandan fazla gelmesinden dolayı sistem maksimum verimle çalışacak olup, fazla değer kullanılması ancak termal depolama yönetimiyle sağlanabilir.

DNI değerlerinin fazla olduğu aylarda termal depolama imkânı, sistemsel açıdan DNI değerlerinin sistemsel hesaplamada gerçekleştirilen değerden az olduğu zamanlarda kullanılarak üretilecek gücü artırma imkânı olarak kullanılacaktır. Bu sayede üretilen güç, daimî olarak belirli bir değer aralığında olacağından, kullanım hesaplamaları daha net şekilde gerçekleştirilecektir.

Güneş enerjisi ışıınım değerleri bakımından yüksek değerlerde olan alanlarda kurulumu gerçekleştirilecek 10 MW – 15 MW güneş kulesi tesisleri bölgesel olarak elektrik ihtiyacının karşılanabilecektir. 10 MW- 100 MW ve daha üzeri güçlerde kurulacak santraller sayesinde enerji alanında dışa bağımlılığın azaltılabileceği ve güneş kulesi alanında AR-GE çalışmalarının yoğunlaşmasıyla genel verim artırılabilir. Bu yöntem atmosfere zararlı emisyon salmadığından ötürü, elektrik üretimi ülkemizde aktif olarak üretim tesislerinden daha fazla çevre dostudur (Şen, 2021).

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

#### Kaynakça (References)

- SAM, 2020. Erişim Tarihi:17/07/2020. <https://sam.nrel.gov/>
- NREL, 2020. Solar Power Tower Integrated Layout and Optimization Tool. Erişim Tarihi: 17/07/2020. <https://www.nrel.gov/csp/solarpilot.html>
- European Commission, 2019. Photovoltaic Geographical Information System. Erişim Tarihi: 23/07/2020. [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#TMY](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#TMY)
- FreeDictionary, 2020, Erişim Tarihi: 31/08/2020. <https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Atmospheric+Attenuation#:~:text=a%20reduction%20in%20the%20intensity,molecules%20of%20air%20and%20aerosols>.
- NREL, 2018. SolarPILOT (Sürüm 1.3.8)[Yazılım]. Denver, USA. Tedarik edilebileceği adres: <https://www.nrel.gov/csp/solarpilot-download.html>
- Lopez, J.N.M., 2016, The inuence of irradiance concentration using an asymmetric reactor on the electrical performance of a PVT hybrid collector with standard monocrystalline cells, Lizbon Üniversitesi, Enerji Mühendisliği ve Yönetimi bölümü, Yüksek Lisans tezi, 66 s., Lizbon.
- Cole, I.R., Gottschalg, R., 2015. Optical modelling for concentrating photovoltaic systems: insolation transfer variations with solar source descriptions, IET Renewable Power Generation, 9(5), 413-419.
- Kamada, R.F., Flocchini, R.G., Gaussian Solar Flux Model, Solar Energy, 1986,36(1), 73-87.
- System Advisor Model, Overview of NREL's SolarPilot(TM) and SolTrace Open-source Software(video dosyası) Erişim Tarihi:26/07/2020 [https://www.youtube.com/watch?v=wiYV2VLqr\\_k](https://www.youtube.com/watch?v=wiYV2VLqr_k)
- Ramadevi, M.C., Limb Darkening, Erişim Tarihi: 25/07/2020 <http://www.iucaa.in/~dipankar/ph217/contrib/limb.pdf>
- Wang, Y., Potter, D., Asselineau, C.A., Corsi, C., Wagner, M., Caliot, C., Piaud, B., Blanco, M., Kim, J.S., Pye, J., Verification of optical modelling of sunshape and surface slope error for concentrating solar power systems, 2020, Solar Energy 195 (2020) 461–474.

- Bird, R., Hulstrom, R.L., 1980, Direct Insolation Models, Erişim Tarihi: 26/07/2020  
<https://www.nrel.gov/docs/legosti/old/344.pdf>
- Hanrieder, N., Sengupta, M., Xie, Y., Wilbert, S., Paal, R.P., Modeling beam attenuation in solar tower plants using common DNI measurements, *Solar Energy*, 2016, 129, 244-255.
- SAND2008-8053, 2008. Software and Codes for Analysis of Concentrating Solar Power Technologies. Sandia Ulusal Laboratuvarları. Kaliforniya.
- Bouamra, M., Merzouk, M., 2019, Cosine Efficiency Distribution with Reduced Tower Shadowing Effect in Rotating Heliostat Field, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44, 1415-1424.
- EİGM, 2020, Erişim Tarihi: 07/09/2020. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/32.aspx>
- Wikipedia, Yaz Gündönümü. Erişim Tarihi: 28/07/2020.  
[https://tr.wikipedia.org/wiki/Yaz\\_g%C3%BCnd%C3%B6n%C3%BCm%C3%BC](https://tr.wikipedia.org/wiki/Yaz_g%C3%BCnd%C3%B6n%C3%BCm%C3%BC)
- Sarıgül, T., 2018, Ekinoks Nedir? Erişim Tarihi:28/07/2020. <http://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/ekinoks-nedir>
- Wikipedia Ekinoks. Erişim Tarihi:01/09/2020. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ekinoks>
- Wikipedia Kış Gündönümü. Erişim Tarihi:28/07/2020.  
[https://tr.wikipedia.org/wiki/K%C4%B1%C5%9F\\_g%C3%BCnd%C3%B6n%C3%BCm%C3%BC](https://tr.wikipedia.org/wiki/K%C4%B1%C5%9F_g%C3%BCnd%C3%B6n%C3%BCm%C3%BC)
- Ceylan, İ., Gürel, E., 2017, Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı. Dora yayınevi, 196s, Bursa.
- European Commission, 2020, Report on Best Available Technologies (BAT) for central receiver systems. 221766, 70.
- Gadalla, M., Saghafifar, M., 2018, A concise overview of heliostat fields-solar thermal collectors: Current state of art and future perspective, *International Journal Of Energy Research*, 3145- 3163.
- Arrif, T., Benchabane, A., Germoui, M., Bezza, B., Belaid, A., 2018. Optimisation of heliostat field layout for solar power tower systems using iterative artificial bee colony algorithm: a review and case study. Erişim Tarihi: 29/07/2020. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01430750.2018.1525581>
- Siala, F.M.F., Elayeb, M.E., Mathematical formulation of a graphical method for a no-blocking heliostat field layout, 2001, *Yenilenebilir Enerji*, 23,77-92.
- Mehos, M., Turchi, C., Vidal, J, Wagner, M., Ma, Z., Ho, C., Kolb, W., Andraka, C., Kruzenga, A., 2017, Concentrating Solar Power Gen3 Demonstration Roadmap. NREL/TP-5500-67464, 127.
- Wagner, M.J., Wendelin, T., 2018, SolarPILOT: A power tower solar field layout and characterization tool, *Solar Energy*, 171, 185-196.
- Qiu, Y., He, Y. L., Li, P., Du, B. C., A comprehensive model for analysis of real-time optical performance of a solar power tower with a multi-tube cavity receiver Erişim Tarihi: 07/08/2020. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01344014v3>
- Khalsa, S.S.S., Ho, C.K., Andraka, C.E., An Automated Method To Correct Heliostat Tracking Racking Errors, Erişim Tarihi:07/08/2020. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1106781>
- Andraka, C.E., 2008. Cost/Performance Tradeoffs For Reflectors Used In Solar Concentrating Dish Systems. Erişim Tarihi: 08/08/2020. [https://energy.sandia.gov/wp-content/gallery/uploads/Cost-performance\\_Tradeoffs.pdf](https://energy.sandia.gov/wp-content/gallery/uploads/Cost-performance_Tradeoffs.pdf)
- Leea, H.J., Kimb, J.K., Leeb, S.N., Yoonb, H.K., Kangb, Y.H., Parkc, M.H., 2015, Calculation of optical efficiency for the first central-receiver solar concentrator system in Korea, *Energy Procedia*, 69, 126 – 131.
- Göttsche, J., Lampkowski, M., Bezerra, P.H.S., Teramoto, É.T., Boura, C.T., 2017. A Method For Calculating The Slope Error Of Mirrored Surfaces Consisted Of Facets Curved In One Axis Used In Concentrated Solar Power (CSP) Tower Systems. Erişim Tarihi:08/08/2020. <http://energia.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/2271>
- González, A.S., 2016, Heliostat field aiming strategies for solar central receivers, Carlos III de Madrid Üniversitesi, Termal ve Akışkan Mühendisliği Bölümü, Doktora tezi, 104s., Madrid.
- Hekim, M., 2017, Merkezi Alıcı Sistemli(MAS) Güneş Güç Santrali Birecik Uygulaması, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 137s., Ankara.
- Bonanos, A.M., 2012, Error analysis for concentrated solar collectors, *Renewable Sustainable Energy*, 4,1-11.
- Xu, E., Yu, Q., Wang, Z., Yang, C., 2011, Modeling and simulation of 1 MW DAHAN solar thermal power tower plant, *Renewable Energy*, 36, 848-857.
- Christian, J.M., Ho, C.K., 2012, CFD simularion and heat loss analysis of the solar two power tower receiver, *Proceedings of ASME* 2012, 23-26 temmuz, San Diego, 1-9.
- Şen, S., 2021, Tepe Heliostat Alanlı Güneş Kulesi Uygulamaları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 112s, Isparta,



## INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURAL AND HARDNESS CHANGES OF AA7075 ALLOY PROCESSED BY ECAP

Guzide Meltem LULE SENOZ<sup>1\*</sup>, Dogacan OZTURK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Atatürk University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Erzurum, Turkey

### Keywords

*Severe Plastic Deformation, Equal Channel Angular Pressing (ECAP), Al-Zn-Mg Alloy, Microstructure, Hardness.*

### Abstract

This study aims to examine the change in microstructural and hardness values AA7075 aluminum alloy, which is frequently preferred in the aviation industry by applying the Equal Channel Angular Pressing (ECAP) method. ECAP method, one of the plastic deformation methods, has been successfully carried out by applying 0.025mm/sec pressing speed and 200°C temperature for a different route (A, Bc, C) and the different number of passes (2, 4, 8). The characterization of the aluminum alloy obtained by applying ECAP process was carried out by optical microscope (OM), X-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscope (SEM) analysis. Hardness tests have been applied to examine the mechanical properties of the material. The microstructures of the materials obtained as a result of the application were examined. It was observed that precipitation occurred in the AA7075 alloy depending on the applied temperature, pressing, and grain breakage. Moreover, it is seen that the grain size of the materials produced by the ECAP method has been reduced, and consequently the strength of the material increases. As a result of the ECAP process, it was seen that the existing phases were  $\alpha$ -Al,  $\eta$ -MgZn<sub>2</sub>, S-Al<sub>2</sub>CuMg, and Al<sub>7</sub>Cu<sub>2</sub>Fe. The grain size of 288.4 nm obtained after 8 repeated passes using the Bc route was the smallest grain size obtained.

## ECAP UYGULANAN AA7075 ALAŞIMININ MİKRO YAPI VE SERTLİK DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

### Anahtar Kelimeler

*Aşırı Plastik Deformasyon, Eş Kanallı Açısız Presleme, Al-Zn-Mg Alaşımı, Mikroyapı, Sertlik.*

### Öz

Bu çalışmada, havacılık endüstrisinde sıklıkla tercih edilen AA7075 alüminyum alaşımına EKAP uygulanarak alaşımın mikroyapısal ve sertlik değerlerindeki değişimin incelenmesi amaçlanmıştır. Plastik deformasyon yöntemlerinden biri olan EKAP yöntemi, farklı rota (A, Bc, C) ve farklı paso sayıları (2, 4, 8) için 0,025mm/sn presleme hızında ve 200°C'de başarıyla uygulanarak gerçekleştirilmiştir. EKAP işlemi uygulanarak elde edilen alüminyum alaşımının karakterizasyonu optik mikroskop (OM), X ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri ile yapılmıştır. Malzemenin mekanik özelliklerinin incelenmesi için sertlik testleri uygulanmıştır. Uygulama sonucunda elde edilen malzemelerin mikroyapıları incelenmiştir. AA7075 alaşımında uygulanan sıcaklık, presleme ve tane kırılmasına bağlı olarak çökelmenin meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca ECAP yöntemi ile üretilen malzemelerin tane boyutunun küçültüldüğü ve buna bağlı olarak malzemenin mukavemetinin arttığı görülmektedir. EKAP işlemi sonucunda mevcut fazların  $\alpha$ -Al,  $\eta$ -MgZn<sub>2</sub>, S-Al<sub>2</sub>CuMg ve Al<sub>7</sub>Cu<sub>2</sub>Fe olduğu görülmüştür. Bc rotası kullanılarak 8 tekrarlı geçiş sonrasında elde edilen 288.4 nm tane boyutu elde edilen en küçük tane boyutu olmuştur.

### Alıntı / Cite

Lule Senoz, G. M., Ozturk, D., (2021). Investigation of Microstructural and Hardness Changes of Aa7075 Alloy Processed by Ecap, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(4), 1326-1338.

\* İlgili yazar / Corresponding author: meltem.lule@atauni.edu.tr, +90-442-231-6039

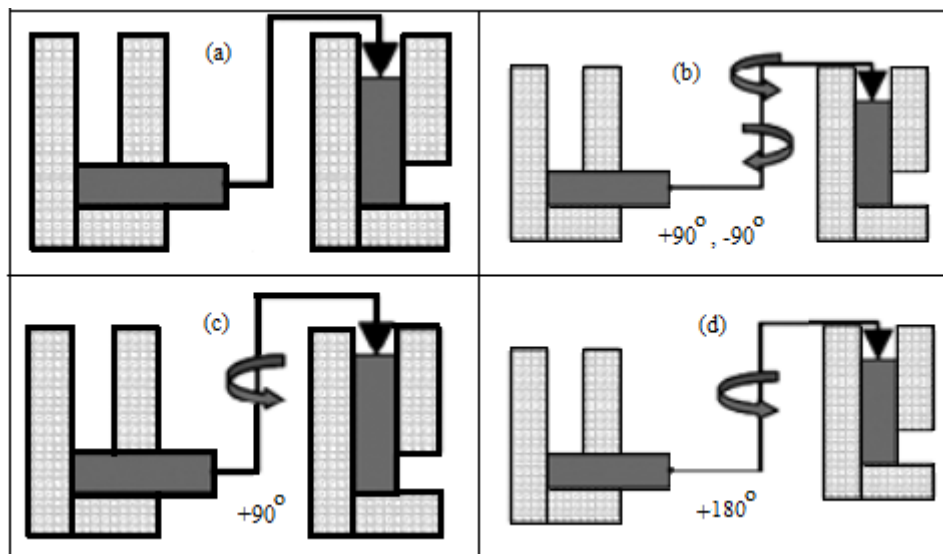
| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process  |            |
|--|----------------------------------|------------|
| G.M. Lüle Şenöz, 0000-0003-0870-1269     | Başvuru Tarihi / Submission Date | 12.04.2021 |
| D. Öztürk, 0000-0001-9592-6663           | Revizyon Tarihi / Revision Date  | 13.09.2021 |
|  | Kabul Tarihi / Accepted Date     | 14.09.2021 |
|  | Yayım Tarihi / Published Date    | 20.12.2021 |

## 1. Introduction

Aluminum and its alloys are included in the metal and alloy group, which are used extensively in the industrial field due to their low production costs and light weight. As a result of the technological developments in the automotive sector, aviation, and food sector, it has become necessary to increase and improve the mechanical properties of these alloys. The high strength levels aimed at aluminum alloys are mainly achieved by precipitation hardening. The control of grain size in these alloys forms the basis of thermo-mechanical processes. It is well known that nanoscale materials produced by thermo-mechanical processes exhibit superior strength, hardness, electrical resistance, and specific thermal capacity values compared to their coarse-grained counterparts. This is because it is possible to increase and yield the strength of a material at low temperatures by reducing the grain size of the material through the standard Hall-Petch relationship.

The most common methods used to reduce grain size are severe plastic deformation methods. Among these methods, the equal channel angular pressing method is one of the topics that have attracted considerable attention recently, as it exposes cast materials to high plastic stresses without changing the cross section (Furukawa et al. 2001). The ECAP die is composed of two channels with identical rectangular cross sections connected through the intersection at a specific angle (Valiev and Langdon 2006). Very high shear stress can be obtained with multiple passes through a die without any change in billet dimensions. Thus, the formation of ultra-fine homogeneous grain structure is obtained. As a result, a very strong improvement of the microstructure down to the sub-micrometer level can be achieved (Valiev et al. 2000).

In the last decade, many metals and alloys including aluminum and its alloys (Li and Langdon 2000; Raab et al. 2004; Mao et al. 2005; Mckenzie et al. 2007; Xu and Langdon 2007; Roven et al. 2008; Hockauf et al. 2008; Meyer et al. 2008; Sha et al. 2009; Duan et al. 2010; Wang et al. 2011; Murashkin et al. 2013), magnesium and its alloys (Lapovok et al. 2008; Figueiredo and Langdon 2010; Janecek et al. 2010; Janecek et al. 2012; Silva et al. 2017), titanium and its alloysex (Semenova et al. 2008; Semenova et al. 2012; Sordi et al. 2012), copper (Zhang et al. 2008; Zhilyaev et al. 2008; Lugo et al. 2010; Wongsan-Ngam et al. 2013), zinc (Huang and Langdon 2002), nickel (Zhilyaev et al. 2003; Gubicza et al. 2007), iron (Sus-Ryszkowska et al. 2004), stainless steel (Niendorf et al. 2010; Ueno et al. 2011), and low carbon steel (Park et al. 2000; Sekban et al. 2017; Sekban 2020), have been successfully processed for the formation of nanostructured and ultrafine-grained (UFG) material by the ECAP technique.

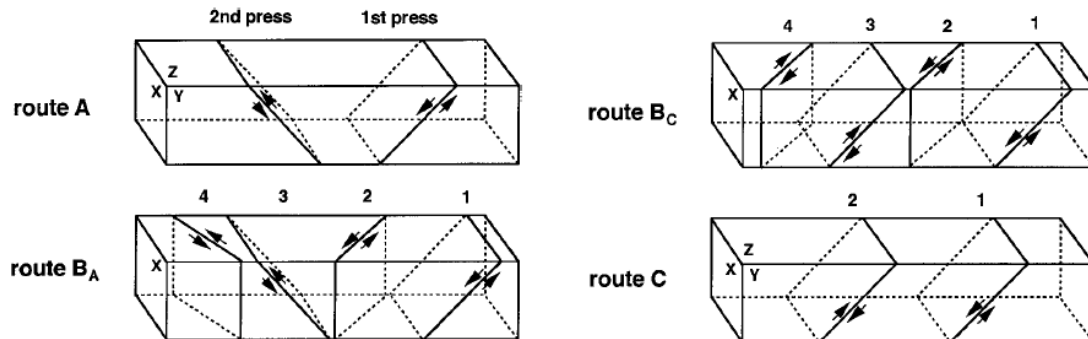


**Figure 1.** Rotation angles and directions for possible routes (a) Route A, (b) Route B<sub>A</sub>, (c) Route B<sub>C</sub>, (d) Route C (Venkatachalam et al. 2010)

The most critical parameters in the ECAP process are the process route applied to the material and the number of passes (Furukawa et al. 1997; Malek et al. 2004). During the ECAP process, the material is rotated at certain angles to create a constantly changing sliding mechanism within the material with different routes applied. In the ECAP

process, the deformation direction is obtained by rotating the sample at different angles ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ , or  $180^\circ$ ) counterclockwise or clockwise (Figure 1). Routes take a separate name for each direction and turn angle. Depending on the direction of rotation, the properties of the materials change, and the deformation amount can be distributed homogeneously. A geometric representation of the shear strain applied to the material before each pass and the directions of the shear sections according to the routes of the sample subjected to is shown in Figure 2.

Among these routes, the Bc route is the most suitable way to achieve superplasticity. It also results in a series of coaxial grains with high angle grain boundaries (Lee et al. 2003).



**Figure 2.** The shearing planes concerning processing rotations (Valiev and Langdon 2006)

During the ECAP process, the temperature is another important parameter that directly affects the yield stress of materials. Generally, it is more difficult for the material to undergo plastic deformation at low temperatures. Rising the pressing temperature increases the workability and deformation ability of the materials. Activation of additional shear planes with temperature provides convenience during plastic deformation of the material (Oh-Ishi et al. 1998). Many studies explain the mechanical properties as well as the effect on microstructure at high temperatures with the ECAP technique in Al 7000 series alloys (Xu et al. 2003; Shaeri et al. 2016). However, high-temperature pressing can cause possible grain growth. In age-hardenable alloys such as AA7075, the formation of new phases, as well as the precipitates formed during the ECAP process, have a negative effect on the mechanical behavior of the material. Therefore, it is important to optimize the ECAP process at relatively warm temperatures.

The aim of this study to find the optimum ECAP parameters that meet the highest microhardness value and lowest grain size value at a relatively warm temperature. Characterization studies of the samples obtained by ECAP process applied at  $200^\circ\text{C}$  temperature and a pressing speed of  $0.025\text{ mm/sec}$  for different process routes (A, Bc, C) and the different number of passes (2, 4, 8) were carried out. Hardness tests were applied to examine the mechanical properties of the material.

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

A conventionally extruded Al-Zn-Mg alloy with a chemical composition of wt.% of 89.7 Al, 6.8 Zn, 2.1 Mg, 1.2 Cu, and 0.2 Cr was cut to the rods with a diameter of 19.8 mm and length of 40 mm. All samples were annealed for 1 hour at  $420^\circ\text{C}$  before the ECAP process. Thus, residual stress and intermetallic compounds caused by production in the sample were eliminated.

### 2.2. ECAP Procedure

The die used for ECAP processes and hydraulic compression press is shown in Figure 3. The processes were conducted at  $200^\circ\text{C}$  for different deformation routes (A, Bc, C) up to 8 passes. Before the ECAP process, the die was kept at  $200^\circ\text{C}$  for 2 hours and the samples were kept for 15 minutes before each pass. Billets were lubricated with  $\text{MoS}_2$  to reduce friction between the die and sample during the process and then pressed using an ECAP solid die that has a channel angle of  $\phi = 120^\circ$  and corner curvature angle of  $\psi = 60^\circ$ . The pressing speed applied for the whole ECAP process was  $0.025\text{ mm/s}$ .

### 2.3. Microstructure Characterization

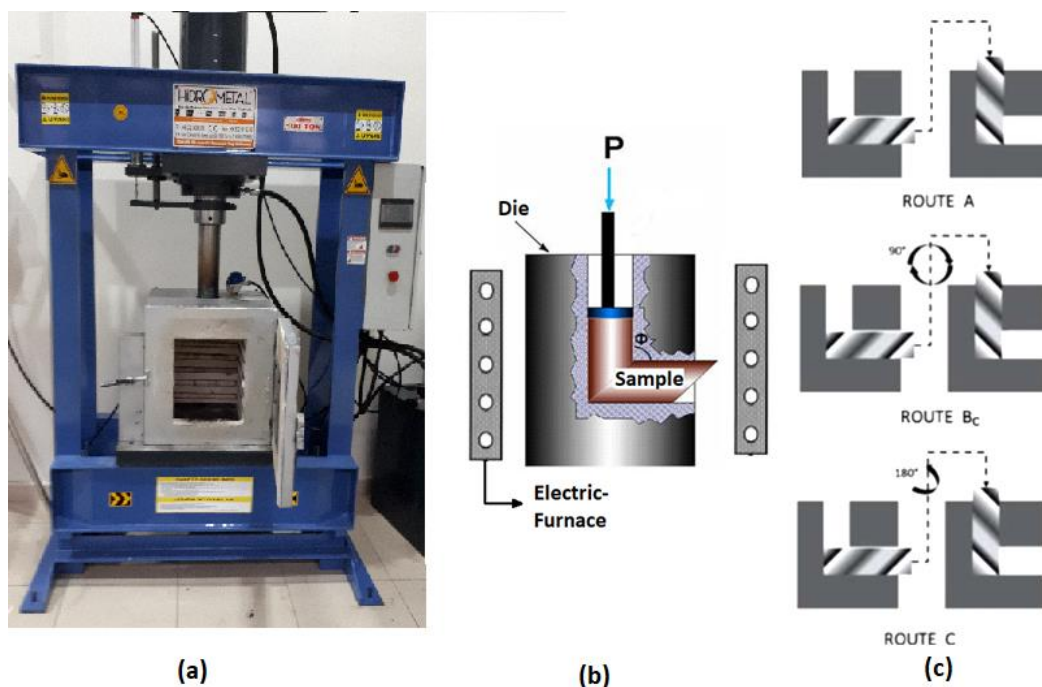
The microstructures of samples obtained by the ECAP process were characterized by using an X-ray diffractometer (XRD), optic microscope (OM), scanning electron microscopy (SEM), and grain size analyses. XRD measurements

were performed to as-received and ECAPed samples to characterize and identify the alloy phases present by using Rigaku-2200 D/Max X-ray powder diffractometer with Cu K $\alpha$  radiation. The generator set was 45 kV, 40 mA. The average grain size was calculated by using the Debye - Scherrer formula.

$$D = \frac{k \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \quad (1)$$

where  $D$  is the grain size (nm),  $\lambda$  is the wavelength of Cu-K $\alpha$  radiation,  $\beta$  is the full width at half maximum,  $\theta$  is the Bragg's angle, and  $k$  is crystallite-shape constant. Calculations were carried on by accepting the value of Cu-K $\alpha$  radiation wavelength ( $\lambda$ ) as 1.54 and the crystallite-shape constant ( $k$ ) as 0.9. The full width at half maximum (FWHM) was measured from strong intensity X-ray diffraction profiles by using PANalytical XPert-High Score Plus software. Also, PANalytical XPert-High Score Plus software was used to identify the phases.

To take images from the side of the samples, they were cut by Struers Accutom-5 Linear Precision Saw at a feed rate of 0.05 mm/s. The surface of the specimens was mechanically ground up to 2000 grit SiC paper, then polished using 1  $\mu$ m diamond paste with 0.05  $\mu$ m silica colloidal and then etched using an aqueous solution of Keller's reagent (2.5 ml HNO $_3$  + 1.5 ml HCl + 1.0 ml HF + 95 ml distilled water). After the metallographic processes, an optical microscope (LEICA DM 4000M: Metal Microscope) and SEM analysis were performed for microstructure examinations. Scanning electron microscope (SEM) studies were carried out using a JEOL JSM-6060 instrument equipped.



**Figure 3.** Schematic ECAP mechanism (a) ECAP experimental setup, (b) ECAP system, (c) Schema ECAP of route A, Bc, and C

## 2.4. Mechanical Testing

Followed by the ECAP process, mechanical tests were performed using Wolpert Wilson-400 micro-hardness testing equipment comprising of a Vickers indenter. The load applied on the specimens was about 0.01 kgf. Each microhardness value reported in this study is obtained by taking the mean of at least five individual readings.

## 3. Experimental Results

Changes in microstructure and hardness values of AA7075 alloy produced with ECAP in the determined parameters were examined. During the ECAP process, deformations occurred in the samples, especially at the inner corner point where friction is intense. Studies have shown that as the number of passes increases, the grain size of the sample decreases, and thus its hardness increases. This situation causes the samples to be strained and break in the next pass.

Moreover, in the ECAP die, which is made of high-work tool steel with high wear resistance and high toughness, tears have occurred due to high friction and stresses between the material and the mold. The deformations and

surface cracks that were seen on the sample have been removed by surface grinding in order not to cause any problems in the next pass. As the number of passes increased, the sample size was shortened due to the decrease in the grain size of the sample, the increase in density, and the deformations (Figure 4).

In the first examinations made on the samples, it was observed that different routes and a different number of passes caused different effects on the sample structure, and the loss of material due to fracture and cracking was especially high in the Bc route. These effects are thought to be caused by heterogeneous strains, different orientations, and dislocations caused by severe plastic deformation in the sample. In addition to dislocations, sample internal structure defects also trigger this situation (Saray et al. 2013).

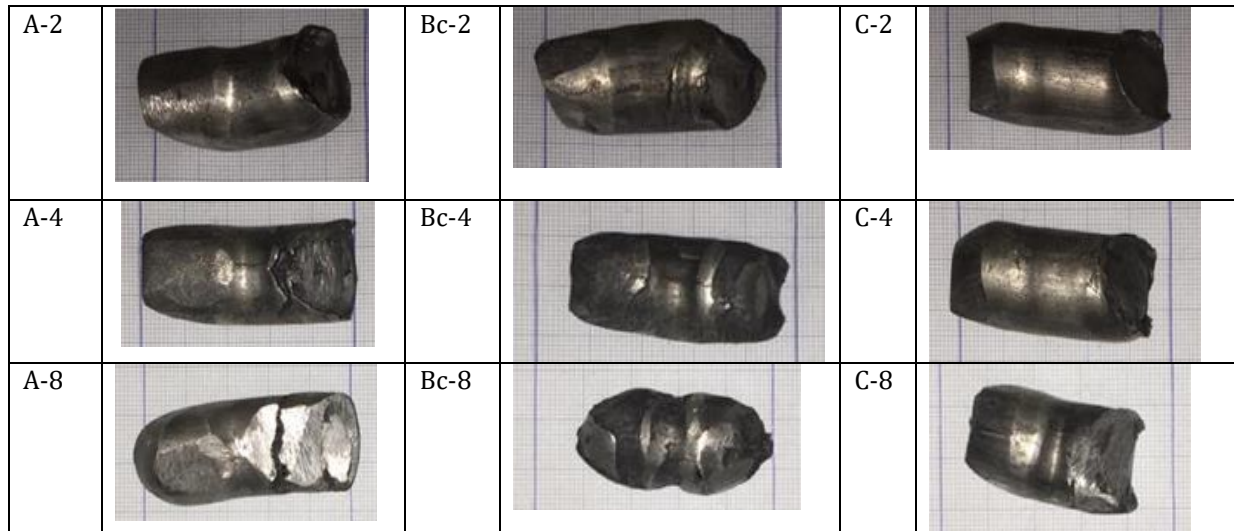


Figure 4. Samples produced by applying the ECAP process.

### 3.1. XRD Analyses

The enlarged XRD patterns of ECAPed specimens under various conditions were illustrated in Figure 5. As it is seen in Figure 4, the microstructure consists of  $\alpha$ -Al,  $\eta$  phase ( $MgZn_2$ ), and S phase ( $Al_2CuMg$  and  $Al_7Cu_2Fe$ ).  $\alpha$ -Al phase shows five highest intensity peaks, namely, (111), (200), (220), (311), and (222). It was observed that the GP regions formed with the precipitation hardening consisted of the  $\eta$  phase. These precipitates form an intermetallic compound, showing GP regions (GPZs) with a broad peak noticed at  $2\theta = 20^\circ$ . Other weak peaks also observed at  $2\theta$  between  $40^\circ$  and  $45^\circ$  may be present due to the transition hexagonal  $\eta'$  phase. This might be because of the peak positions which are at slightly lower angles than those of the hexagonal  $\eta$  phase. Besides, their lattice parameters are also a little different from those of the  $\eta$  phase. The formation of such phases was thought to be due to the high temperature produced during the processes (Zhao et al. 2004; Cardoso et al. 2014). It is well known that these phases formed in the structure improve the mechanical properties of the structure (Van Horn 1968; Baker 1990; Williams and Starke 2003). After obtaining data from XRD analysis, the crystallite size of the ECAPed samples has been calculated by using Debye-Scherrer Equation. Sharp and strong diffractions in the range of  $2\theta = 35-45^\circ$  were determined by the software and FWHM (full width at half maximum), full width at half height) values were calculated for each peak.



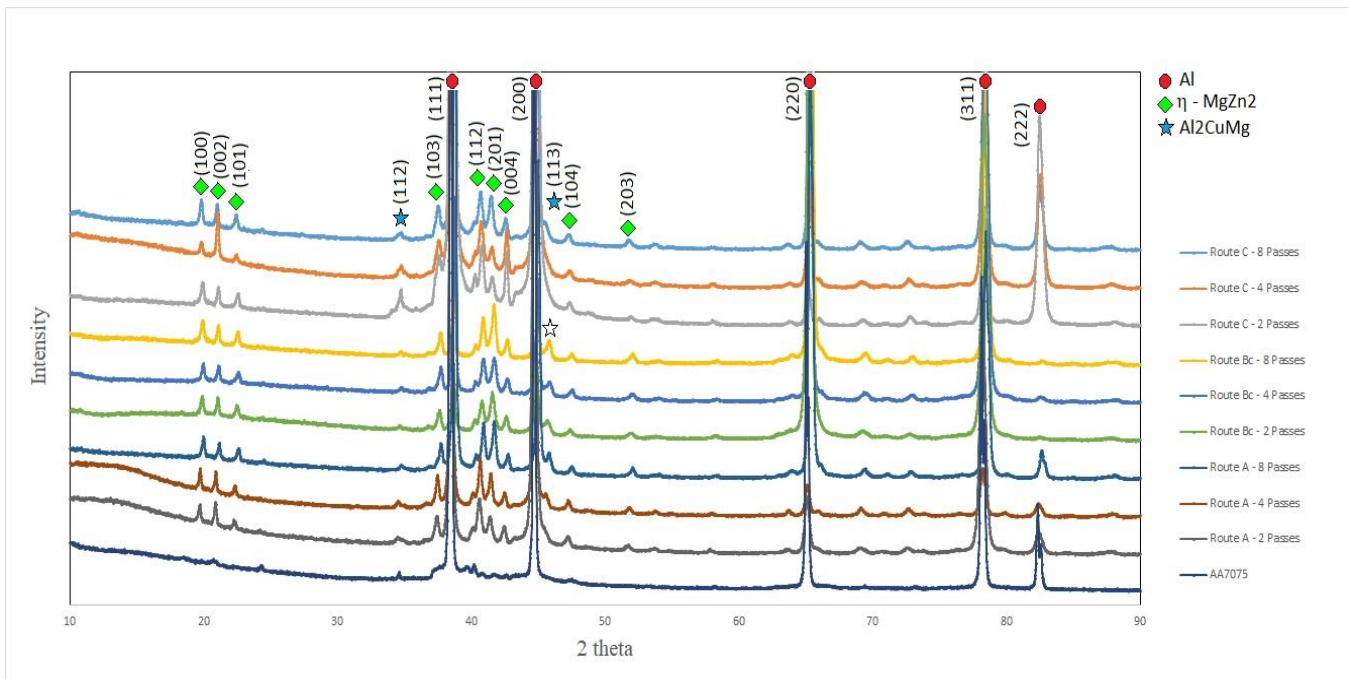


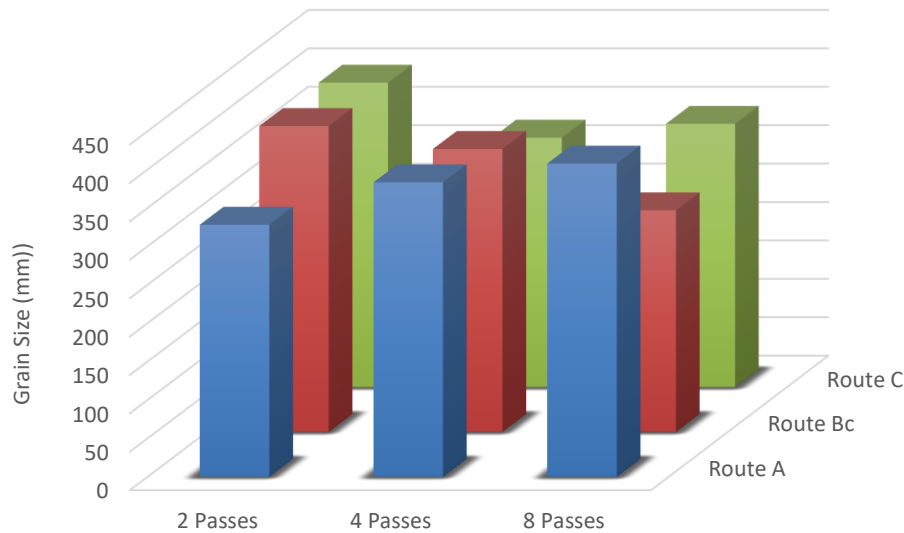
Figure 5. XRD pattern of ECAPed samples

The grain size of each sample was determined by taking the average of the calculated grain sizes of the phases determined for that sample. Grain size values calculated using the Debye-Scherrer equation are shown in Table 1. In general, a decrease in the grain size of the ECAP applied samples is observed.

Table 1. Average Grain Sizes of ECAPed Samples

| ECAP Process        | GRAIN SIZE (nm) |
|---------------------|-----------------|
| Non- ECAPed         | 660             |
| Route A - 2 Passes  | 328             |
| Route A - 4 Passes  | 383.2           |
| Route A - 8 Passes  | 407.6           |
| Route Bc - 2 Passes | 398.8           |
| Route Bc - 4 Passes | 368.2           |
| Route Bc - 8 Passes | 288.4           |
| Route C - 2 Passes  | 396.2           |
| Route C - 4 Passes  | 324.6           |
| Route C - 8 Passes  | 342.6           |

The changes in average grain size after the ECAP process are given in Figure 6. It has been observed that the grain size measured in each pass changes in the A, Bc, and C routes as the number of passes increases. The decrease in the grain size of the samples applied in the Bc route was evidently seen as the number of passes increased, but the grain size of the samples applied in the A route increased as the number of passes increased. The increase observed in the grain size of the samples applied the A route is thought to be due to the recrystallization of the grains and the high-angle grain boundaries not increasing sufficiently due to the absence of deformation in the z plane (Valiev and Langdon 2006). It is thought that the reason for the decrease in the grain size of the samples, on which route C was applied, up to 4 passes and the increase observed at the end of 8 passes, is because the sliding continues in the same plane in each pass through the mold. In Route C, there is no deformation in the z plane (Valiev and Langdon 2006)



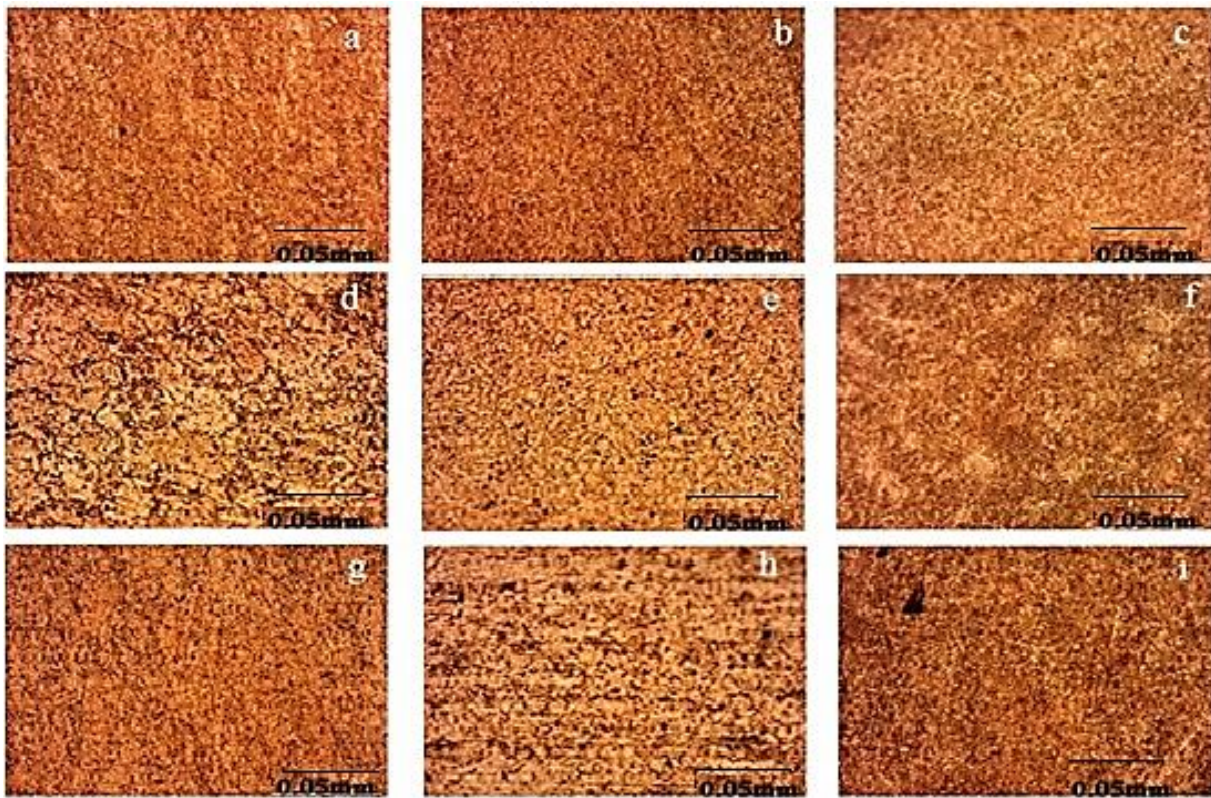
**Figure 6.** Comparison of grain sizes in different routes and passes

### 3.2. Optical Microscope

The optical microscope images of the ECAPed samples were given in Figure 7. When the optical microscope images are examined, it has been observed that the grains tend towards the deformation direction with the effect of the applied deformation. As a result of the ECAP process repeated in each route and the different number of passes, it is explicitly seen that the increase in grain reduction occurs gradually as the number of passes increases. The presence of irregularities in the structure can be explained by the presence of different grain sizes and the inability to achieve full homogenization within the structure. When examining the samples whose grain size was calculated theoretically with XRD graphics, a reduction in the grain size of the sample was observed as a result of the ECAP process by applying the A route. It is thought that as the number of passes increases in route A, the increase in grain size is due to the dynamic recrystallization of the applied temperature during the ECAP process. As a result of the ECAP operations performed on the Bc route, it was observed that the sample, which was applied for 8 passes, gave the smallest grain size value. Since the grain size is the lowest among all samples, the direction of extrusion was almost not visible. As a result of the ECAP operations performed on the C route, it was observed that the orientation frequency due to deformation was the most significant in the sample applied 4 passes.

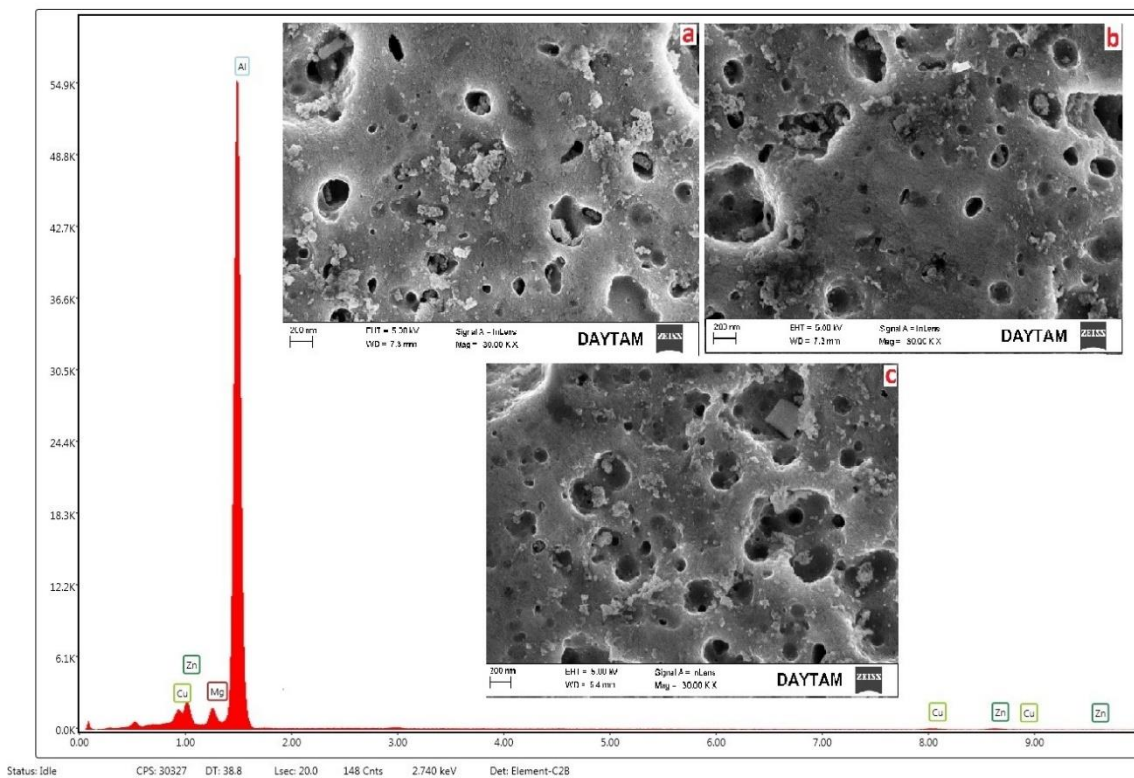
### 3.3. SEM/EDS (Scanning Electron Microscopy) Analysis

It is known that the grain size decreases after plastic deformation and the precipitates that occur as a result of heat treatment cause changes in the strength of the material. It was previously determined in XRD analysis that the precipitates formed as a result of the ECAP process in Al-Mg-Zn alloys are  $MgZn_2$ ,  $Al_2CuMg$ , and  $Al_7Cu_2Fe$ . When the SEM / EDS analysis for each sample is examined, it is seen that the  $Al_7Cu_2Fe$  precipitate, whose brightness can be unambivalently observed, shows an irregular shape, while the  $Al_2CuMg$  and  $MgZn_2$  phases have a spherical shape.



**Figure 7.** Optical microscope images of different routes and passes (a: Route A/2, b: Route A/4, c: Route A/8, d: Route Bc/2, e: Route Bc/4, f: Route Bc/8, g: Route C/2, h: Route C/4, i: Route C/8)

SEM images of samples that have been applied ECAP in different passes are given in Figures 8, 9, and 10. When the EDS analysis results are examined, it is seen that the elements obtained following the assumption of the precipitates formed are Al, Mg, Zn, and Cu.



**Figure 8.** SEM /EDS images of ECAPed samples at Route A (a:2 passes, b:4 passes, c:8 passes)

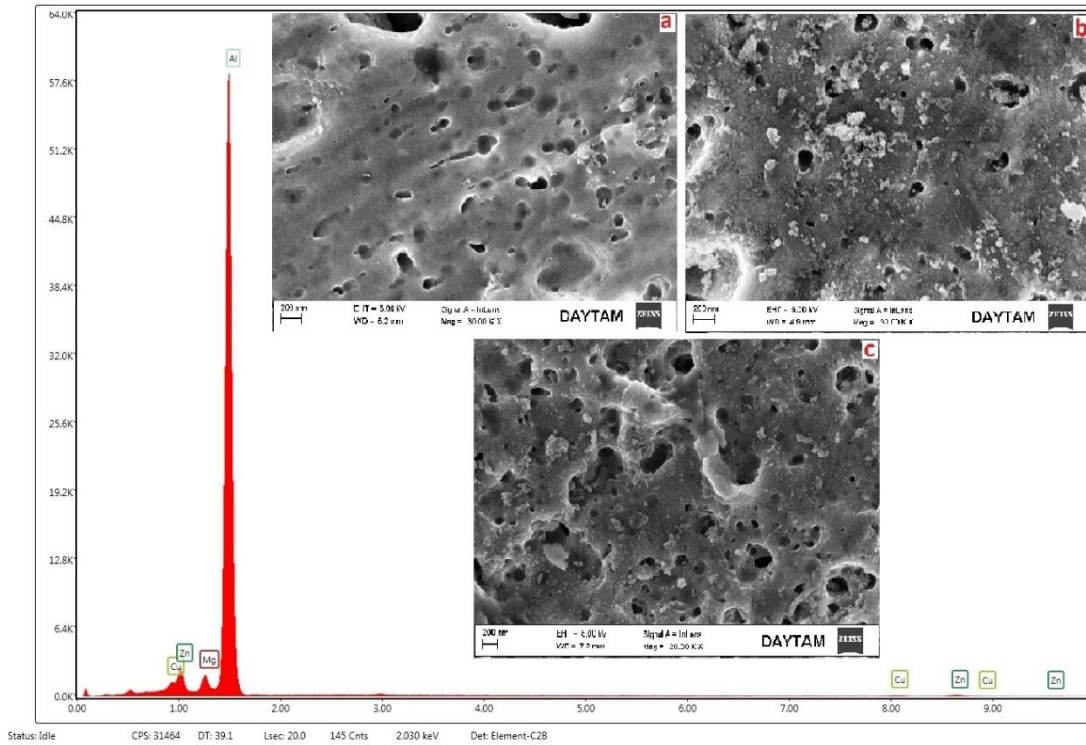


Figure 9. SEM /EDS images of ECAPed samples at Route Bc (a:2 passes, b:4 passes, c:8 passes)

It is known that the temperature and severe plastic deformation during the ECAP process can form intermetallic compounds in the structure. The dense and regular microstructure of the sub-grains formed by the effect of severe plastic deformation may be affected by temperature, route, and number of passes and leave their place to coarse-grained structures. When the SEM/EDS images of the samples applied with the Bc route are examined, it is seen that the coarse grains, as well as the fine grains in the AA7075 alloy, are formed homogeneously in the structure during the process. When the SEM/EDS images of the samples applied A and C routes are examined, it is seen that this distribution is not homogeneous.

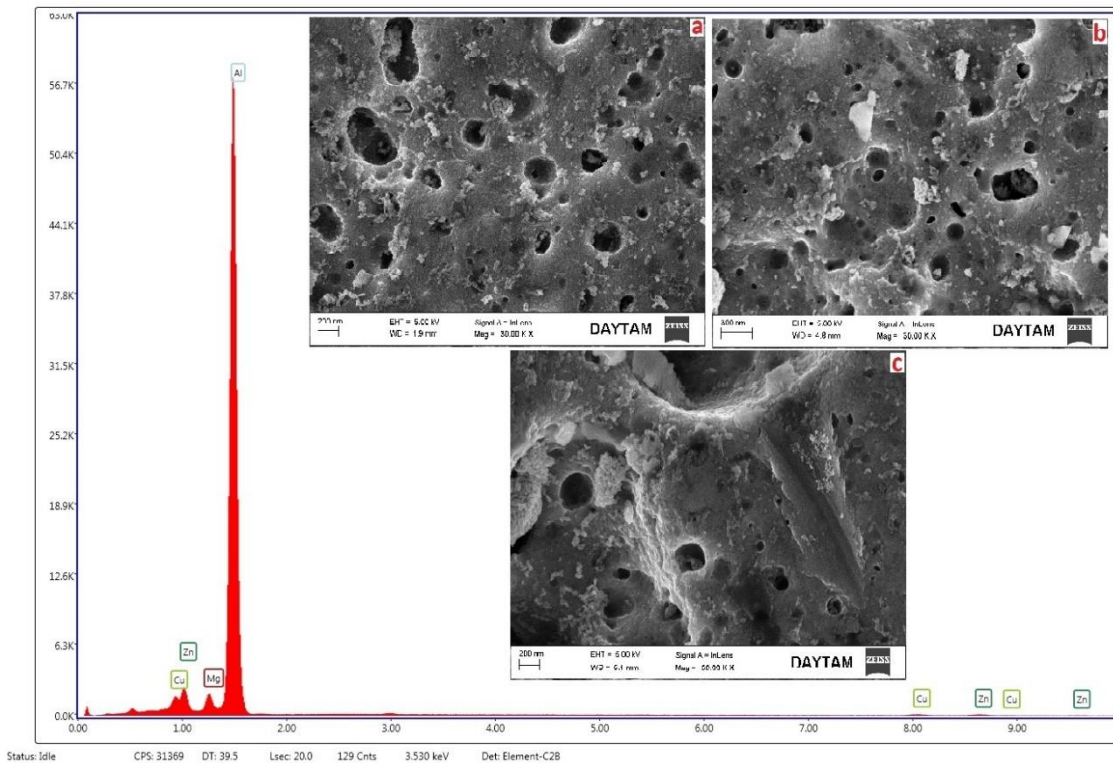


Figure 10. SEM images of ECAPed samples at Route C (a: 2 passes, b: 4 passes, c: 8 passes)

In elongated grains of ECAP-treated material, the dislocation density increases during processing. This is due to plastic deformation by the sliding mechanism that occurs during the ECAP process (Zheng et al. 2002). It is stated in the previous studies that the structure is not homogeneous, anisotropic and its properties change mostly due to deformation-related reasons after the transitions in the ECAP process. After repeated ECAP processes, aluminum materials show homogeneous particle size distribution. The number of passes repeating up to achieve a homogeneous microstructure. But the microstructure is still anisotropic (Liu et al. 2003; Saravanan et al. 2006). In the ECAP process, changes occur in the material characteristics depending on the rotational directions of the material. Bc route is the optimum route in which microstructural evolution occurs mostly (Furukawa et al. 1997; Langdon 2013).

Similar results were obtained in this study. With the microhardness analysis, it is observed that the hardness values of the samples showing heterogeneous structure (A and C route applied) are lower than the hardness values of the samples showing homogeneous structure (Bc route applied). These results give information about the homogenization in the structure and prove the accuracy of the results.

### 3.4. Mechanical Testing

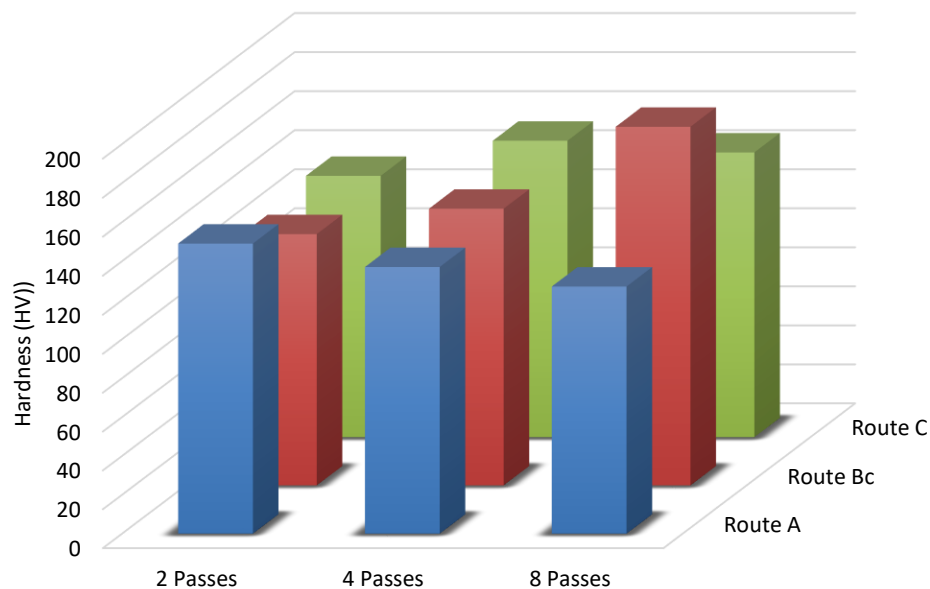
The hardness measurement results of non-ECAPed and ECAPed samples are given in Table 2. By severe plastic deformation, an increase in the density of dislocation occurs due to the stresses in the internal structure of the material. The precipitations detected in XRD and SEM/EDS analyzes are harder than the main matrix phase and cause the hardness of the material to increase by preventing the dislocation movement during the severe plastic deformation process. When the microhardness values were examined, it was seen that the highest hardness value was obtained in the Bc course and with 8 passes. The hardness decrease occurring in the A route can be explained by the recrystallization of the grains in the material and the increase of the grain size accordingly. In the C route, the highest hardness value was obtained with 4 passes, and when the number of passes was increased, a decrease in the hardness value was observed in 8 passes as a result of the recrystallization of the grains and the increase in grain size. The grain boundaries observed in multi-grain materials restrict the movement of dislocations and cause the material to become stronger. Conversely, all kinds of factors that will facilitate dislocation movements will make plastic deformation easier.

**Table 2.** Micro-hardness (HV) values of non-ECAPed and ECAPed samples

| ECAP Process        | Microhardness (HV) |
|---------------------|--------------------|
| Non- ECAPed         | 95                 |
| Route A - 2 Passes  | 149                |
| Route A - 4 Passes  | 137                |
| Route A - 8 Passes  | 127                |
| Route Bc - 2 Passes | 129                |
| Route Bc - 4 Passes | 142                |
| Route Bc - 8 Passes | 184                |
| Route C - 2 Passes  | 134                |
| Route C - 4 Passes  | 152                |
| Route C - 8 Passes  | 146                |

The grain boundary in the material can be controlled by thermo-mechanical treatments, heat treatments, or micro-alloy. As the grains get smaller with thermo-mechanical processes, the strength of the material increases as the amount of grain boundary per unit volume increases.

With the deformation that occurs during the ECAP process, dislocations moving on the same slip plane accumulate near the grain boundary and form a dislocation pile-up. As new ones are added to this dislocation density, the trailing ones apply force to the dislocation stacks in the front, allowing the leading dislocations to move onto the other grain and continue to slide. Thus, together with the definite improvement in the deformation ability of the material, it causes an increase in the strength values of the material. Comparison of grain sizes in different routes and passes are given in Figure 11.



**Figure 11.** Comparison of hardness in different route and pass

#### 4. Result and Discussion

The XRD graphs of the samples that were applied ECAP process in different routes and passes were examined and it was determined that the phases present in AA7075 alloy were  $\alpha$ -Al,  $\eta$ -MgZn<sub>2</sub>, S-Al<sub>2</sub>CuMg, and Al<sub>7</sub>Cu<sub>2</sub>Fe. The grain size of 288.4 nm obtained after 8 repeated passes using the Bc route was the smallest grain size obtained. SEM/EDS analyzes were examined for each sample and it was observed that the Al<sub>7</sub>Cu<sub>2</sub>Fe precipitate, whose brightness was visible, showed an irregular shape, and the Al<sub>2</sub>CuMg and MgZn<sub>2</sub> phases had a spherical shape. According to the hardness measurement results of non-ECAPed and ECAPed samples, it was seen that the highest hardness value was obtained in the Bc course and with 8 passes. This increase in hardness is thought to be the result of the precipitates (GPZ, phase, and S phase) formed in the material after the ECAP process and these precipitates prevent the dislocation movement.

#### Acknowledgment

This work was supported by the Atatürk University Scientific Research Projects Coordination Unit. Project Number: FBA-2020-8351.

#### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

#### References

- Baker, H. 1990. Handbook-Alloy Phase Diagrams ASM International, 3279-337. Doi:
- Cardoso, K. R., Munoz-Morris, M. A., Lieblich, M., and Morris, D. 2014. Effect of Equal Channel Angular Pressing (ECAP) on Microstructure and Properties of Al-FeAlCr Intermetallic Phase Composites, *Materials Research-Ibero-American Journal of Materials*, 17(3), 775-780. Doi: 10.1590/S1516-14392014005000029
- Duan, Z. C., Liao, X. Z., Kawasaki, M., Figueiredo, R. B., and Langdon, T. G. 2010. Influence of high-pressure torsion on microstructural evolution in an Al-Zn-Mg-Cu alloy, *Journal of Materials Science*, 45(17), 4621-4630. Doi: 10.1007/s10853-010-4400-0.
- Figueiredo, R. B., and Langdon, T. G. 2010. Grain refinement and mechanical behavior of a magnesium alloy processed by ECAP, *Journal of Materials Science*, 45(17), 4827-4836. Doi: 10.1007/s10853-010-4589-y.
- Furukawa, M., Berbon, P. B., Horita, Z., Nemoto, M., Tsenev, N. K., Valiev, R. Z., and Langdon, T. G. 1997. Production of ultrafine-grained metallic materials using an intense plastic straining technique, *Towards Innovation in Superplasticity I*, 233-2177-184. Doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.233-234.177.
- Furukawa, M., Horita, Z., and Langdon, T. G. 2001. Developing ultrafine grain sizes using severe plastic deformation, *Advanced Engineering Materials*, 3(3), 121-125. Doi: 10.1002/1527-2648(200103)3:3<121::AID-ADEM121>3.0.CO;2-V.
- Gubicza, J., Chinh, N. Q., Csanadi, T., Langdon, T. G., and Ungar, T. 2007. Microstructure and strength of severely deformed fcc metals, *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 462(1-2), 86-90. Doi: 10.1016/j.msea.2006.02.455.

- Hockauf, M., Meyer, L. W., Nickel, D., Alisch, G., Lampke, T., Wielage, B., and Kruger, L. 2008. Mechanical properties and corrosion behaviour of ultrafine-grained AA6082 produced by equal-channel angular pressing, *Journal of Materials Science*, 43(23-24), 7409-7417. Doi: 10.1007/s10853-008-2724-9.
- Huang, Y., and Langdon, T. G. 2002. Characterization of deformation processes in a Zn-22% Al alloy using atomic force microscopy, *Journal of Materials Science*, 37(23), 4993-4998. Doi: 10.1023/A:1021071228521.
- Janecek, M., Cizek, J., Gubicza, J., and Vratna, J. 2012. Microstructure and dislocation density evolutions in MgAlZn alloy processed by severe plastic deformation, *Journal of Materials Science*, 47(22), 7860-7869. Doi: 10.1007/s10853-012-6538-4.
- Janecek, M., Yi, S., Kral, R., Vratna, J., and Kainer, K. U. 2010. Texture and microstructure evolution in ultrafine-grained AZ31 processed by EX-ECAP, *Journal of Materials Science*, 45(17), 4665-4671. Doi: 10.1007/s10853-010-4675-1.
- Langdon, T. G. 2013. Twenty-five years of ultrafine-grained materials: Achieving exceptional properties through grain refinement, *Acta Materialia*, 61(19), 7035-7059. Doi: 10.1016/j.actamat.2013.08.018.
- Lapovok, R., Estrin, Y., Popov, M. V., Rundell, S., and Williams, T. 2008. Enhanced superplasticity of magnesium alloy AZ31 obtained through equal-channel angular pressing with back-pressure, *Journal of Materials Science*, 43(23-24), 7372-7378. Doi: 10.1007/s10853-008-2685-z.
- Lee, S., Furukawa, M., Horita, Z., and Langdon, T. G. 2003. Developing a superplastic forming capability in a commercial aluminum alloy without scandium or zirconium additions, *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 342(1-2), 294-301. Doi: 10.1016/S0921-5093(02)00319-2.
- Li, Y., and Langdon, T. G. 2000. Equal-channel angular pressing of an Al-6061 metal matrix composite, *Journal of Materials Science*, 35(5), 1201-1204. Doi: 10.1023/A:1004740504619.
- Liu, T., Zhang, W., Wu, S. D., Jiang, C. B., Li, S. X., and Xu, Y. B. 2003. Mechanical properties of a two-phase alloy Mg-8%Li-1%Al processed by equal channel angular pressing, *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 360(1-2), 345-349. Doi: 10.1016/S0921-5093(03)00494-5.
- Lugo, N., Llorca, N., Sunol, J. J., and Cabrera, J. M. 2010. Thermal stability of ultrafine grains size of pure copper obtained by equal-channel angular pressing, *Journal of Materials Science*, 45(9), 2264-2273. Doi: 10.1007/s10853-009-4139-7.
- Malek, P., Cieslar, M., and Islamgaliev, R. K. 2004. The influence of ECAP temperature on the stability of Al-Zn-Mg-Cu alloy, *Journal of Alloys and Compounds*, 378(1-2), 237-241. Doi: 10.1016/j.jallcom.2003.11.161.
- Mao, J., Kang, S. B., and Park, J. O. 2005. Grain refinement, thermal stability and tensile properties of 2024 aluminum alloy after equal-channel angular pressing, *Journal of Materials Processing Technology*, 159(3), 314-320. Doi: 10.1016/j.jmatprotec.2004.05.020.
- Mckenzie, P. W. J., Lapovok, R., and Estrin, Y. 2007. The influence of back pressure on ECAP processed. AA 6016: Modeling and experiment, *Acta Materialia*, 55(9), 2985-2993. Doi: 10.1016/j.actamat.2006.12.038.
- Meyer, L. W., Sommer, K., Halle, T., and Hockauf, M. 2008. Crack growth in ultrafine-grained AA6063 produced by equal-channel angular pressing, *Journal of Materials Science*, 43(23-24), 7426-7431. Doi: 10.1007/s10853-008-2725-8.
- Murashkin, M. Y., Sabirov, I., Kazykhanov, V. U., Bobruk, E. V., Dubravina, A. A., and Valiev, R. Z. 2013. Enhanced mechanical properties and electrical conductivity in ultrafine-grained Al alloy processed via ECAP-PC, *Journal of Materials Science*, 48(13), 4501-4509. Doi: 10.1007/s10853-013-7279-8.
- Niendorf, T., Rubitschek, F., Maier, H. J., Canadinc, D., and Karaman, I. 2010. On the fatigue crack growth-microstructure relationship in ultrafine-grained interstitial-free steel, *Journal of Materials Science*, 45(17), 4813-4821. Doi: 10.1007/s10853-010-4511-7.
- Oh-Ishi, K., Horita, Z., Furukawa, M., Nemoto, M., and Langdon, T. G. 1998. Communications - Optimizing the rotation conditions for grain refinement in equal-channel angular pressing, *Metallurgical and Materials Transactions a-Physical Metallurgy and Materials Science*, 29(7), 2011-2013. Doi: 10.1007/s11661-998-0027-z.
- Park, K. T., Kim, Y. S., Lee, J. G., and Shin, D. H. 2000. Thermal stability and mechanical properties of ultrafine grained low carbon steel, *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 293(1-2), 165-172. Doi: 10.1016/S0921-5093(00)01220-X.
- Raab, G. J., Valiev, R. Z., Lowe, T. C., and Zhu, Y. T. 2004. Continuous processing of ultrafine grained Al by ECAP-Conform, *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 382(1-2), 30-34. Doi: 10.1016/j.msea.2004.04.021.
- Roven, H. J., Liu, M. P., and Werenskiold, J. C. 2008. Dynamic precipitation during severe plastic deformation of an Al-Mg-Si aluminium alloy, *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 483-484-58. Doi: 10.1016/j.msea.2006.09.142.
- Saravanan, M., Pillai, R. M., Pai, B. C., Brahmakumar, M., and Ravi, K. R. 2006. Equal channel angular pressing of pure aluminium - an analysis, *Bulletin of Materials Science*, 29(7), 679-684. Doi: -.
- Saray, O., Purcek, G., Karaman, I., and Maier, H. J. 2013. Formability of Ultrafine-Grained Interstitial-Free Steels, *Metallurgical and Materials Transactions a-Physical Metallurgy and Materials Science*, 44a(9), 4194-4206. Doi: 10.1007/s11661-013-1781-0.
- Sekban, D. M. 2020. Eş Kanallı Açısız Presleme (EKAP) Uygulanan Gemi İnşa Çeliğinin İçyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 240 -251. Doi: 10.21923/jesd.570536
- Sekban, D. M., Aktarer, S. M., Zhang, H., Xue, P., Ma, Z. Y., and Purcek, G. 2017. Microstructural and Mechanical Evolution of a Low Carbon Steel by Friction Stir Processing, *Metallurgical and Materials Transactions a-Physical Metallurgy and Materials Science*, 48a(8), 3869-3879. Doi: 10.1007/s11661-017-4157-z.
- Semenova, I. P., Polyakov, A. V., Raab, G. I., Lowe, T. C., and Valiev, R. Z. 2012. Enhanced fatigue properties of ultrafine-grained Ti rods processed by ECAP-Conform, *Journal of Materials Science*, 47(22), 7777-7781. Doi: 10.1007/s10853-012-6675-9.
- Semenova, I. P., Valiev, R. Z., Yakushina, E. B., Salimgareeva, G. H., and Lowe, T. C. 2008. Strength and fatigue properties enhancement in ultrafine-grained Ti produced by severe plastic deformation, *Journal of Materials Science*, 43(23-24), 7354-7359. Doi: 10.1007/s10853-008-2984-4.

- Sha, G., Wang, Y. B., Liao, X. Z., Duan, Z. C., Ringer, S. P., and Langdon, T. G. 2009. Influence of equal-channel angular pressing on precipitation in an Al-Zn-Mg-Cu alloy, *Acta Materialia*, 57(10), 3123-3132. Doi: 10.1016/j.actamat.2009.03.017.
- Shaeri, M. H., Shaeri, M., Ebrahimi, M., Salehi, M. T., and Seyyedein, S. H. 2016. Effect of ECAP temperature on microstructure and mechanical properties of Al-Zn-Mg-Cu alloy, *Progress in Natural Science-Materials International*, 26(2), 182-191. Doi: 10.1016/j.pnsc.2016.03.003.
- Silva, C. L. P., Oliveira, A. C., Costa, C. G. F., Figueiredo, R. B., Leite, M. D., Pereira, M. M., Lins, V. F. C., and Langdon, T. G. 2017. Effect of severe plastic deformation on the biocompatibility and corrosion rate of pure magnesium, *Journal of Materials Science*, 52(10), 5992-6003. Doi: 10.1007/s10853-017-0835-x.
- Sordi, V. L., Ferrante, M., Kawasaki, M., and Langdon, T. G. 2012. Microstructure and tensile strength of grade 2 titanium processed by equal-channel angular pressing and by rolling, *Journal of Materials Science*, 47(22), 7870-7876. Doi: 10.1007/s10853-012-6593-x.
- Sus-Ryszkowska, M., Wejrzanowski, T., Pakiel, Z., and Kurzydowski, K. J. 2004. Microstructure of ECAP severely deformed iron and its mechanical properties, *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 369(1-2), 151-156. Doi: 10.1016/j.msea.2003.10.318.
- Ueno, H., Kakihata, K., Kaneko, Y., Hashimoto, S., and Vinogradov, A. 2011. Nanostructurization assisted by twinning during equal channel angular pressing of metastable 316L stainless steel, *Journal of Materials Science*, 46(12), 4276-4283. Doi: 10.1007/s10853-011-5303-4.
- Valiev, R. Z., Islamgaliev, R. K., and Alexandrov, I. V. 2000. Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation, *Progress in Materials Science*, 45(2), 103-189. Doi: 10.1016/S0079-6425(99)00007-9.
- Valiev, R. Z., and Langdon, T. G. 2006. Principles of equal-channel angular pressing as a processing tool for grain refinement, *Progress in Materials Science*, 51(7), 881-981. Doi: 10.1016/j.pmatsci.2006.02.003.
- Van Horn, K. R. 1968. Aluminum, American Society for Metals.
- Venkatachalam, P., Kumar, S. R., Ravisankar, B., Paul, V. T., and Vijayalakshmi, M. 2010. Effect of processing routes on microstructure and mechanical properties of 2014 Al alloy processed by equal channel angular pressing, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20(10), 1822-1828. Doi:
- Wang, C. T., Gao, N., Wood, R. J. K., and Langdon, T. G. 2011. Wear behavior of an aluminum alloy processed by equal-channel angular pressing, *Journal of Materials Science*, 46(1), 123-130. Doi: 10.1007/s10853-010-4862-0.
- Williams, J. C., and Starke, E. A. 2003. Progress in structural materials for aerospace systems, *Acta Material*, 515775-5799. Doi: 10.1016/j.actamat.2003.08.023.
- Wongsa-Ngam, J., Kawasaki, M., and Langdon, T. G. 2013. A comparison of microstructures and mechanical properties in a Cu-Zr alloy processed using different SPD techniques, *Journal of Materials Science*, 48(13), 4653-4660. Doi: 10.1007/s10853-012-7072-0.
- Xu, C., Dixon, W., Furukawa, M., Horita, Z., and Langdon, T. G. 2003. Developing superplasticity in a spray-cast aluminum 7034 alloy through equal-channel angular pressing, *Materials Letters*, 57(22-23), 3588-3592. Doi: 10.1016/S0167-577X(03)00130-7.
- Xu, C., and Langdon, T. G. 2007. The development of hardness homogeneity in aluminum and an aluminum alloy processed by ECAP, *Journal of Materials Science*, 42(5), 1542-1550. Doi: 10.1007/s10853-006-0899-5.
- Zhang, Y., Wang, J. T., Cheng, C., and Liu, J. Q. 2008. Stored energy and recrystallization temperature in high purity copper after equal channel angular pressing, *Journal of Materials Science*, 43(23-24), 7326-7330. Doi: 10.1007/s10853-008-2903-8.
- Zhao, Y. H., Liao, X. Z., Jin, Z., Valiev, R. Z., and Zhu, Y. T. 2004. Microstructures and mechanical properties of ultrafine grained 7075 Al alloy processed by ECAP and their evolutions during annealing, *Acta Materialia*, 52(15), 4589-4599. Doi: 10.1016/j.actamat.2004.06.017.
- Zheng, L. J., Chen, C. Q., Zhou, T. T., Liu, P. Y., and Zeng, M. G. 2002. Structure and properties of ultrafine-grained Al-Zn-Mg-Cu and Al-Cu-Mg-Mn alloys fabricated by ECA pressing combined with thermal treatment, *Materials Characterization*, 49(5), 455-461. Doi: 10.1016/S1044-5803(03)00069-X.
- Zhilyaev, A. P., Gubicza, J., Nurislamova, G., Revesz, A., Surinach, S., Baro, M. D., and Ungar, T. 2003. Microstructural characterization of ultrafine-grained nickel, *Physica Status Solidi a-Applications and Materials Science*, 198(2), 263-271. Doi: 10.1002/pssa.200306608.
- Zhilyaev, A. P., Swaminathan, S., Gimazov, A. A., McNelley, T. R., and Langdon, T. G. 2008. An evaluation of microstructure and microhardness in copper subjected to ultra-high strains, *Journal of Materials Science*, 43(23-24), 7451-7456. Doi: 10.1007/s10853-008-2714-y.





## SICAKLIK VERİLERİNİN TREND ANALİZİ: ÇANKIRI VE KASTAMONU ÖRNEĞİ

Ahmet İLKER<sup>1\*</sup>, Özlem TERZİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Çankırı, Türkiye

<sup>2</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Sıcaklık,  
Trend Analizi,  
Mann-Kendall Testi,  
Sen'in Trend Eğim Testi.

### Öz

Meteorolojik bir veri olan sıcaklık, iklim değişikliği ve küresel ısınmanın en önemli göstergelerinden biridir. Bir parametrenin zaman içerisindeki değişimini bilmek, o parametrenin gelecekte nasıl bir davranış göstereceği konusunda fikir sahibi olunmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada birbirine komşu olan Çankırı ve Kastamonu illerinde bulunan meteoroloji istasyonlarının maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık verileri için trend analizi yapılmıştır. Çalışmada bu iki ilde bulunan toplam sekiz meteoroloji istasyonunun verileri kullanılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden 1980-2017 yılları arasında bulunan 38 yıla ait sıcaklık verileri temin edilmiştir. Trend analizi için parametrik olmayan Mann-Kendall Testi kullanılırken, birim zamandaki değişim miktarının belirlenmesi için Sen'in Trend Eğim Testi kullanılmıştır. Maksimum sıcaklıkların trend analizi sonuçlarında sekiz istasyondaki toplam 136 trend analizinden 61 tanesinde istatistiksel açıdan anlamlı artış trendi belirlenmiştir. Minimum sıcaklıkların trend analizi sonuçları incelendiğinde 41 anlamlı artış trendi elde edilmiştir. Ortalama sıcaklıkların trend analizi sonuçlarına göre ise 136 analizden 52 tanesinin istatistiksel olarak anlamlı artış trendi sergilediği görülmüştür. Trend analizi sonuçları göstermiştir ki Çankırı ve Kastamonu illerinde sıcaklıklar artış eğilimindedir. Yapılan çalışma sonucunda Çankırı ve Kastamonu illerinde gelecek dönemlerde iklim değişikliği ve küresel ısınmanın etkisiyle sıcaklıklarda artış gözleneceği söylenebilir.

## TREND ANALYSIS OF TEMPERATURE DATA: CASE STUDY OF ÇANKIRI AND KASTAMONU

### Keywords

Temperature,  
Trend Analysis,  
Mann-Kendall Test,  
Sen's Trend Slope Test.

### Abstract

Temperature is one of the most important indicators of climate change and global warming. Knowing the change of this parameter over time provides an idea about how that parameter will behave in the future. In this study, trend analysis was applied to the maximum, minimum and average temperature data of meteorology stations located in neighboring provinces, Çankırı and Kastamonu. Data obtained from a total of eight meteorology stations in these two provinces were used in the study. Temperature data for the 38-year period between 1980-2017 were obtained from the General Directorate of Meteorology. While the nonparametric Mann-Kendall Test was used for trend analysis, Sen's Trend Slope Test was used to determine the amount of change per unit time. In the trend analysis of the maximum temperatures, a statistically significant increase trend was observed in 61 out of 136 trend analyzes at eight stations. When the trend analysis results of the minimum temperature values are examined, 41 significant increase trend is obtained. The trend analysis results of the average temperature values reveal that 52 out of 136 analyses showed a statistically significant increase trend. Trend analysis results provided that temperature values tend to increase. As a result, it can be concluded that temperature values will increase in Çankırı and Kastamonu in the coming periods due to the climate change and global warming.

### Alıntı / Cite

İlker, A., Terzi, Ö., (2021). Sıcaklık Verilerinin Trend Analizi: Çankırı ve Kastamonu, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1339-1347.

\* İlgili yazar / Corresponding author: mailto:ahmetilker@karatekin.edu.tr, +90-376-213-1195

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process         |            |
|--|---|------------|
| A. İlker, 0000-0002-6276-7309            | <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 20.05.2021 |
| Ö. Terzi, 0000-0001-6429-5176            | <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 28.07.2021 |
|  | <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 04.10.2021 |
|  | <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

## 1. Giriş (Introduction)

İklim değişikliği, iklimin ortalama halinde ve/veya değişkenliğinde uzun periyot boyunca meydana gelen değişiklikler şeklinde tanımlanır (Türkeş, 2008). Üzerinde yaşadığımız yerkürenin oluşumundan başlayarak jeolojik oluşumlar ve bununla birlikte özellikle son yüzyılda insanların çevreyle olan ilişkileri sebebiyle iklim değişimi az veya çok gerçekleşmiştir. Nüfusta meydana gelen hızlı artışlar, insanların giderek artan şehirleşme oranı ve bununla birlikte sanayileşmede yaşanan artışlar, yeraltı sularının bilinçsiz tüketimi ve tüm bunların ötesinde sera gazı salınımında büyük artışların meydana gelmesiyle artan küresel ısınma ve hidrolojik çevrimin olumsuz etkilenmesi sebebiyle dünyamızda bölgesel ve küresel olarak iklim değişikliği görülmektedir (Özyıldırım, 2019).

Küresel ısınma etkisi ile meydana gelen iklim değişikliğinin etkileri özellikle sıcaklık ve yağışta meydana gelen değişimler şeklinde görülmektedir. Bununla birlikte iklim değişikliği, buharlaşma gibi hidrolojik döngünün unsurlarını, tarım ve orman alanları ile bitkilerin doğal yaşam alanlarını, tarımsal çeşitlilik ve verim gibi birçok parametreyi olumsuz yönde etkilemektedir (Çiflik, 2012). Ayrıca küresel ısınma sebebiyle sıcaklık ve yağışlarda meydana gelen değişimlerin akımları etkilemesi sebebiyle var olan su yapıları planlanan su potansiyelini karşılamada olumsuz yönde etkilenmektedir (Biberoğlu, 2011).

Herhangi bir rastgele değişkenin değerinde zamanla bir artış ya da azalış meydana gelmesine trend denir (Cebe, 2007). Bir değişkendeki trendi belirlemek, o değişkenin geçmişte nasıl bir davranış gösterdiği hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlamanın yanında geleceğe dair tahmin yürütülmesini de kolaylaştırmaktadır. Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin en önemli göstergelerinden biri olan sıcaklığın geçmişteki davranışını belirlemek amacıyla yapılan trend analizi sıcaklıkta gelecek dönemlerde nasıl bir değişim meydana gelebileceği konusunda güçlü tahminler yapılmasını sağlamaktadır. Bu şekilde gelecek dönemlerde sıcaklıklarda meydana gelecek değişikliklerin olumsuz etkilerinden korunmak amacıyla alınabilecek önlemler belirlenebilmektedir. Hidro-meteorolojik verilerde iklim değişikliği sebebiyle meydana gelebilecek değişimleri geçmişe dayanarak tahmin etmek amacıyla trend analizi işlemi yaygın şekilde kullanılmaktadır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Sıcaklık, yağış, vb. gibi hidro-meteorolojik verilerin trendlerini belirlemek amacıyla ülkemizde ve dünyada birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları bu kısımda özetlenmiştir. Kızılelma vd. (2015) İç Anadolu Bölgesi'nde lineer regresyon ve parametrik olmayan yöntemlerle sıcaklık ve yağışın trend analizini yapmışlardır. Minimum ve maksimum sıcaklıklarda çalışma bölgesi genelinde, ortalama sıcaklıklarda ise Ürgüp istasyonu haricindeki istasyonlarda artış trendi belirlediklerini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte yağışlarda genel olarak azalma eğilimi olduğunu belirtmişlerdir. Ülke ve Özkaca (2018) Sen'in Trend Eğim Testi ve Mann-Kendall Testi yöntemlerini kullanarak Ordu, Samsun ve Sinop illerinde sıcaklıkların trend analizini yapmışlardır. Sıcaklıklarda genellikle artış trendi elde ettiklerini söylemişlerdir. Ay ve Özyıldırım (2017) Yozgat ilinin yağış ve sıcaklık verilerine Yenilikçi Şen yöntemi ve Mann-Kendall Testi ile trend analizi yapmışlardır. Mann-Kendall Testi ile sıcaklık ve yağışlarda anlamlı trend bulamadıklarını ifade etmişlerdir. Yenilikçi Şen yönteminde 1970-1992 yılları arasında yağışlarda artan trend olduğunu, 1993-2016 yılları arasında ise sıcaklıkta artan trend olduğunu tespit etmişlerdir. Tokgöz ve Partal (2020) Karadeniz Bölgesinde bulunan 16 meteoroloji istasyonunun sıcaklık ve yağış verilerine Mann-Kendall Testi ve Yenilikçi Şen yöntemi ile trend analizi uygulamışlardır. Sıcaklık verilerinde Yenilikçi Şen yöntemine göre tüm istasyonlarda, Mann-Kendall Testine göre ise yedi istasyonda artan trend tespit ettiklerini, yağış verileri için de sıcaklık verilerine yaklaşık sonuçlar elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Tabari ve Talae (2011) İran'da yarı kurak ve kurak bölgelerde bulunan 19 istasyonun maksimum ve minimum sıcaklık verilerine aylık, mevsimlik ve yıllık olarak trend analizi uygulamışlardır. Minimum ve maksimum sıcaklıklarda son yıllarda artış trendi olduğunu, minimum sıcaklıklardaki artışın maksimum sıcaklıklara göre daha fazla olduğunu söylemişlerdir. Oğuz ve Oğuz (2020) Şanlıurfa ve çevresinde bulunan dokuz meteoroloji istasyonunun sıcaklık ve yağış verilerine trend analizi uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre sıcaklık verilerinde artış trendi, yağış verilerinde ise azalış trendi olduğunu ifade etmişlerdir. Demir vd. (2017) Bingöl ilinin 1975-2016 yılları arasındaki 42 yıllık döneme ait maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık ile yağış verilerine Mann-Kendall ve Spearman testleriyle trend analizi yapmışlardır. Sıcaklık ve yağış verilerinde istatistiksel olarak anlamlı trend olmadığını, bununla birlikte yağışta istatistiksel açıdan anlamsız azalan trend, sıcaklıkta ise istatistiksel açıdan anlamsız artan trend olduğunu söylemişlerdir. Özfidaner vd. (2018) Antalya ili meteoroloji istasyonunun 42 yıllık (1976-2017)

sıcaklık verilerine trend analizi uygulamışlardır. Yaptıkları çalışmada sıcaklıkta istatistiksel olarak anlamlı artış trendi elde ettiklerini, artış miktarının ise 0,038 °C/yıl olduğunu ifade etmişlerdir. Ercan ve Yüce (2018) Kilis ilinin meteoroloji istasyonuna ait sıcaklık ve yağış verileriyle Mann-Kendall Testini kullanarak trend analizi yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre maksimum sıcaklıklarda Haziran ayında, ortalama sıcaklıklarda Mayıs ayı dışındaki aylarda artan trend olduğunu söylemişlerdir. Yağışlarda ise istatistiksel olarak anlamlı bir trend olmadığını belirtmişlerdir. Öztürk ve Cebeci (2021) Büyük Menderes Havzası'nda bulunan Uşak, Aydın ve Denizli illerinin sıcaklık, akım ve yağış verilerine Mann-Kendall Testiyle trend analizi uygulamışlardır. Aydın ilinde sıcaklıklarda trend olmadığını, Uşak ilinde yaz aylarında artan trend olduğunu, Denizli ilinde ise yedi ayda artan trend olduğunu söylemişlerdir. Yağışlarda Aydın ve Denizli'de trend yok iken Uşak'ta sadece Nisan ayında artış trendi olduğunu belirtmişlerdir. Akım verilerinde ise inceledikleri iki istasyonda da azalma trendi olduğunu ifade etmişlerdir. Keskin vd. (2018) Ağrı, Ardahan, Bingöl, Bitlis, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Hakkari, Iğdır, Kars, Malatya, Muş, Tunceli ve Van illerinde Mann-Kendall Testi ile yağış ve sıcaklığın trend analizini yapmışlardır. Sıcaklıkların trend analizinde 14 ilden 12 tanesinde istatistiksel olarak anlamlı artış trendi olduğunu tespit etmişlerdir. Sadece Bitlis ve Erzurum illerinde istatistiksel olarak anlamlı trendin olmadığını ifade etmişlerdir. Yağış verilerinin trend analizi sonuçlarına göre 14 ilden 12 tanesinde istatistiksel olarak anlamlı bir trend olmadığını, sadece Kars ve Ardahan illerinde istatistiksel açıdan anlamlı artış trendi olduğunu belirtmişlerdir. Coşkun (2020) Van Gölü kapalı havzasında bulunan Ahlat, Erciş, Gevaş, Muradiye, Özalp, Tatvan ve Van-Bölge istasyonlarının yağış verilerine Mann-Kendall, Spearman'ın Rho ve Şen Testlerini kullanarak trend analizi yapmıştır. Ahlat ve Gevaş istasyonlarında yıllık yağışlarda istatistiksel olarak anlamlı azalma trendi olduğunu, Erciş ve Ahlat istasyonlarında mevsimsel olarak istatistiksel açıdan anlamlı azalma trendi olduğunu ifade etmiştir. Bununla birlikte Muradiye istasyonunda kış mevsimi haricindeki dönemlerde ve Tatvan istasyonunda istatistiksel olarak anlamlı bir trend tespit edilmediğini belirtmiştir. Bolat vd. (2017) Bolu, Karabük ve Kastamonu il merkezlerinde bulunan meteoroloji istasyonlarının maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık ile maksimum ve toplam yağış verilerindeki 1980-1999 ile 2000-2015 yılları arasındaki değişimleri incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre aylık olarak minimum ve maksimum sıcaklıklarda önemli artışlar olduğunu belirtmişlerdir. Bunun yanında ortalama sıcaklık verilerinin üç ilde de özellikle yaz aylarında artış trendinde olduğunu ifade etmişlerdir. Yağış verilerinin sonuçlarında Karabük ilinde aylık ve yıllık ortalama yağış verilerinde azalma trendi, Kastamonu ve Bolu illerinde ise Temmuz ve Ağustos aylarında azalma trendi tespit ettiklerini ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada, birbirine komşu olan Çankırı ve Kastamonu illerinde bulunan toplam sekiz meteoroloji istasyonunun (Çankırı, Çerkeş, Ilgaz, Kastamonu, Bozkurt, Devrekani, İnebolu, Tosya) maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık verilerine trend analizi uygulanmıştır. Her bir istasyon için bu verilere aylık, mevsimlik ve yıllık olmak üzere Mann-Kendall ve Sen'in Trend Eğim testleri kullanılarak trend analizi yapılmıştır.

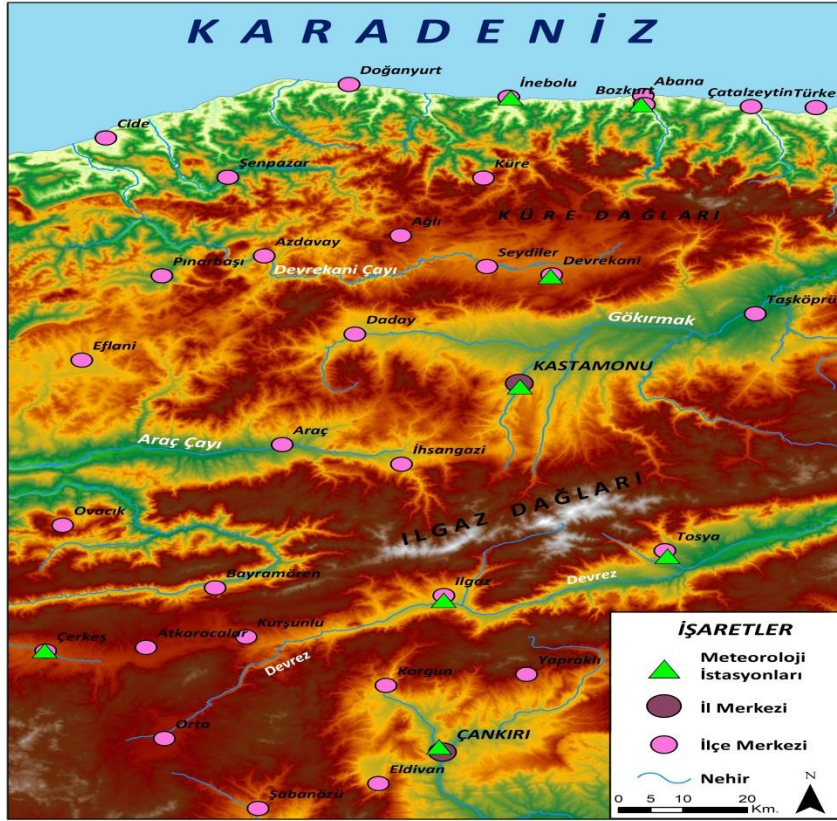
### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

#### 3.1. Çalışma Bölgesi (Study Area)

İç Anadolu Bölgesi'nin Doğu-Batı doğrultusunda yer alan Çankırı 7490 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümüyle ülkemiz topraklarının % 1'ini oluşturmaktadır. Kuzeyinde Kastamonu, güneyinde Ankara ve Kırıkkale illeri ile komşuyken, doğusunda ve batısında sırasıyla Çorum ve Bolu illeri ile komşudur. İlin Güneydoğu kesiminde bulunan topraklarının bir kısmı Kızılırmak Havzası sınırları içinde bulunurken buralarda sulanabilir geniş ve düz araziler yer almaktadır. Diğer kesimlerde mera, meyilli araziler, orman ve küçük vadilerden oluşan araziler bulunmaktadır. Genel jeolojik yapısı dağlık olan ilde çeşitli yüksekliklerde 18-20 dağ bulunmaktadır. Bunlardan Bozkır dağı 1050 metre ile en alçak, 2587 metre ile Ilgaz dağı en yüksek dağdır. Merkezin rakımı ise 750 metredir. Bu engebeli yapı tarımsal dezavantaj oluşturmaktadır. İlin kuzey doğusundan gelen Acıçay, bir kavis çizerek şehri ikiye ayıran ve kuzeybatıdan gelen Tatlıçay ile birleşip Acısu adını almıştır ve Acısu, Kızılırmak nehrine karışmaktadır. Türkiye'nin en uzun akarsularından biri olan Kızılırmak Nehri'nin bir kısmı ilin topraklarından geçmektedir. Bunun dışında Devrez, Terme, Uluçay ve Melan ilin diğer akarsularıdır. Son beş yıllık meteorolojik veriler il genelinde yağış ortalamasının 522,2 mm, sıcaklık ortalamasının 21 °C olduğunu göstermiştir (URL 1). İlin ülkemizde yer alan konumu Şekil 1'de verilmiştir.

Ülkemizin Karadeniz Bölgesi'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde yer alan Kastamonu ili 13108 km<sup>2</sup>'lik yüz ölçümüyle ülke topraklarının %1,7'sini oluşturmaktadır (Şekil 1). Kuzeyinde Karadeniz, doğusunda Sinop, güneydoğusunda Çorum, güneyinde Çankırı, güneybatısında Karabük ve batısında Bartın illeri ile komşudur. Kastamonu genellikle engebeli arazilerden oluşmaktadır, ilin sınırları içerisinde çeşitli yüksekliklerde dağlar bulunmakla birlikte bunların en yükseği 2565 m ile Çatalılgaz tepesidir. İl genelinde engebeli coğrafya hakim olduğundan geniş ovalar bulunmamakla birlikte vadiler etrafındaki ovacıklar dikkat çekmektedir. Bunlardan en önemlisi Gökırmak Vadisi'dir. Bunun yanında Devrez Vadi'sinin Kastamonu sınırlarında Tosya Ovası mevcuttur. Ayrıca, Araç ve Daday çaylarının oluşturduğu çok küçük ovalar da bulunmaktadır. İlin kuzeyinde Karadeniz iklimi etkili olurken, güneye bakıldığında bulunduğu kesim itibariyle İç Anadolu ikliminin etkileri görülmektedir. İl merkezinde yıllık ortalama

sıcaklık 9,8 °C'dir. Bununla birlikte yıllık yağış ortalaması ise 449,7mm'dir. Yıllık yağışın aylara göre dağılımı düzenli bir görünüm göstermektedir (URL 2).



Şekil 1. Çankırı ve Kastamonu İllerinin Ülkemizdeki Konumu (The Position of Çankırı and Kastamonu Provinces in Our Country)

### 3.2. Trend Analizi (Trend Analysis)

#### 3.2.1. Mann-Kendall Testi (Mann-Kendall Test)

Parametrik olmayan bir test olan Mann-Kendall sıra tabanlı özelliğindedir. Bu test sıcaklık, yağış gibi hidro-meteorolojik verilerin trendlerini belirlemede sıkça kullanılan bir yöntemdir. Parametrik olmayan testler, hidro-meteorolojik veriler gibi normal olarak dağılım göstermeyen veriler için ve veri grubunda eksiklikle karşılaşılan veriler için trend analizinde parametrik testlere göre daha uygun sonuçlar verir. Bu nedenle parametrik olmayan testler hidro-meteorolojik verilerin trend analizinde tercih edilmektedir.

Mann-Kendall Testi,  $S$  tabanlı test istatistiği eşitlik 1 ile hesaplanır.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

burada  $x_j$ ,  $x_i$  sıralı veri değerlerini,  $n$  veri sayısını ifade eder. Bu eşitlikteki  $(x_j - x_i)$  değerinin işareti eşitlik 2 ile hesaplanır (Yue vd., 2002).

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} +1 & \text{Eğer } (\theta) > 0 \\ 0 & \text{Eğer } (\theta) = 0 \\ -1 & \text{Eğer } (\theta) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Mann (1945) ve Kendall (1948)  $n \geq 8$  olduğunda  $S$  istatistiğinin eşitlik 3 ve 4'te verilen ortalama ve varyans istatistiklerine uygun olarak normal dağıldığını ifade etmişlerdir.

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

Burada  $E$  ortalamayı ifade etmektedir.

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (4)$$

Burada  $n$  veriler içindeki nispi grupların sayılarını,  $t_i$ ,  $i$  uzunluğundaki bir seride bağlı gözlemleri ifade etmektedir. Standartlaştırılmış test istatistiği  $Z$  eşitlik 5 ile hesaplanmaktadır (Kendall, 1948).

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{Eğer } S > 0 \\ 0 & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Seçilmiş olan  $\alpha$  anlamlılık seviyesinde  $|z| \leq z_{\alpha}$  şartı sağlanıyorsa hipotez  $H_0$  kabul, sağlanmıyorsa reddedilir. Yukarıdaki eşitlikte verilen  $S$  değeri negatif ise azalan, pozitif ise artan trend olduğu kabulü yapılır.

### 3.2.2. Sen'in Trend Eğim Testi (Sen's Trend Slope Test)

Sen (1968) tarafından geliştirilen bu parametrik olmayan yöntem ile doğrusal bir trend mevcut olduğu takdirde birim zamandaki değişiklik (gerçek eğim) tahmin edilebilir. Bu test veri grubunda eksiklik bulunması durumunda kullanılabilir. Bununla birlikte testin aykırı değerlerden ve büyük veri hatalarından etkilenme ihtimali çok düşüktür. Testte hesaplamalar aşağıdaki şekilde yapılır. Öncelikle  $N$  veri çiftinin eğim tahminleri eşitlik 6 ile hesaplanır.

$$Q = \frac{(x_j - x_k)}{j - k} \quad (6)$$

Burada  $x_j$  ve  $x_k$  sırasıyla  $j$  ve  $k$  ( $j > k$  şartıyla) zamanlarındaki verilerdir.  $N$  değerlerinin medyanı olan  $Q$ , Sen'in eğim tahmin edicisidir. Bütün zaman periyotlarında tek bir referans olduğunda eşitlik 7 kullanılır.

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (7)$$

Burada  $n$  zaman periyotlarının sayısını ifade eder.  $N$  eğim tahminlerinin medyanı alışlagelmiş şekilde elde edilir.  $N$  adet  $Q$  değeri,  $Q_1 \leq Q_2 \leq \dots \leq Q_{n-1} \leq Q_n$  şeklinde sıralanır ve  $N$  tek ise eşitlik 8,  $N$  çift ise eşitlik 9 kullanılır.

$$\text{Sen'in Tahmincisi} = Q_{[(N+1)/2]} \quad (8)$$

$$\text{Sen'in Tahmincisi} = \frac{1}{2} [Q_{(N/2)} + Q_{[(N+2)/2]}] \quad (9)$$

Bu şekilde test edilen verilerin birim zamandaki değişimi bulunur. Sen (1968) tarafından verilen parametrik olmayan teknik aracılığıyla iki taraflı test ile %100 ( $1-\alpha$ ) güven aralığında test edilerek gerçek eğim saptanır (Yu vd., 1993).

## 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

Çalışma bölgesi olarak seçilen Çankırı ve Kastamonu illerinde bulunan toplam sekiz meteoroloji istasyonunun maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık verilerinde trend analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiştir. Trend varlığı araştırılan veriler 1980-2017 yılları arasındaki 38 yıllık dönemi kapsamaktadır. Hidro-meteorolojik verilerde trend belirlemek için sıklıkla kullanılan parametrik olmayan Mann-Kendall Testi trend varlığını araştırmak için kullanılmıştır. Kullanılan verilerde trend varlığı 0,05 anlamlılık seviyesinde, diğer bir ifadeyle %95 güven aralığında değerlendirilmiştir.  $Z \geq +1,96$  ise artan trend,  $Z \leq -1,96$  ise azalan trend olarak kabul edilmiştir.  $Z$  değeri  $+1,96$  ile  $-1,96$  arasında ise istatistiksel açıdan anlamlı bir trend olmadığı kabul edilmiştir. Ayrıca Sen'in Trend Eğim Testi verilerdeki birim

zamanki değişim miktarını saptamak için kullanılmıştır. İç bağımlılık bulunan veri serilerine iç bağımlılık ortadan kaldırılmadan trend analizi uygulanması durumunda trend analizi hatalı sonuçlar verecektir. Örneğin trend olmayan yerde var, var olan yerde ise yok sonucu ortaya çıkacaktır (Bayazit ve Önöz, 2007). Bunun için veri serilerinde otokorelasyon kontrolü yapılarak, otokorelasyon tespit edilenlere ön beyazlatma işlemi uygulanarak iç bağımlılık ortadan kaldırılmıştır. Bu şekilde veriler trend analizi uygulanmaya hazır hale getirilmiştir. Her bir istasyon için 12 ay, dört mevsim ve yıllık olmak üzere toplam 17 trend analizi yapılmıştır. İlkbahar mevsimi; Mart, Nisan, Mayıs, yaz mevsimi; Haziran, Temmuz, Ağustos, sonbahar mevsimi; Eylül, Ekim, Kasım ve kış mevsimi; Aralık, Ocak, Şubat ayları olarak kullanılmıştır.

#### 4.1. Maksimum Sıcaklıkların Trend Analizi (Trend Analysis of Maximum Temperatures)

Maksimum sıcaklıkların trend analizi sonuçlarına göre mevsimlik olarak yapılan analizde sonbahar mevsiminde sekiz meteoroloji istasyonunun tamamında istatistiksel olarak anlamlı artış trendi olduğu gözlenmiştir. Buna karşılık aylık analiz sonuçlarına göre Ocak, Nisan, Ekim ve Aralık ayları için sekiz meteoroloji istasyonunun hiçbirinde istatistiksel açıdan anlamlı bir trend belirlenmemiştir. Ayrıca istatistiksel analizi yapılan sekiz meteoroloji istasyonundan Bozkurt ve İnebolu istasyonları dışındaki istasyonlarda yıllık olarak anlamlı artış trendi saptanmıştır. Maksimum sıcaklıkların trend analizi sonuçlarının verildiği Tablo 1 incelendiğinde sekiz istasyon için toplam 136 trend analizi yapıldığı görülmektedir. Bu analizlerden 61 tanesi istatistiksel olarak anlamlıdır ve artış trendi şeklindedir. Geriye kalan 75 analiz istatistiksel açıdan anlamsız olmakla birlikte büyük çoğunluğu artış trendi şeklindedir. Bunlardan sadece dört tanesinin azalış trendi olduğu görülmektedir. Anlamsız azalış trendlerinin Çankırı, Ilgaz, Kastamonu ve Devrekani istasyonlarında ve Ocak ayında olduğu tespit edilmiştir. Sen'in Trend Eğim Testi sonuçları incelendiğinde, istatistiksel olarak anlamlı trendlerin görüldüğü yerlerde en az artış miktarının 0,026 °C/yıl ile İnebolu istasyonunda, en çok artış miktarının 0,117 °C/yıl ile Çerkeş istasyonunda olduğu saptanmıştır.

**Tablo 1.** Maksimum Sıcaklık Verilerinin Trend Analizi Sonuçları (Trend Analysis Results of Maximum Temperature Data)

|          | Çankırı |                         | Çerkeş |                         | Ilgaz |                         | Kastamonu |                         | Bozkurt |                         | Devrekani |                         | İnebolu |                         | Tosya |                         |
|----------|---------|-------------------------|--------|-------------------------|-------|-------------------------|-----------|-------------------------|---------|-------------------------|-----------|-------------------------|---------|-------------------------|-------|-------------------------|
|          | Trend   | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend  | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend     | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend   | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend     | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend   | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend | Sen'in Trend Eğim Testi |
| O        | ---     | -0,028                  | ---    | 0,006                   | ---   | -0,020                  | ---       | -0,012                  | ---     | 0,029                   | ---       | -0,031                  | ---     | 0,016                   | ---   | 0,010                   |
| Ş        | ---     | 0,093                   | ↑      | 0,117                   | ↑     | 0,115                   | ↑         | 0,115                   | ↑       | 0,090                   | ↑         | 0,102                   | ↑       | 0,068                   | ↑     | 0,112                   |
| M        | ---     | 0,058                   | ---    | 0,075                   | ↑     | 0,088                   | ↑         | 0,076                   | ↑       | 0,082                   | ---       | 0,043                   | ---     | 0,061                   | ↑     | 0,080                   |
| N        | ---     | 0,045                   | ---    | 0,049                   | ---   | 0,079                   | ---       | 0,066                   | ---     | 0,045                   | ---       | 0,014                   | ---     | 0,046                   | ---   | 0,063                   |
| M        | ---     | 0,045                   | ↑      | 0,071                   | ---   | 0,053                   | ↑         | 0,056                   | ---     | 0,022                   | ---       | 0,032                   | ---     | 0,024                   | ↑     | 0,062                   |
| H        | ↑       | 0,065                   | ---    | 0,033                   | ---   | 0,044                   | ---       | 0,028                   | ---     | 0,015                   | ---       | 0,022                   | ↑       | 0,032                   | ↑     | 0,072                   |
| T        | ↑       | 0,079                   | ↑      | 0,073                   | ↑     | 0,074                   | ---       | 0,067                   | ---     | 0,025                   | ↑         | 0,089                   | ---     | 0,025                   | ↑     | 0,068                   |
| A        | ↑       | 0,090                   | ---    | 0,073                   | ↑     | 0,115                   | ↑         | 0,105                   | ---     | 0,036                   | ↑         | 0,097                   | ↑       | 0,044                   | ---   | 0,059                   |
| E        | ---     | 0,019                   | ---    | 0,045                   | ---   | 0,052                   | ---       | 0,047                   | ↑       | 0,072                   | ---       | 0,037                   | ---     | 0,043                   | ↑     | 0,057                   |
| E        | ---     | 0,001                   | ---    | 0,036                   | ---   | 0,030                   | ---       | 0,023                   | ---     | 0,027                   | ---       | 0,008                   | ---     | 0,032                   | ---   | 0,038                   |
| K        | ↑       | 0,083                   | ↑      | 0,116                   | ↑     | 0,090                   | ↑         | 0,098                   | ↑       | 0,058                   | ---       | 0,084                   | ---     | 0,047                   | ↑     | 0,092                   |
| A        | ---     | 0,011                   | ---    | 0,026                   | ---   | 0,031                   | ---       | 0,007                   | ---     | 0,035                   | ---       | 0,031                   | ---     | 0,031                   | ---   | 0,014                   |
| İlkbahar | ↑       | 0,056                   | ↑      | 0,070                   | ↑     | 0,076                   | ↑         | 0,068                   | ↑       | 0,066                   | ---       | 0,038                   | ↑       | 0,060                   | ↑     | 0,064                   |
| Yaz      | ---     | 0,043                   | ↑      | 0,046                   | ↑     | 0,046                   | ---       | 0,036                   | ---     | 0,029                   | ---       | 0,036                   | ↑       | 0,026                   | ---   | 0,042                   |
| Sonbahar | ↑       | 0,042                   | ↑      | 0,072                   | ↑     | 0,065                   | ↑         | 0,065                   | ↑       | 0,054                   | ↑         | 0,042                   | ↑       | 0,054                   | ↑     | 0,068                   |
| Kış      | ---     | 0,032                   | ↑      | 0,060                   | ---   | 0,047                   | ---       | 0,035                   | ↑       | 0,047                   | ---       | 0,042                   | ---     | 0,040                   | ---   | 0,042                   |
| Yıllık   | ↑       | 0,049                   | ↑      | 0,042                   | ↑     | 0,036                   | ↑         | 0,029                   | ---     | 0,021                   | ↑         | 0,034                   | ---     | 0,024                   | ↑     | 0,030                   |

---: Trend yok, ↓: Azalan trend, ↑: Artan trend

#### 4.2. Minimum Sıcaklıkların Trend Analizi (Trend Analysis of Minimum Temperatures)

Minimum sıcaklık verilerine uygulanan trend analizi işleminin sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde Ilgaz meteoroloji istasyonunda 12 ay, dört mevsim ve yıllık olmak üzere hiçbir noktada istatistiksel açıdan anlamlı bir trend görülmemiştir. Ayrıca Ocak, Şubat, Nisan, Mayıs, Kasım, Aralık aylarında ve kış mevsiminde analizi yapılan sekiz istasyonun hiçbirinde anlamlı bir trend belirlenmemiştir. Sonbahar mevsiminde Ilgaz ve Tosya istasyonları dışındaki istasyonlarda, yaz mevsiminde ise Çerkeş ve Ilgaz istasyonları haricindeki

istasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı artış trendi tespit edilmiştir. Ayrıca Çerkeş, Ilgaz ve Tosya istasyonları dışındaki istasyonlarda Haziran ve Eylül aylarında, Çankırı, Çerkeş ve Ilgaz istasyonları haricindeki istasyonlarda ise Ağustos ayında anlamlı artış trendi olduğu saptanmıştır. Analizi gerçekleştirilen sekiz istasyonun hiçbirinde istatistiksel açıdan anlamlı azalış trendi bulunmadığı görülmüştür. Sekiz istasyon için yapılan trend analizlerinden sadece 41 tanesinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve tamamının artış trendi şeklinde olduğu Tablo 2'de görülmektedir. Sen'in Trend Eğim Testi sonuçlarına göre 0,070 °C/yıl ile en büyük artış miktarı Bozkurt istasyonunun Ağustos ayı trend analizinde, en küçük artış miktarı ise 0,020 Devrekani istasyonunun yıllık trend analizinde olduğu saptanmıştır. Sen'in Trend Eğim Testi sonuçları sadece anlamlı trend görülen noktalar için değerlendirilmiştir.

**Tablo 2.** Minimum sıcaklık verilerinin trend analizi sonuçları (Trend Analysis Results of Minimum Temperature Data)

|          | Çankırı |                         | Çerkeş |                         | Ilgaz |                         | Kastamonu |                         | Bozkurt |                         | Devrekani |                         | İnebolu |                         | Tosya |                         |
|----------|---------|-------------------------|--------|-------------------------|-------|-------------------------|-----------|-------------------------|---------|-------------------------|-----------|-------------------------|---------|-------------------------|-------|-------------------------|
|          | Trend   | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend  | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend     | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend   | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend     | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend   | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend | Sen'in Trend Eğim Testi |
| O        | ---     | 0,011                   | ---    | 0,017                   | ---   | -0,030                  | ---       | 0,010                   | ---     | 0,015                   | ---       | -0,035                  | ---     | 0,015                   | ---   | 0,005                   |
| Ş        | ---     | 0,039                   | ---    | 0,089                   | ---   | 0,032                   | ---       | 0,052                   | ---     | 0,057                   | ---       | 0,082                   | ---     | 0,053                   | ---   | 0,057                   |
| M        | ↑       | 0,049                   | ↑      | 0,068                   | ---   | 0,027                   | ---       | 0,048                   | ↑       | 0,046                   | ---       | 0,061                   | ↑       | 0,042                   | ---   | 0,051                   |
| N        | ---     | -0,009                  | ---    | 0,005                   | ---   | -0,040                  | ---       | -0,02                   | ---     | 0,025                   | ---       | -0,013                  | ---     | 0,024                   | ---   | 0,002                   |
| M        | ---     | 0,030                   | ---    | 0,021                   | ---   | -0,011                  | ---       | 0,019                   | ---     | 0,033                   | ---       | 0,020                   | ---     | 0,015                   | ---   | 0,016                   |
| H        | ↑       | 0,030                   | ---    | 0,036                   | ---   | 0,009                   | ↑         | 0,031                   | ↑       | 0,027                   | ↑         | 0,035                   | ↑       | 0,039                   | ---   | 0,024                   |
| T        | ---     | 0,031                   | ---    | 0,019                   | ---   | 0,010                   | ---       | 0,027                   | ---     | 0,021                   | ↑         | 0,040                   | ---     | 0,015                   | ---   | 0,039                   |
| A        | ---     | 0,046                   | ---    | 0,036                   | ---   | 0,034                   | ↑         | 0,061                   | ↑       | 0,070                   | ↑         | 0,067                   | ↑       | 0,039                   | ↑     | 0,056                   |
| E        | ↑       | 0,047                   | ---    | 0,046                   | ---   | 0,002                   | ↑         | 0,040                   | ↑       | 0,044                   | ↑         | 0,057                   | ↑       | 0,052                   | ---   | 0,026                   |
| E        | ↑       | 0,054                   | ↑      | 0,050                   | ---   | 0,006                   | ---       | 0,041                   | ---     | 0,010                   | ---       | 0,041                   | ---     | 0,022                   | ---   | 0,010                   |
| K        | ---     | -0,007                  | ---    | 0,022                   | ---   | -0,022                  | ---       | 0,009                   | ---     | 0,037                   | ---       | 0,035                   | ---     | 0,034                   | ---   | 0,039                   |
| A        | ---     | -0,019                  | ---    | -0,005                  | ---   | -0,037                  | ---       | -0,016                  | ---     | -0,004                  | ---       | -0,035                  | ---     | -0,011                  | ---   | -0,023                  |
| İlkbahar | ---     | 0,018                   | ---    | 0,031                   | ---   | -0,015                  | ---       | 0,016                   | ↑       | 0,032                   | ---       | 0,018                   | ↑       | 0,032                   | ---   | 0,018                   |
| Yaz      | ↑       | 0,034                   | ---    | 0,023                   | ---   | 0,017                   | ↑         | 0,037                   | ↑       | 0,021                   | ↑         | 0,045                   | ↑       | 0,025                   | ↑     | 0,027                   |
| Sonbahar | ↑       | 0,039                   | ↑      | 0,063                   | ---   | -0,019                  | ↑         | 0,030                   | ↑       | 0,034                   | ↑         | 0,036                   | ↑       | 0,038                   | ---   | 0,022                   |
| Kış      | ---     | 0,017                   | ---    | 0,042                   | ---   | -0,005                  | ---       | 0,012                   | ---     | 0,019                   | ---       | 0,012                   | ---     | 0,020                   | ---   | 0,015                   |
| Yıllık   | ↑       | 0,022                   | ---    | 0,020                   | ---   | -0,005                  | ↑         | 0,021                   | ---     | 0,018                   | ↑         | 0,020                   | ↑       | 0,021                   | ↑     | 0,025                   |

---: Trend yok, ↓: Azalan trend, ↑: Artan trend

#### 4.3. Ortalama Sıcaklıkların Trend Analizi (Trend Analysis of Mean Temperatures)

Çankırı ve Kastamonu illerinde bulunan sekiz meteoroloji istasyonunun ortalama sıcaklık verilerinin trend analizi sonuçlarının verildiği Tablo 3 incelendiğinde, Ağustos ayında ve yıllıkta tüm istasyonlarda anlamlı artış trendi olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, aylık olarak incelendiğinde Ocak, Nisan, Mayıs, Ekim, Aralık aylarında ve mevsimlik olarak incelendiğinde kış mevsiminde istasyonların hiçbirinde istatistiksel olarak anlamlı trende rastlanmamıştır. Sonbahar mevsiminde Ilgaz meteoroloji istasyonu dışındaki istasyonlarda anlamlı artış trendi olduğu görülmüştür. Buna karşılık Kasım ayında sadece Tosya istasyonunda anlamlı artış trendi görülürken diğer istasyonlarda anlamlı bir trende rastlanmamıştır. Ortalama sıcaklık verilerinde her bir istasyon için 12 ay, dört mevsim ve yıllık olmak üzere 17 trend analizi yapılarak toplamda 136 trend analizi yapıldığı göz önüne alındığında bu trend analizlerinden 52 tanesi istatistiksel açıdan anlamlı ve hepsinin artış trendi şeklinde olduğu görülmüştür. Geriye kalan 84 trend analizi anlamsız olmakla birlikte büyük bir kısmı yine artış trendi şeklindedir. Bunlardan sadece dokuz tanesi anlamsız azalış trendine sahiptir. İstatistiksel olarak anlamlı trend belirlenen yerlerden Devrekani istasyonunun Şubat ayı 0,094 °C/yıl ile en büyük artış miktarına, Ilgaz istasyonunun yıllığı 0,022 °C/yıl ile en küçük artış miktarına sahip olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 3.** Ortalama sıcaklık verilerinin trend analizi sonuçları (Trend Analysis Results of Mean Temperature Data)

|          | Çankırı |                         | Çerkeş |                         | Ilgaz |                         | Kastamonu |                         | Bozkurt |                         | Devrakani |                         | İnebolu |                         | Tosya |                         |
|----------|---------|-------------------------|--------|-------------------------|-------|-------------------------|-----------|-------------------------|---------|-------------------------|-----------|-------------------------|---------|-------------------------|-------|-------------------------|
|          | Trend   | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend  | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend     | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend   | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend     | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend   | Sen'in Trend Eğim Testi | Trend | Sen'in Trend Eğim Testi |
| O        | ---     | 0,010                   | ---    | 0,011                   | ---   | -0,029                  | ---       | 0,000                   | ---     | 0,019                   | ---       | -0,032                  | ---     | 0,013                   | ---   | 0,002                   |
| Ş        | ---     | 0,063                   | ↑      | 0,092                   | ---   | 0,064                   | ↑         | 0,072                   | ↑       | 0,067                   | ↑         | 0,094                   | ---     | 0,054                   | ---   | 0,076                   |
| M        | ---     | 0,050                   | ---    | 0,061                   | ---   | 0,043                   | ---       | 0,051                   | ↑       | 0,062                   | ---       | 0,054                   | ---     | 0,050                   | ↑     | 0,053                   |
| N        | ---     | 0,015                   | ---    | 0,020                   | ---   | 0,005                   | ---       | 0,018                   | ---     | 0,024                   | ---       | 0,000                   | ---     | 0,036                   | ---   | 0,018                   |
| M        | ---     | 0,028                   | ---    | 0,036                   | ---   | 0,008                   | ---       | 0,033                   | ---     | 0,039                   | ---       | 0,020                   | ---     | 0,022                   | ---   | 0,032                   |
| H        | ↑       | 0,051                   | ---    | 0,027                   | ↑     | 0,044                   | ↑         | 0,041                   | ---     | 0,013                   | ↑         | 0,044                   | ↑       | 0,030                   | ↑     | 0,032                   |
| T        | ↑       | 0,055                   | ---    | 0,038                   | ↑     | 0,053                   | ---       | 0,040                   | ---     | 0,020                   | ↑         | 0,065                   | ---     | 0,020                   | ↑     | 0,054                   |
| A        | ↑       | 0,081                   | ↑      | 0,075                   | ↑     | 0,060                   | ↑         | 0,078                   | ↑       | 0,044                   | ↑         | 0,076                   | ↑       | 0,036                   | ↑     | 0,066                   |
| E        | ---     | 0,032                   | ↑      | 0,055                   | ---   | 0,024                   | ↑         | 0,038                   | ↑       | 0,048                   | ---       | 0,038                   | ↑       | 0,058                   | ---   | 0,028                   |
| E        | ---     | 0,023                   | ---    | 0,022                   | ---   | 0,008                   | ---       | 0,021                   | ---     | 0,010                   | ---       | 0,020                   | ---     | 0,017                   | ---   | 0,014                   |
| K        | ---     | 0,025                   | ---    | 0,043                   | ---   | 0,013                   | ---       | 0,039                   | ---     | 0,046                   | ---       | 0,050                   | ---     | 0,042                   | ↑     | 0,056                   |
| A        | ---     | -0,005                  | ---    | -0,004                  | ---   | -0,032                  | ---       | -0,011                  | ---     | 0,015                   | ---       | -0,008                  | ---     | 0,005                   | ---   | -0,009                  |
| İlkbahar | ↑       | 0,032                   | ↑      | 0,038                   | ---   | 0,015                   | ↑         | 0,035                   | ↑       | 0,045                   | ---       | 0,021                   | ↑       | 0,044                   | ↑     | 0,038                   |
| Yaz      | ↑       | 0,041                   | ---    | 0,033                   | ---   | 0,036                   | ---       | 0,030                   | ---     | 0,022                   | ↑         | 0,029                   | ---     | 0,022                   | ---   | 0,033                   |
| Sonbahar | ↑       | 0,030                   | ↑      | 0,043                   | ---   | 0,023                   | ↑         | 0,034                   | ↑       | 0,035                   | ↑         | 0,040                   | ↑       | 0,040                   | ↑     | 0,036                   |
| Kış      | ---     | 0,018                   | ---    | 0,030                   | ---   | 0,004                   | ---       | 0,018                   | ---     | 0,027                   | ---       | 0,024                   | ---     | 0,020                   | ---   | 0,023                   |
| Yıllık   | ↑       | 0,033                   | ↑      | 0,031                   | ↑     | 0,022                   | ↑         | 0,036                   | ↑       | 0,024                   | ↑         | 0,039                   | ↑       | 0,024                   | ↑     | 0,038                   |

---: Trend yok, ↓: Azalan trend, ↑: Artan trend

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

Çankırı ve Kastamonu illerinde bulunan il merkezleri meteoroloji istasyonları da dahil olmak üzere toplam sekiz meteoroloji istasyonunun 1980-2017 yılları arasındaki 38 yıllık döneme ait maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilerek, her bir istasyon için ayrı ayrı 12 ay, dört mevsim ve yıllık olmak üzere Mann-Kendall Testi kullanılarak trend analizi yapılmıştır. Bunun yanında Sen'in Trend Eğim Testi birim zamandaki değişim miktarını araştırmak amacıyla kullanılmıştır.

Çalışmada yapılan maksimum sıcaklıkların trend analizi sonuçlarına göre incelenen istasyonların tamamında sonbahar mevsiminde anlamlı artış trendi görülmesi maksimum sıcaklıklarda gelecek dönemlerde özellikle sonbahar mevsiminde pik değerler görüleceğini düşündürmektedir. Ayrıca yapılan analizlerde incelenen istasyonların büyük çoğunluğunda belirtilen noktalarda anlamlı artış trendi saptanması bugüne kadar ölçülen maksimum sıcaklık değerlerinin gelecek dönemlerde daha da yüksek değerler ölçülebileceğini göstermektedir. Buna örnek olarak Şubat ayı için Çankırı istasyonu haricindeki, ilkbahar mevsimi için Devrekani istasyonu haricindeki ve yıllık olarak ise Bozkurt ve İnebolu istasyonları haricindeki diğer istasyonlarda verilebilir.

Minimum sıcaklıkların trend analizinde birçok noktada anlamlı artış trendi görülmesiyle birlikte özellikle yaz mevsiminde Çerkeş ve Ilgaz istasyonları haricindeki istasyonlarda, sonbahar mevsiminde ise Ilgaz ve Tosya istasyonları haricindeki istasyonlarda anlamlı artış trendi görülmesi incelenen istasyonların genelinde yaz ve sonbahar mevsimlerinde gelecek dönemler için sıcaklıklarda artış görüleceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte en düşük sıcaklık değerlerinde bile birçok anlamlı artış trendinin belirlenmiş olması incelenen istasyonlarda gelecek dönemlerde sıcaklıklarda artışların meydana gelebileceğini göstermektedir.

Ortalama sıcaklıkların trend analizi sonuçları değerlendirildiğinde ise, sonbahar mevsiminde Ilgaz istasyonu dışındaki, ilkbahar mevsiminde Ilgaz ve Devrekani istasyonları dışındaki ve Haziran ayında Çerkeş ve Bozkurt istasyonları dışındaki istasyonlarda ve Ağustos ayı ile yıllık olarak incelenen istasyonların tümünde anlamlı artış trendinin görülmesi, belirtilen noktalarda istasyonların genelinde gelecek dönemlerde sıcaklıklarda artışların oluşabileceğini göstermektedir.

Çankırı ve Kastamonu illerinde bulunan sekiz meteoroloji istasyonunun maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık verilerinin trend analizi sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, sekiz istasyon için toplam 408 analiz yapılmıştır. Bu analizlerden 154 tanesi istatistiksel olarak anlamlı ve tamamının artış trendinde olduğu saptanmıştır. Geriye kalan 254 analizin istatistiksel olarak anlamsız olduğu, bunların da 221 tanesinin yine artış



trendine sahip olduğu, sadece 33 tanesinin azalış trendinde olduğu görülmüştür. Buna dayanarak incelenen istasyonlarda sıcaklıklarda artış trendi olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca yapılan analizlerin %95 güven aralığında değerlendirildiği düşünülür ise % 90 güven aralığında değerlendirildiğinde istatistiksel olarak anlamlı trendlerin sayısının artacağı açıktır.

Nüfusta meydana gelen artışlar ve giderek artan sanayileşme doğrultusunda karbondioksit salınımı ve sera gazı etkisi artmaktadır. Bu doğrultuda küresel ısınma ve iklim değişikliğinin etkileri gün geçtikçe daha fazla görülmektedir. İncelenen istasyonlarda sıcaklıklarda artış trendi olduğu görülmektedir ve küresel ısınma ve iklim değişikliğinin etkileriyle bu artışların gelecek dönemlerde daha da fazla olacağı düşünülmektedir. Bu iller için yapılan çalışmanın, ileride yapılacak iklim değişikliği çalışmalarına, sıcaklıkların geçmiş dönemlerde göstermiş olduğu davranışla ilgili olarak fikir verebileceği düşünülmektedir.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

### Kaynaklar (References)

- Ay, M., Özyıldırım, Y., 2017. Yozgat'ın Aylık Toplam Yağış ve Aylık Ortalama Hava Sıcaklıklarının Trend Analizi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(2), 65-76.
- Bayazit, M., Önöz, B., 2007. To Prewhiten or not to Prewhiten in Trend Analysis?. Hydrological Sciences Journal, 52(4), 611-624.
- Biberoğlu, E., 2011. Küresel İklim Değişikliğinin Türkiye Yağış ve Sıcaklıkları Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bolat, İ., Kara, Ö., Tok, E., 2017. Kastamonu, Karabük ve Bolu'da 1980-1999 ile 2000-2015 Yılları Arasındaki Sıcaklık ve Yağışın Değişimi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19(1), 276-289.
- Cebe, E. N., 2007. Türkiye Akarsularında Mevsimsel Trend Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Coşkun, S., 2020. Van Gölü Kapalı Havzasında Yağışların Trend Analizi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 521-532.
- Çiflik, D., 2012. Ege Bölgesi DSİ İstasyonlarında Ölçülen Yıllık Toplam Yağışların Trend Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Doğan Demir, A., Demir, Y., Şahin, Ü., Meral, R., 2017. Bingöl İlinde Sıcaklık ve Yağışların Trend Analizi ve Tarıma Etkisi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 4(3), 284-291.
- Ercan, B., Yüce, M. İ., 2018. Kilis İli Aylık Sıcaklık ve Yağış Verileri Trend Analizi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 9(2), 947-953.
- Kendall, M. G., 1948. Rank Correlation Methods.
- Keskin, M., Çakto, İ., Çetin, V., Bektaş, O., 2018. Doğu Anadolu Bölgesi Sıcaklık ve Yağış Trend Analizi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(2), 294-300.
- Kızılelma, Y., Çelik, M., Karabulut, M., 2015. İç Anadolu Bölgesinde Sıcaklık ve Yağışların Trend Analizi. Türk Coğrafya Dergisi, (64), 1-10.
- Mann, H. B., 1945. Nonparametric Tests Against Trend. Econometrica: Journal of the econometric society, 245-259.
- Oğuz, E., Oğuz, K., 2020. Şanlıurfa İli Yağış ve Sıcaklık Trend Analizi. İklim Değişikliği ve Çevre, 5(1), 13-17.
- Özfidaner, M., Şapolyo, D., Topaloğlu, F., 2018. Antalya Ortalama Sıcaklık Verisinde Gidişlerin Yeni Bir Gidiş Analiz Yöntemi ile Belirlenmesi. Ziraat Fakültesi Dergisi, 223-228.
- Öztürk, Ö., Cebeci, İ., 2021. Büyük Menderes Havzasında Bazı Hidroklimatolojik Değişkenlerin Eğilim Analizi. Toprak Su Dergisi, 10(1), 43-50.
- Özyıldırım, S., 2019. İç Anadolu Bölgesinde Sıcaklık ve Yağış Değişkenlerinin Eğilim Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- Sen, P. K., 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. Journal of the American Statistical Association, 63(324), 1379-1389.
- Tabari, H., Talaee, P. H., 2011. Analysis of Trends in Temperature Data in arid and Semi-Arid Regions of Iran. Global and Planetary Change, 79(1-2), 1-10.
- Tokgöz, S., Partal, T., 2020. Karadeniz Bölgesinde Yıllık Yağış ve Sıcaklık Verilerinin Yenilikçi Şen ve Mann-Kendall Yöntemleri ile Trend Analizi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(2), 1107-1118.
- Türkeş, M., 2008. Küresel İklim Değişikliği Nedir? Temel Kavramlar, Nedenleri, Gözlenen ve Öngörülen Değişiklikler. İklim Değişikliği ve Çevre, 1 (1), 26-37.
- URL-1, <https://cankiri.tarimorman.gov.tr/Link/38/Cankiri-Hakkinda> (Erişim Tarihi: 20.04.2021).
- URL-2, <https://kastamonu.ktb.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 21.04.2021).
- Ülke, A., Özkoca, T., 2018. Sinop, Ordu ve Samsun İllerinin Sıcaklık Verilerinde Trend Analizi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(2), 455-463.
- Yu, Y. S., Zou, S., Whittemore, D., 1993. Non-parametric Trend Analysis of Water Quality Data of Rivers in Kansas. Journal of Hydrology, 150(1), 61-80.
- Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G., 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests for Detecting Monotonic Trends in Hydrological Series. Journal of Hydrology, 259(1-4), 254-271.



## AÇIK BİR KAVİTE İÇİNDE DÖNEN SİLİNDİRLE AKTİF AKIŞ KONTROLÜ: ISI TRANSFERİ VE AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN SAYISAL İNCELENMESİ

İrem DALGIÇ, Nehir TOKGOZ\*, Coşkun ÖZALP

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye

| Anahtar Kelimeler   | Öz  |
|---|---|
| <i>Açık Kavite Akışı, Dönen Silindir, Isı Transferi, HAD.</i> | Kavite akışı içerisinde dönen adyabatik bir silindir varlığının akış yapısı ve ısı transfer üzerindeki etkisinin incelendiği sayısal bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada uzunluk ve derinlik oranı (D/L) 2 olan açık bir kavite içerisine 0.025m çapa sahip adyabatik bir silindir yerleştirilmiştir. Silindir kavite içerisinde 11 farklı konuma yerleştirilmiş ve bu konumlarda 6 farklı dönme hızı tanımlanmıştır. Silindir çapı ile tanımlanan Reynolds sayısı 10000 olarak belirlenmiştir. Isı transfer analizi için kavite duvarlarına 10000 W/m <sup>2</sup> değerinde sabit ısı akışı uygulanmış, sonlu hacimler yöntemi kullanılarak çözümlenmeler yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları kavite içerisinde silindirin kullanılmadığı boş kavite akışı olarak ifade edilmiş olan durum dikkate alınarak incelenmiştir. Boş kavite akışına nispeten silindire farklı konumlarda tanımlanan dönme hızları akış yapısını ve ısı transferini iyileştirici yönde etki sağladığı gözlemlenmiştir. |

### ACTIVE FLOW CONTROL INSIDE AN OPEN CAVITY WITH ROTATING CYLINDER: NUMERICAL INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER AND FLOW CHARACTERISTICS

| Keywords  | Abstract  |
|---|---|
| <i>Open Cavity Flow, Rotating Cylinder, Heat Transfer, CFD.</i> | A numerical study is carried out to examine the effect of the presence of an adiabatic cylinder rotating in the cavity flow on the flow structure and heat transfer. In the study, an adiabatic cylinder with a diameter of 0.025 m is placed in an open cavity with a length to depth ratio (D/L) of 2. The cylinder is placed in 11 different positions in the cavity and 6 different rotational speeds are defined in these positions. The Reynolds number defined by the cylinder diameter is determined as 10000. For heat transfer analysis, a constant heat flux of 10000 W/m <sup>2</sup> is applied to the cavity walls and analyzes are made using the finite volume method. The results of the study are examined by considering the situation expressed as empty cavity flow where the cylinder is not used in the cavity. It has been observed that the rotational speeds defined in different positions to the cylinder relative to the empty cavity flow provide an improvement in the flow structure and heat transfer. |

#### Alıntı / Cite

Dalgıç, İ., Tokgoz, N., Ozalp, C., (2021). Açık Bir Kavite İçinde Dönen Silindirle Aktif Akış Kontrolü: Isı Transferi ve Akış Özelliklerinin Sayısal İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1348-1371.

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

İ. Dalgıç, 0000-0002-3340-5915  
N. Tokgoz, 0000-0001-9264-9971  
C. Ozalp, 0000-0003-2249-7268

#### Makale Süreci / Article Process

|   |            |
|---|------------|
| <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 09.06.2021 |
| <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 12.09.2021 |
| <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 15.09.2021 |
| <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

### 1. Giriş (Introduction)

Kaviteler basit bir geometriye sahip olmalarına rağmen içerisindeki akışın kararsız yapısı, kayma tabakası dengesizlikleri, basınç dalgalanmaları, güçlü akustik dalgaların ve resirkülasyon bölgelerinin oluşması açısından 1950'li yıllardan beri ilgi ile incelenen mühendislik problemlerinden biri olmuştur. Uzun yıllar boyunca yürütülen birçok deneysel, teorik ve sayısal araştırmada kavite akışının serbest akış hızı, akışın sınır tabaka özellikleri ve kavite geometrisindeki karakteristik boyutların oranları (L/D ve L/W) gibi çeşitli parametrelere çok güçlü bir şekilde bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak kaviteler uzunluk ve derinlik oranlarına göre (L/D) "Açık" ve "Kapalı" kaviteler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Kayma tabakasının yukarı akış köşesinden ayrılıp aşağı akış

\* İlgili yazar / Corresponding author: nehirtokgoz@osmaniye.edu.tr, +90-328-827-10-00

köşesinin hemen önünde yeniden bağlanması ile oluşan akışın meydana getirdiği kavite sınıflandırılması açık kavite olarak tanımlanmaktadır Charwat vd. (1961). Açık kavitelerde oluşan yoğun periyodik salınımlar ve kayma tabakası kararsızlıkları, akışın aerodinamik yapısında şiddetli dalgalanmalara ve ses üretimine sebep olmaktadır. Bahsedilen bu salınımların azalmasında kavitenin uzunluk ve derinlik oranının ( $L/D$ ) etkili olduğu belirlenmiştir. Açık kavitelerde  $L/D < 1$  olduğunda kavite içerisinde oluşan salınımlar sönümlenmekte ve rezonans salınımları kavite için doğal frekanslarına karşılık gelen belirli akış koşulları altında oluşmaktadır.  $L/D > 1$  olduğunda ise derinliğin azalmasından dolayı kayma tabakası salınımları daha yüksek karışık akustik dalgalar haline gelmektedir. Bu yüzden  $L/D$  oranları 1'den küçük olan açık kavitelere " derin kavite ",  $L/D$  oranları 1'den büyük olan açık kavite ise " sığ kavite " olarak sınıflandırılmıştır Sarohia (1977). Kavite geometrisinde uzunluk ve genişlik oranına ( $L/W$ ) bağlı olarak oluşan bir diğer parametre iki boyutlu ve üç boyutlu kavite akışlarıdır. İki boyutlu kavite akışında, akış üniform ve tüm kavite genişliği boyunca tutarlı bir kayma tabakası oluşturmaktadır. Ancak üç boyutlu kavite akışlarında kavite genişliği azaldıkça kavite duvarlarının ve köşelerinin giderek baskın hale gelmesi sonucunda kayma tabakası tutarlılığını koruyamamaktadır. Bu yüzden  $L/W < 1$  olduğunda akışın kavite genişliğinin büyük bir kısmında iki boyutlu görüldüğü,  $L/W > 1$  olduğunda ise, akışın gittikçe daha fazla üç boyutlu hale geldiği belirlenmiştir Ahuja ve Mendoza (1995). Kavite üzerindeki akış ilgi çekicidir, çünkü kavite varlığı sürtünmeyi ve ısı transferini değiştirir ve yoğun periyodik salınımlara neden olabilir, bu da aerodinamik yapının şiddetli dalgalanmasına ve ses üretimine yol açabilmektedir. Geçtiğimiz yıllarda pek çok araştırmacı bu periyodik salınımların azaltılmasında ve ses üretimi üzerindeki etkiler hakkında deneysel ve sayısal çalışmalar gerçekleştirmiştir. Kavite üzerinde türbülanslı akış esnasında meydana gelen akış tonları ve salınımlara yol açan şartlar üzerinde durulmuş ve kavite geometrisinin ortalama akış alanı ve salınım üzerindeki etkisini anlamak için birçok sayısal çalışma yapılmıştır Rockwell ve Naudascher (1978). Franke ve Carr (1975) açık, sığ ve dikdörtgen kesitli bir kavite üzerindeki basınç salınımlarını kavite geometrisini değiştirerek azaltılması yönünde çalışmışlar ve farklı kavite konfigürasyonları kullanarak çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Kayma tabakası dikdörtgen kavitede ön kenara yakın daha ince ve dalgalı iken, çift eğik düzlemlili kavite konfigürasyonunda tam tersi olarak gözlemlenmişlerdir. Eğik düzlem kavite konfigürasyonunda akış ayrılması giriş eğik düzlemine yakın olarak gerçekleştirildiğinde basınç salınımlarının azaltılmasında etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Öte yandan yukarıda bahsedilen durumların tersine kavite akışlarındaki kayma tabakası kararsızlıklarının ısı transfer hızı için faydalı sonuçlar ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir. Özellikle açık kavite üzerindeki ısı transfer uygulamaları birçok mühendislik uygulamasında büyük ilgi görmüştür. Elektronik aksamların soğutulmasında, kanatlı ısı eşanjörlerinde, güneş termal alıcı sistemlerde ve yanma odalarına kadar birçok endüstriyel sektördeki uygulama alanlarında karşımıza çıkmaktadır. Kavite akışlarında, akış ayrılması, girdap oluşumu, kavitenin uzunluk ve derinlik oranı ve akışın sınır tabaka özellikleri ısı transfer mekanizması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Birçok çalışma için elde edilen ortak sonuç kavite üzerindeki ısı transfer performanslarının, kavitenin uzunluk ve derinlik oranlarındaki değişiminden güçlü bir şekilde etkilendiği yönünde olmuştur Aung ve Bhatti (1984). Ses altı rüzgâr tüneli test düzeneğinin tabanına yerleştirmiş oldukları kavitedeki zorlanmış taşınımına bağlı ısı transferini Richards vd. (1987) deneysel olarak incelemişlerdir. Kavite genişliğine göre ortalama Nusselt sayısının ve Reynolds sayısının uzunluk ve derinlik oranının artmasıyla azaldığını, kavite yüksekliğine göre ise; ortalama Nusselt sayısının ve Reynolds sayısının bir eğri üzerinde sabit kaldığını belirlemişlerdir. Suponitsky vd. (2005) çalışmalarını kavite ön ve arka duvarlarından uygulanan sabit enjeksiyon ve emme ile salınımların azaltılması olasılığını test etmişlerdir. Kavitenin ön ve arka duvarlarındaki enjeksiyon ve emme ile salınımlarının azaltılmasının kütle akış hızı parametresinin  $B_c = \%0,375$ ' ten yüksek olduğunda elde edilebilir olduğunu ve kütle akış hızı parametresinin bu değerin altında olduğunda, salınımlar bu kontrolden neredeyse hiç etkilenmediği sonucuna varmışlardır. Uzunluk ve derinlik oranı 5.16 ve 1.49 olan açık bir kavite üzerindeki Mach sayısı 0,2'lik ses altı akışının analizi için Ukeily ve Murray (2005) girdap ve hız alanlarının belirlenmesinde Parçacık Görüntüleme Hız Ölçüm tekniğini kullanmış ve hız-basınç dağılımları arasındaki korelasyonları detaylandırmak için ise sıcak tel anemometresi verilerini yüzey basıncı ölçümleriyle birleştirmişlerdir. Hız alanının incelenmesiyle, kayma tabakasının iki kavitenin uzunluk ve derinlik oranları ile nasıl etkileşime girdiğine dair birçok benzer ve farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Zdanski vd. (2006) kavite içerisindeki ısı transferinin, girdapların yer değiştirmesinin ve girdap kapsülleme olgusu olarak adlandırdıkları ikinci kabarcık oluşumunun değişen uzunluk ve derinlik oranı arasındaki ilişkilerini laminar ve türbülanslı rejimler için sayısal olarak ele almışlardır. Girdapların yer değiştirmesine kavite tabanındaki basınç gradyanı ve Reynolds Sayısının etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Manovski vd. (2007) çalışmalarında, su tüneli içerisine yerleştirilmiş uzunluk ve derinlik oranı 5 olan bir kavitenin derinliğine bağlı olarak farklı Reynolds sayılarında akışı karakterize etmişlerdir. Reynolds sayısı arttıkça kavitenin çoğunda saat yönünde büyük bir devridaim yapısının hâkim olduğunu ve yukarı akış saat yönünün tersine köşe girdabının da genişlemiş olduğu sonucuna varmışlardır. Sabit uzunlukta ve farklı yükseklikteki alt duvarları sabit ısı akısına sahip sığ kavite için akış alanı ve ısı transferlerinin parametrik bir çalışmasını Mesalhy vd. (2008) deneysel ve sayısal olarak sunmuşlardır. Isı transferinin düşük uzunluk ve derinlik oranlarında kavite içerisindeki girdaplardan, yüksek uzunluk ve derinlik oranlarında ise kavite tabanına çarpan akıştan etkilendiğini göstermişlerdir. Değişen oranlarının basınç katsayısı ile arasındaki ilişkiyi incelediklerinde uzunluk ve derinlik oranı arttıkça basınç katsayısının negatif hale geldiğini ve basınç bölgesinin sola doğru yer değiştirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Yukarı akış özelliklerindeki değişimin, akış yapısı ve yeniden bağlanma

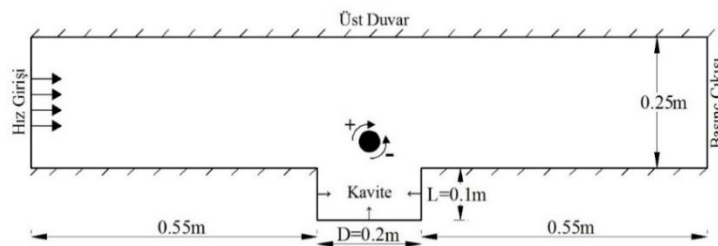
üzerindeki etkisini belirlemek için Madi vd. (2011) üç farklı uzunluk ve derinlik oranına sahip sıg kavitenin akış yapısını duvar jet akışı ve sınır tabaka akışı olarak iki ayrı durum şeklinde karşılaştırarak incelemişlerdir. Çalışmanın sayısal sonuçlarında, akış yapısının yukarı akış özelliklerine çok duyarlı olduğunu ve aynı Reynolds sayısı için, bir duvar jet akışı ile bir sınır tabaka akışının birbirinden önemli ölçüde farklı olduğunu belirlemişlerdir. Sınır tabaka akışında oluşan yeniden bağlanma uzunluğunun, duvar jet akışına göre oldukça daha geniş bir yapıda meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Billah vd. (2011) kare kavite içerisine yerleştirilen ısıtılmış içi boş dairesel silindirin etkisiyle meydana gelen birleşik ısı transferine silindir çapının, Richardson sayısının ve ısı iletkenlik oranının etkilerine bakmışlardır. Üst duvarı sabit hızla hareket eden kare kavitede silindir çapının artmasının sabit Richardson sayısı için ısı transferini artırdığını ve silindir çapının yüksek değerleri için daha yüksek ortalama Nusselt sayısı ve termal iletkenlik oranı elde edildiğini belirlemişlerdir. Dhiman ve Kumar (2011) geriye dönük adım akışına sahip bir kanal içerisine yerleştirdikleri adyabatik bir silindirin laminar zorlanmış ısı transferi ve akış üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Silindirsiz durum ile karşılaştırdıklarında Reynolds sayısının artmasıyla beraber akışın silindirin arkasından ayrılmaya başladığını ve yeniden bağlanma noktalarının arttığını gözlemlemişlerdir. Selimefendigil ve Öztöp (2014) kavite içerisine yerleştirilen, manyetik dipol etkisi altında dönen silindirin ısı transferi üzerindeki etkisini ve akışkan özelliklerinin sayısal analizini yapmışlardır. Reynolds sayısının ve manyetik gücün doğrusal olarak artmasının ısı transferini iyileştirici yönde etki sağladığını belirlemişlerdir. Uygun silindir dönüşü seçimi ile ısıtılmış blokların farklı yüzeyleri için ısı transferini arttırmanın elde edilebileceğini göstermişlerdir. Laouira vd. (2020) kapalı bir kanal içerisine yerleştirdikleri açık trapez şeklindeki kavitenin alt duvarında bulunan sabit sıcaklıkta ve farklı uzunluklardaki boyutsuz ısı kaynağının kavitenin ısı transferi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda ortalama Nusselt sayısının en yüksek değerini, maksimum uzunluktaki ısı kaynağı için elde etmişlerdir. Maksimum ve minimum hız değerlerinin girdap yapılarının merkezlerinde oluştuğunu ve ısı kaynağının uzunluktaki artışın hız dağılımlarında sıcaklık dağılımları kadar etki meydana getirmediklerini belirlemişlerdir.

Yukarıdaki literatür araştırması, iki boyutlu, açık bir kavite içerisine adyabatik bir silindir yerleştirilmesinin akış yapısı ve ısı transfer üzerindeki etkisini inceleyen bir çalışmanın şimdiye kadar gerçekleştirilmediğini, ancak kanal ve geriye dönük adım akışlarında bu uygulamaya benzer çalışmaların yapıldığını göstermektedir. Bu çalışmanın temel amacı açık kavite içerisinde 11 farklı konuma yerleştirilen bir silindire farklı dönme hızı büyüklükleri tanımlayarak yoğun ve periyodik salınımların oluşumu ile ısı transferinde verimli sonuçlar elde etmeyi amaçlamaktadır. Sayısal modelleme mühendislik uygulamalarının birçoğunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Deney düzeneklerinin kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve deneylerin yapılmasının çok fazla zaman alması mühendisleri hemen hemen her alanda modelleme çalışmalarına yönlendirmiştir (Şimşek,2020), (Şimşek vd. ,2021).

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

### 2.1. Modelin Tanımlanması (Definition of the Model)

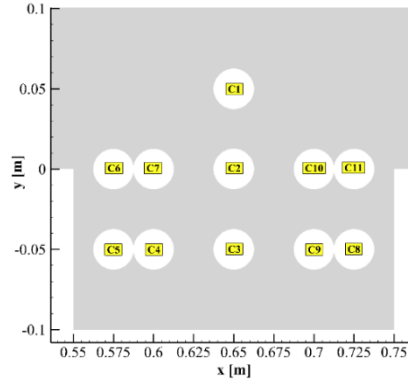
Sayısal çözüm için oluşturulan hesaplama alanı Şekil 1' de gösterilmiştir. Koordinat sistemini kanal girişine konumlanmış ve kavite geometrisi  $(x(m), y(m))=(0.55m, -0.1m)$  konumuna yerleştirilmiştir. İki boyutlu yatay kanalda bulunan açık kavitenin uzunluğu (D) 0.2m ve derinliği (L) 0.1m'dir. Kanal girişi ve kanal çıkışının kavite duvarlarına olan mesafeleri eşit (0.55m) ve kanal yüksekliği 0.25m olarak belirlenmiştir. Kavite duvarlarına sabit ısı akışı ( $q=10000 W/m^2$ ) uygulanmış ve geometrinin geri kalan kısımları iyi yalıtılmıştır. Hidrodinamik ve termal karakteristikleri değiştirmek için adyabatik bir silindir (çap,  $d=0.025m$ ) kavite geometrisi içerisinde 11 farklı konuma (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10 ve C11 silindir konumları) yerleştirilmiştir. Her bir konumda silindire 6 farklı dönme hızı ( $\mp 60$  rpm,  $\mp 120$  rpm and  $\mp 240$  rpm) tanımlanarak akış yapısı ve ısı transferi üzerinde silindirin etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Dönme hızlarının pozitif (+) gösterimi silindirin saat yönünde, negatif (-) gösterimi ise silindirin saat yönünün tersi yönünde döndüğünü belirtmektedir.



Şekil 1. Kavitenin geometrisi ve sınır şartları (Geometry of the cavity and boundary conditions)

Dönen adyabatik silindir Şekil 2' de görüldüğü gibi kavite içerisine merkezi olarak yerleştirilmiş ve konumlar silindirin kavite duvarlarına olan mesafelerine göre adlandırılmıştır. C1, C2 ve C3 konumları kavite orta

düzleminde bulunan yatay doğrultuda  $x(m) = 0.65m'$  de sabit tutularak düşey doğrultuda  $y(m) = 0.05m$  aralıklarla kavite tabanına doğru yerleştirilmiştir. Akış yönünde  $x(m)=0.025m$  aralıklarla C4, C5, C6 ve C7 konumları kavite ön duvarına, C8, C9, C10 ve C11 konumları da kavite arka duvarına yakın olarak konumlandırılmıştır.



Şekil 2. Silindirin bulunduğu konumlar (Locations of the cylinder)

## 2.2. Sayısal Metot ve Matematiksel Model (Numerical Method and Mathematical Model)

İki boyutlu, sıkıştırılamaz ve zamana bağlı türbülanslı akış ve sıcaklık alanlarına ait denklemlerin çözülmesi, sonlu hacimler yöntemini kullanan ANSYS Fluent programı ile yapılmıştır. Navier Stokes Denklemleri, belirtilen özelliklerdeki bir akış için sayısal olarak çözümlenmiştir. Momentum ve enerji denklemlerini ayrıştırmada ikinci mertebeden ileri gidişli şema (second order upwind scheme), basınç-hız bağıntısı için SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Sayısal çözümün yakınsaması, enerji için  $10^{-8}$  ve diğer tüm bağımlı değişkenler için ise  $10^{-6}$  olarak kararlaştırılmıştır. Courant sayısı (CFL) belirlenen zaman adımı boyunca akışkanın kat ettiği hücre miktarını ve çözümün doğruluğunu gösteren boyutsuz bir sayıdır. Bu çalışmada akış içerisindeki değişimlerin gözlemlenmesi için Courant sayısı 5'e bağlı olarak hesaplanan uygun zaman adımı 0.06 sn olarak belirlenmiştir. Akış ve sıcaklık alanları için yönetici denklemler, süreklilik, momentum ve enerji denklemleridir. Çalışmada akış hareketinin analiz edilebilmesi için kullanılan bu denklemlerin diferansiyel formları Eşitlik (1), Eşitlik (2) ve Eşitlik (3)' de sunulmuştur.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \nu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \overline{u_i u_j} \right] \quad (2)$$

Sırasıyla  $\rho$  akışkanın yoğunluğunu,  $u_i$ ,  $x_i$  yönündeki ortalama hız bileşenini,  $p$  basıncı,  $\mu$  dinamik viskoziteyi ve  $u'$  hızın çalkantı bileşenini göstermektedir.  $i$  ve  $j$  indisleri de her bir boyutu ( $i=x, y, z$  ve  $j=x, y, z$ ) temsil etmektedir.

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] \quad (3)$$

Akış analizlerinde yaygın olarak kullanılan Reynolds-ortalama yaklaşım modelindeki (RANS) türbülans stresi  $-\rho \overline{u_i u_j}$  Boussinesq hipotezi ile Eşitlik (4)' deki gibi modellenabilmektedir. Burada  $\mu_t$  türbülans viskozitesi,  $k$  türbülans kinetik enerjisidir ve  $k = \frac{1}{2} \overline{u_i u_i}$  olarak tanımlanır.

$$-\rho \overline{u_i u_j} = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left( \rho k + \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \delta_{ij} \quad (4)$$

Çalışmada türbülanslı akış analizinin modellenebilmesi için daha az hesaplama kaynağı gerektiren Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) denklemi ve standart  $k - \varepsilon$  türbülans modeli kullanılmıştır. Reynold Ortalamalı Navier Stokes Denkleminin kartezyen tensör formu Eşitlik (5)' te verilmiştir.  $(-\rho \overline{u_i u_j})$  ifadesi modellenecek olan Reynolds gerilim tensörü olarak adlandırılmaktadır ve eşitlikteki " $\delta_{ij}$ " ifadesi Kronecker deltasıdır Doğan (2014).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u_i u_j) = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (5)$$

$$\frac{\partial(\bar{\rho}k)}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{\rho}\tilde{u}_j k)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \mu_t \left( \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} - \bar{\rho} \varepsilon \quad (6)$$

$$\frac{\partial(\bar{\rho}\varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{\rho}\tilde{u}_j \varepsilon)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \mu_t \left( \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \bar{\rho} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (7)$$

Eşitlik (6) ve Eşitlik (7)' de verilen " $\sigma_k$ " türbülans Prandtl sayısı ve " $\sigma_\varepsilon$ " model sabitidir. Eşitlik (8), Eşitlik (9) ve Eşitlik (10)' da standart  $k - \varepsilon$  modelindeki, türbülans Eddy viskozitesi,  $C_\mu$ ,  $C_{\varepsilon 1}$  ve  $C_{\varepsilon 2}$  model katsayıları ve Tablo 2' de standart  $k - \varepsilon$  modeline ait sabitler verilmiştir Doğan (2014).

$$\mu_k = \bar{\rho} C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (8)$$

$$C_\mu = \left( \frac{u_x^2}{k} \right)^2 \quad (9)$$

$$C_{\varepsilon 1} = C_{\varepsilon 2} - \frac{k}{\sqrt{C_\mu} \sigma_\varepsilon} \quad (10)$$

**Tablo 2.** Standart  $k - \varepsilon$  modelinin sabitleri (The constants of standard  $k - \varepsilon$  model)

| Parametreler | $\sigma_k$ | $\sigma_\varepsilon$ | $C_\mu$ | $C_{\varepsilon 1}$ | $C_{\varepsilon 2}$ |
|--------------|------------|----------------------|---------|---------------------|---------------------|
| Değer        | 1          | 1.3                  | 0.09    | 1.44                | 1.92                |

Çalışmada boş kavite akışı için kavite derinliği ( $D_h = L$ ) ile silindir konumları için ise silindir çapına ( $D_h = d$ ) göre tanımlanan Reynolds sayısını veren bağıntı Eşitlik (11)' de gösterilmiştir Çengel vd. (2008).

$$Re = \frac{\rho \times V \times D_h}{\mu} \quad (11)$$

Eşitlik (12)' de Yerel Nu sayısını veren bağıntı gösterilmiştir. Burada " $h_x$ ", yerel ısı transfer katsayısı, " $k$ " ısı iletkenlik katsayısı ve " $S$ " karakteristik uzunluktur. Çalışmada Nu sayısı " $Nu$ " hidrolik çapa ( $D_h = S$ ) göre hesaplanmıştır Çengel vd. (2008)

$$Nu_x = \frac{h_x S}{k} \quad (12)$$

### 2.3. Modelin Sınır Şartları (Boundary Conditions of The Model)

Şekil 1'deki hesaplama alanına uygulanan sınır şartları Şekil 1'de verilmiştir. Silindirin açık bir kanal içerisine yerleştirilerek incelendiğini göstermek amacıyla kanalın üst duvarı, akış doğrultuda ve akış ile aynı hız büyüklüğünde olacak şekilde "hız girişi" sınır şartı olarak tanımlanmıştır.  $U=V=0$ ,  $\dot{q}=10000$  (W/m<sup>2</sup>) Silindir yüzeyine hiçbir termal sınır şartı tanımlanmamıştır fakat kavite içerisinde dönmesi istendiğinden dolayı bir duvar yüzeyinin bir eksen etrafındaki dönüşünü belirtmek için kullanılan "hareketli duvar sınır şartı" olarak belirlenmiştir. Silindirin dönme ekseninin orijini, silindir merkezinin x ve y koordinatlarıdır ve kavite içerisindeki konumuna göre x ve y koordinatları değişmektedir.

### 3. Sayısal Sonuçlar (Numerical Results)

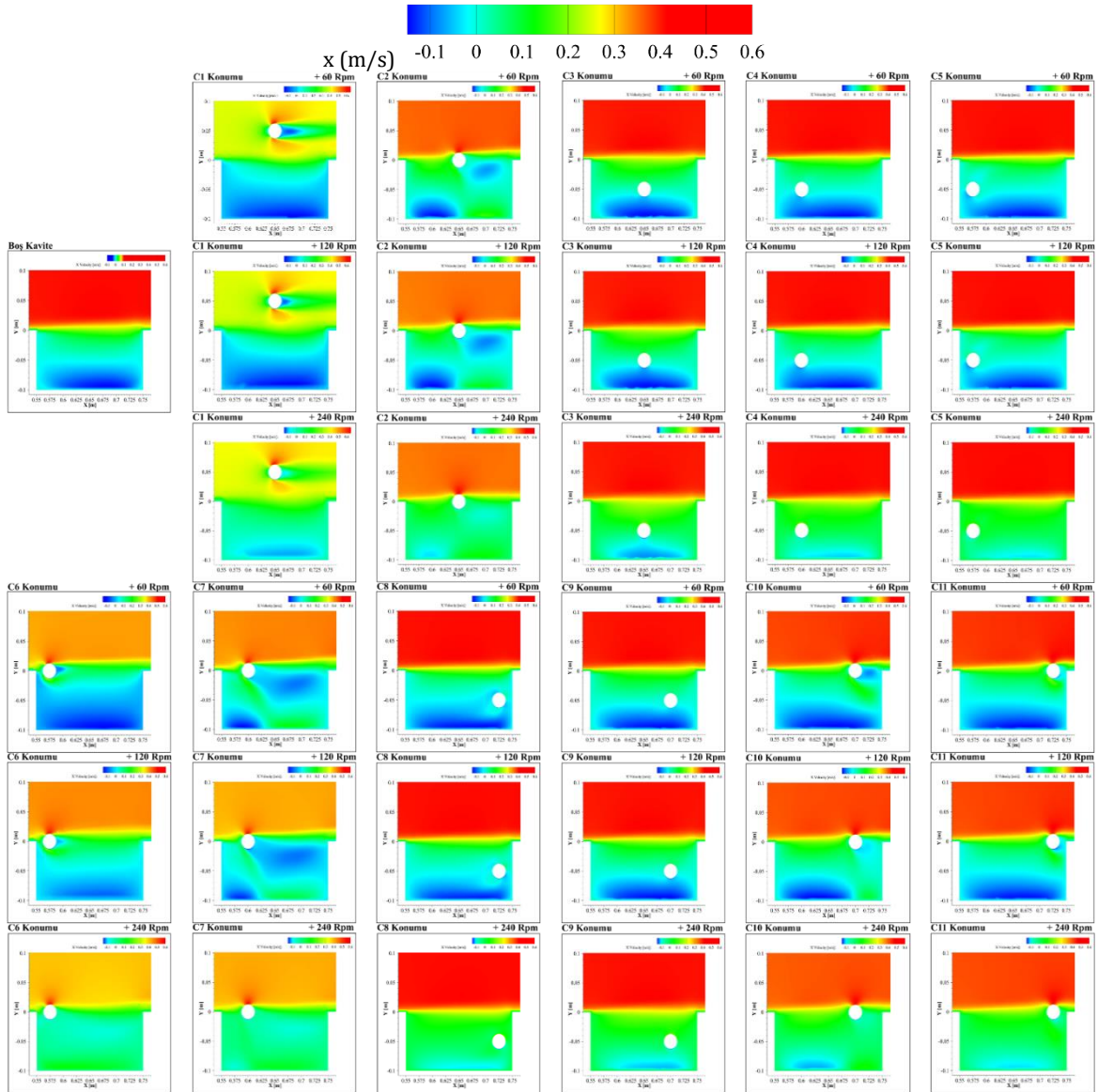
Çalışmada, silindirin konumundaki değişimin ve bu konumlardaki farklı dönme hızlarının akış yapısı ve ısı transfer üzerindeki etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Silindir çapı ile tanımlanan Reynolds sayısı 10000 olarak belirlenmiş ve kavite duvarlarına sabit ısı akısı ( $\dot{q}=10000$  W/m<sup>2</sup>) tanımlanarak ısı transfer analizi sağlanmıştır. Akış yapısı ve

ısı transferini karakterize etmek için sonuçlar saat yönünde ve saat yönünün tersi yönünde dönme hızları olarak iki ayrı başlık şeklinde sunulmuş ve aynı Reynolds sayı değeri için kavitede silindirin olmadığı boş kavite akışı adı verilen durum sonucuyla karşılaştırılarak ele alınmıştır.

### **3.1. Saat Yönünde Dönme Hızlarının Akış Yapısı ve Isı Transferi Üzerinde Etkisi (The Effect Of Clockwise Rotational Speeds On Flow Structure And Heat Transfer)**

#### **3.1.1. Akış Yapısı Üzerinde Etkisi (The Effect on Flow Structure)**

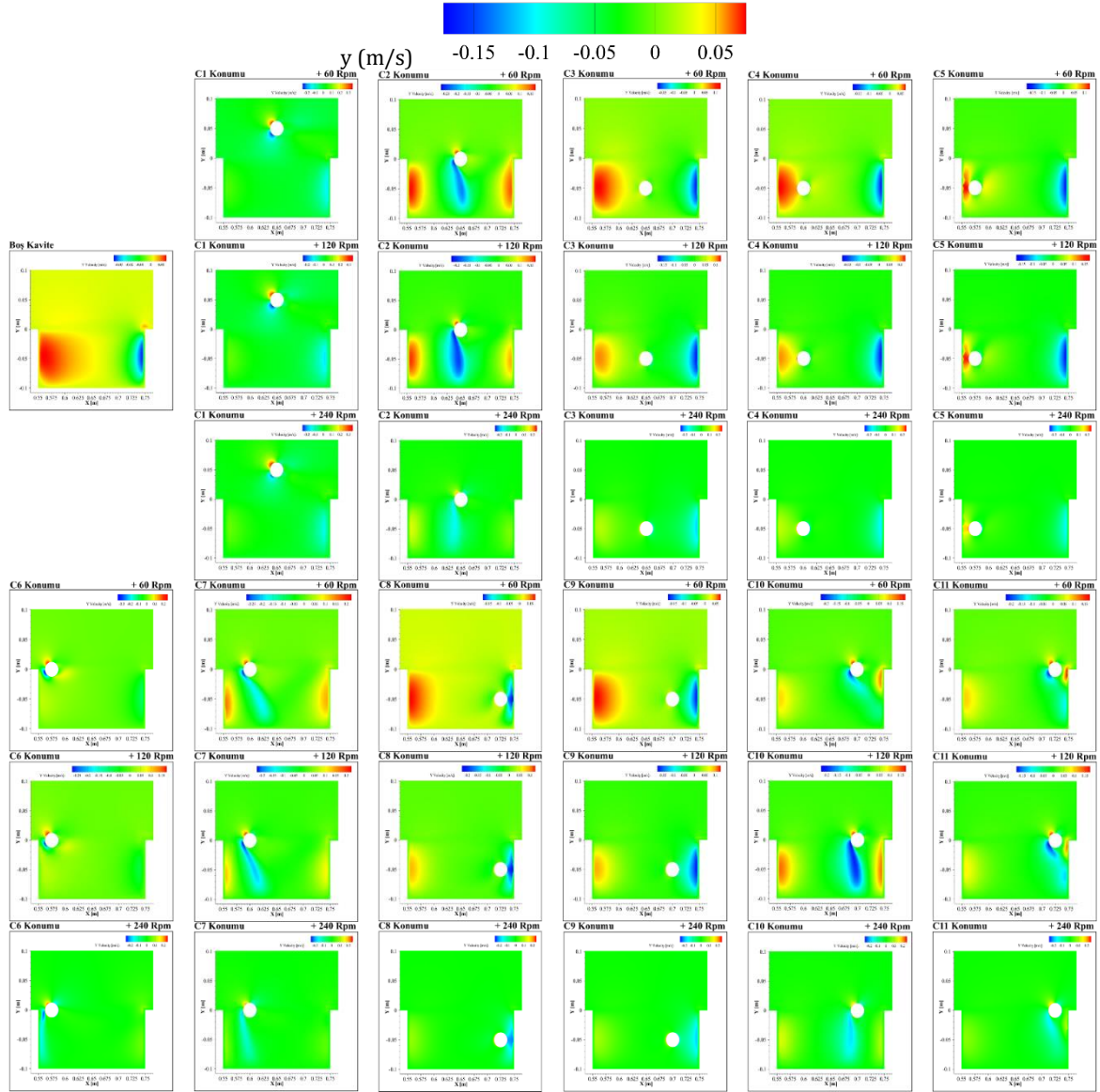
Şekil 3 ve 4, boş kavite ve farklı konumlarda değişen dönme hızlarının ortalama hız alanlarına ait x ve y hızı dağılımlarını göstermektedir. C1 konumunda dönme hızının artması, boş kavite akışına göre kavite tabanına doğru yüksek hızlarda ters akış oluşmasını sağlamış ve silindirin üst yüzeyinden geçen akışın hızını artırmıştır. Dönme hızı + 240 rpm olduğunda + 60 ve + 120 rpm dönme hızlarına göre kavite tabanına yakın oluşan ters akışın hızı azaltmıştır. Bu durum, saat yönünde dönme etkisine bağlı olarak silindirin alt yüzeyinden geçen kayma kaymasının hızındaki azalmadan kaynaklanmıştır. + 60 rpm dönme hızında silindirin ön yüzeyinden kavite tabanına doğru boyutunu artıran kayma tabakası, C2 konumunda kavite ön ve arka duvarına yakın iki farklı ters akış oluşturmuştur. Dönme hızının artması, kayma tabakasının kavite tabanına doğru hız alanının azalarak kavite içerisinde düşük hızlarda ters akış yapıları oluşmasına sebep olmuştur. + 60 rpm dönme hızına kıyasla + 120 ve + 240 rpm dönme hızlarında, kavite ön duvarına yakın oluşan ters akışın akış alanı azalırken, kavite arka duvarına yakın oluşan ters akışın akış alanı artmıştır. C3 konumunda silindir ile kavitenin ön ve arka duvarları arasında oluşan y hızı dağılımları iki ayrı ters akışın varlığını göstermektedir. Dönme hızının artması oluşan ters akışların şiddetini azaltmış fakat boş kavite durumuna göre yine de kavite içerisindeki hızın artmasını sağlamıştır. C4 ve C5 konumlarında dönme hızının artması, boş kavite akışına nispeten kavite içerisindeki hız alanının artmasında etkili olmuştur. C5 konumunda silindir ile kavite ön duvarı arasındaki bölgeden geçen akışın hızı C4 konumuna göre oldukça fazladır. Ancak kavite tabanına yakın oluşan ters akış hızındaki artışın en fazla C4 konumunda olduğu gözlemlenmiştir. + 60 ve + 120 rpm dönme hızlarında C6 konumu, silindir etrafında akış oluşturarak boş kavite durumuna benzer ters akış meydana getirmiştir. Dönme hızının + 240 rpm' e artması kayma tabakasındaki kararsızlıkları artırmış ve mevcut akış yapısını değiştirerek saat yönünün tersi doğrultusunda ters akış oluşturmuştur. C2 konumuna benzer akış oluşturan C7 konumunda kayma tabakası kavite ön ve arka duvarlarında iki farklı ters akışı meydana getirmiştir. Kavite ön duvarında oluşan ters akışın akış alanı artan dönme hızı ile azalırken, kavite tabanına yakın silindirin alt yüzeyinde oluşan ters akışın akış alanı kavite arka duvarına kadar artmıştır. C2 konumda olduğu gibi C7 konumunda da ters akışın hız büyüklükleri artan silindirin dönüş hızı ile azalmıştır. C8 ve C9 konumları aynı akış doğrultusunda silindir konumları olmalarına rağmen kavite arka duvarına olan mesafeleri silindirin arka yüzeyinden geçen akış hızını etkilemektedir.



**Şekil 3.** Değişen silindir konumları ve saat yönünde dönme hızlarına göre kavite içindeki x- hızı dağılımları (x-velocity distributions in the cavity according to varying cylinder positions and clockwise rotational speeds)

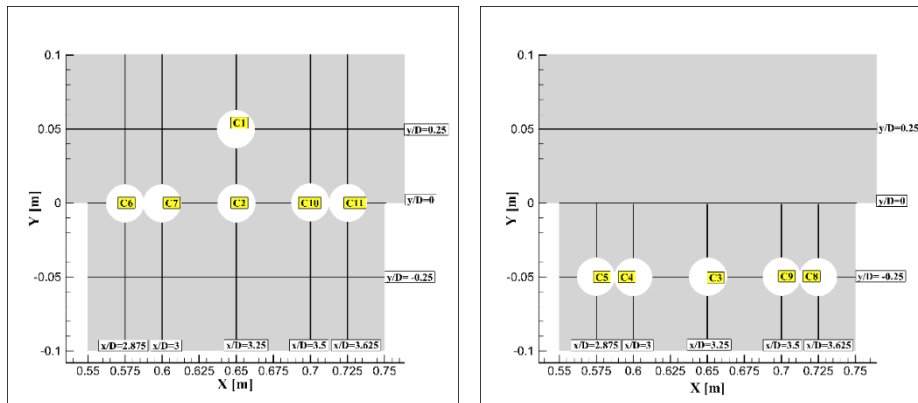
C8 konumunda silindirin arka yüzeyinden geçen akışın hızı daha fazla iken kavite tabanına yakın yüksek hızlarda ters akışın C9 konumunda olduğu belirlenmiştir. C10 konumunun + 60 rpm dönme hızında, silindirin ön yüzeyinden ayrılan kayma tabakası kavite içerisinde farklı iki ters akış meydana getirmiştir. Silindirin artan dönme hızı kavite arka duvarına yakın olan ters akışın akış alanını artırırken, kavite ön duvarına yakın ters akışın akış alanını azaltmıştır. Silindirin alt yüzeyinden geçen kayma tabakası C11 konumunda, silindirin arka yüzeyinde ve tüm kavite uzunluğu boyunca kavite içerisinde iki ayrı ters akış oluşturmuştur. Dönme hızının artmasıyla birinci ters akışın akış alanı sabit kalmış, silindirin arka yüzeyine yakın konumda bulunan ikinci ters akışın akış alanı artmıştır.





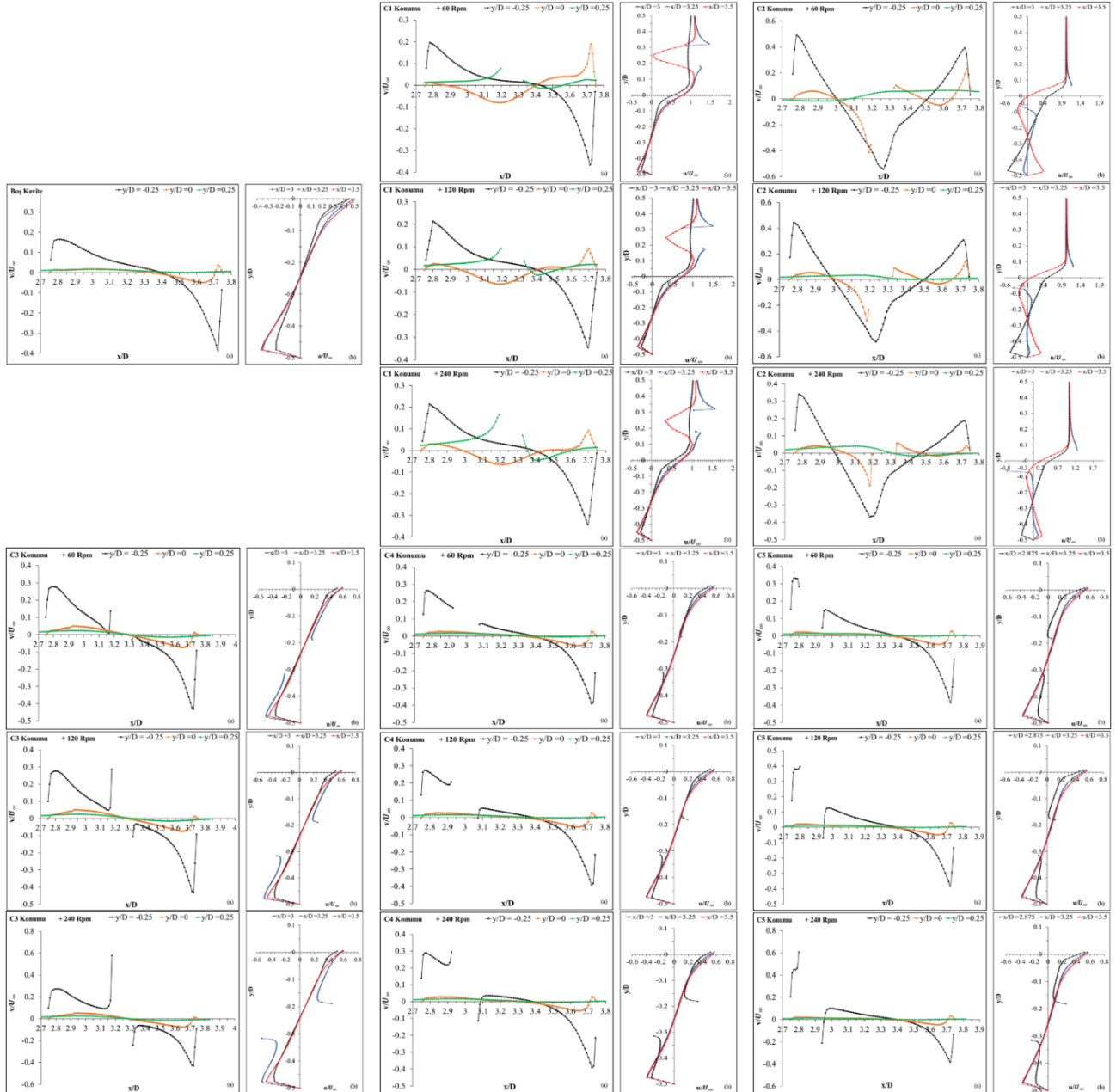
Şekil 4. Değişen silindir konumları ve saat yönünde dönme hızlarına göre kavite içindeki y-hızı dağılımları (y-velocity distributions in the cavity according to varying cylinder positions and clockwise rotational speeds)

Boyutsuzlaştırılmış ortalama hız profillerinin ( $u/U_\infty, v/U_\infty$ ) incelenmesi için belirlenen dikey ( $x/D= 2.875, x/D=3, x/D=3.25, x/D=3.5$  ve  $x/D=3.625$ ) ve yatay ( $y/D= -0.25, y/D=0$  ve  $y/D=0.25$ ) eksenler üzerindeki konumlar Şekil 5' te gösterilmiştir.



Şekil 5. hız profilleri ( $u/U_\infty, v/U_\infty$ ) için x/D ve y/D konumları (x/D and y/D positions for velocity profiles)

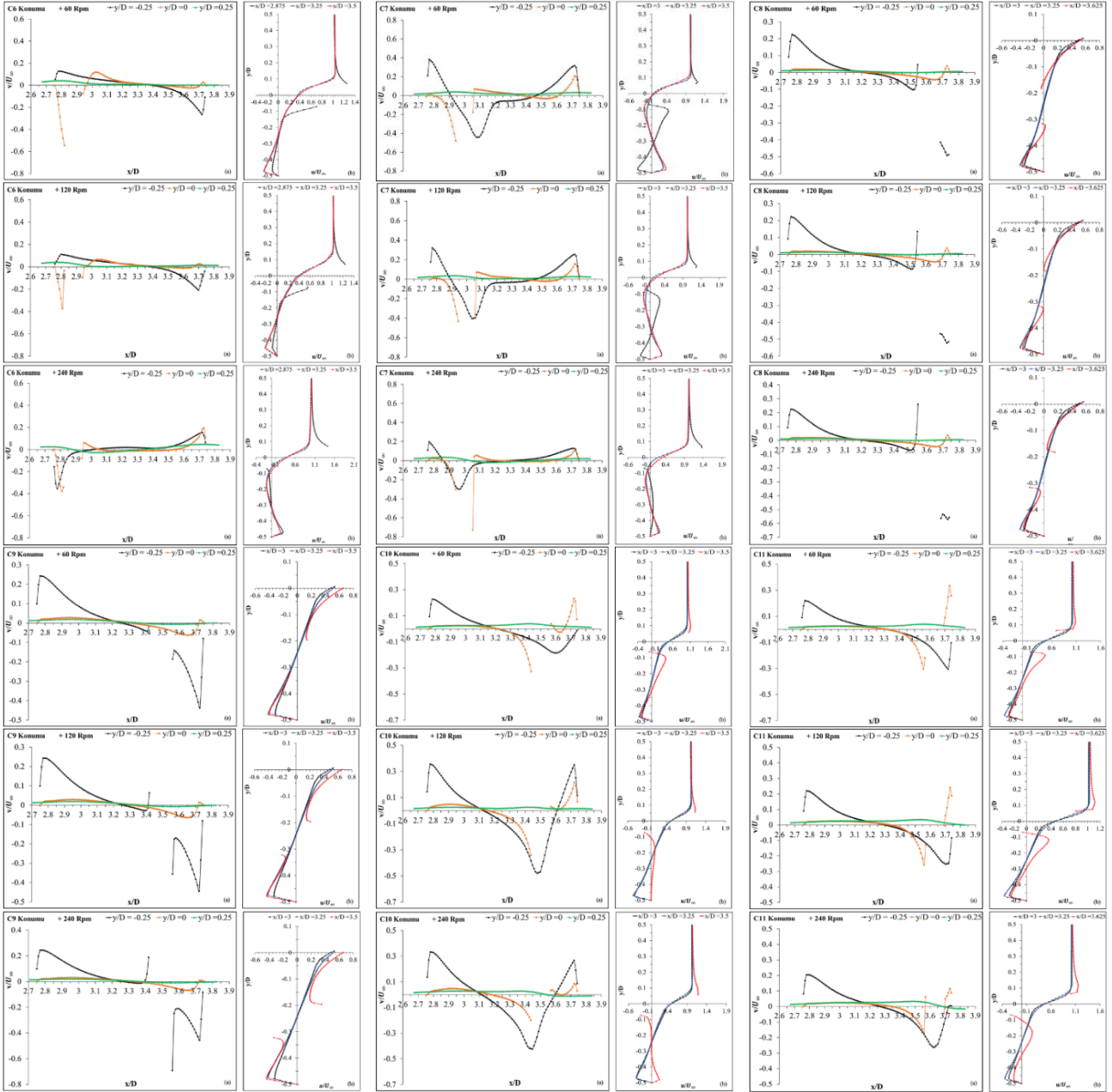
Boş kavite ve silindri durumlarda için yatay ve dikey eksenle tanımlanan bu konumlar kavite uzunluğu ( $D$ ) ile eksenler üzerindeki hız büyüklükleri ortalama akış hızı ( $U_\infty$ ) ile boyutlandırılmamış olarak sunulmuştur. Kayma tabakası üzerinde ve kayma tabakasından uzak konumlara yerleştirilen silindirin (C1, C2, C6, C7, C10 ve C11) kavite haricinde akışta meydana getirdiği hız değişimlerini incelemek için dikey eksen üzerindeki hız profilleri kavite derinliğinden daha fazla mesafe dikkate alınarak incelenmiştir. Kavite tabanına yakın (C3, C4, C5, C6, C8 ve C9) silindir konumlarında ise sadece kavitedeki akışta meydana gelen hız değişimlerinin gözlemlenebilmesi için dikey eksen üzerindeki hız profilleri kavite derinliğindeki mesafeye göre incelenmiştir.



**Şekil 6.** C1, C2, C3, C4 ve C5 konumlarının boyutsuz hız profilleri, a) Yatay eksen üzerindeki boyutsuz hız profili, b) Dikey eksen üzerindeki boyutsuz hız profili (The non-dimensional velocity profiles of C1, C2, C3, C4 and C5 positions, a) The non-dimensional velocity profiles on horizontal axis, b) The non-dimensional velocity profiles on vertical axis)

Silindir konumlarının farklı dönme hızlarına ait boyutsuz ortalama hız bileşenlerindeki değişimleri gösteren grafikler Şekil 6 ve Şekil 7' de verilmiştir. Bu grafik eğrilerindeki kopmalar, Şekil 5' te de gösterildiği gibi yatay ve dikey eksenler üzerinde tanımlanan konumların silindirin sınır şartlarına denk gelmesinden kaynaklanmaktadır.  $y/D = -0,25$ 'teki hız profillerinde negatif yönde oluşan tepe noktası boş kavite ve C1 konumunda kavite arka duvarı ile etkileşen kayma tabakasının oluşturduğu ana girdap yapısını göstermektedir. C1 konumunda dönme hızı arttıkça ana girdap yapısının boyutu azalmış ve yüksek hızda girdap oluşumu + 120 rpm dönme hızında elde edilmiştir. C2 konumunda  $x/D = 3$  ve  $3,5$ ' deki hız profillerinin negatif ve pozitif yöndeki hız değişimleri kavite içerisindeki ters akışları göstermektedir. Akışa dik doğrultudaki hız profiline ( $y/D = -0,25$ ) negatif ve pozitif tepe noktaları kavite içerisindeki kayma tabakasına ait birbiri tersine dönen iki girdap akışının varlığını ispatlar

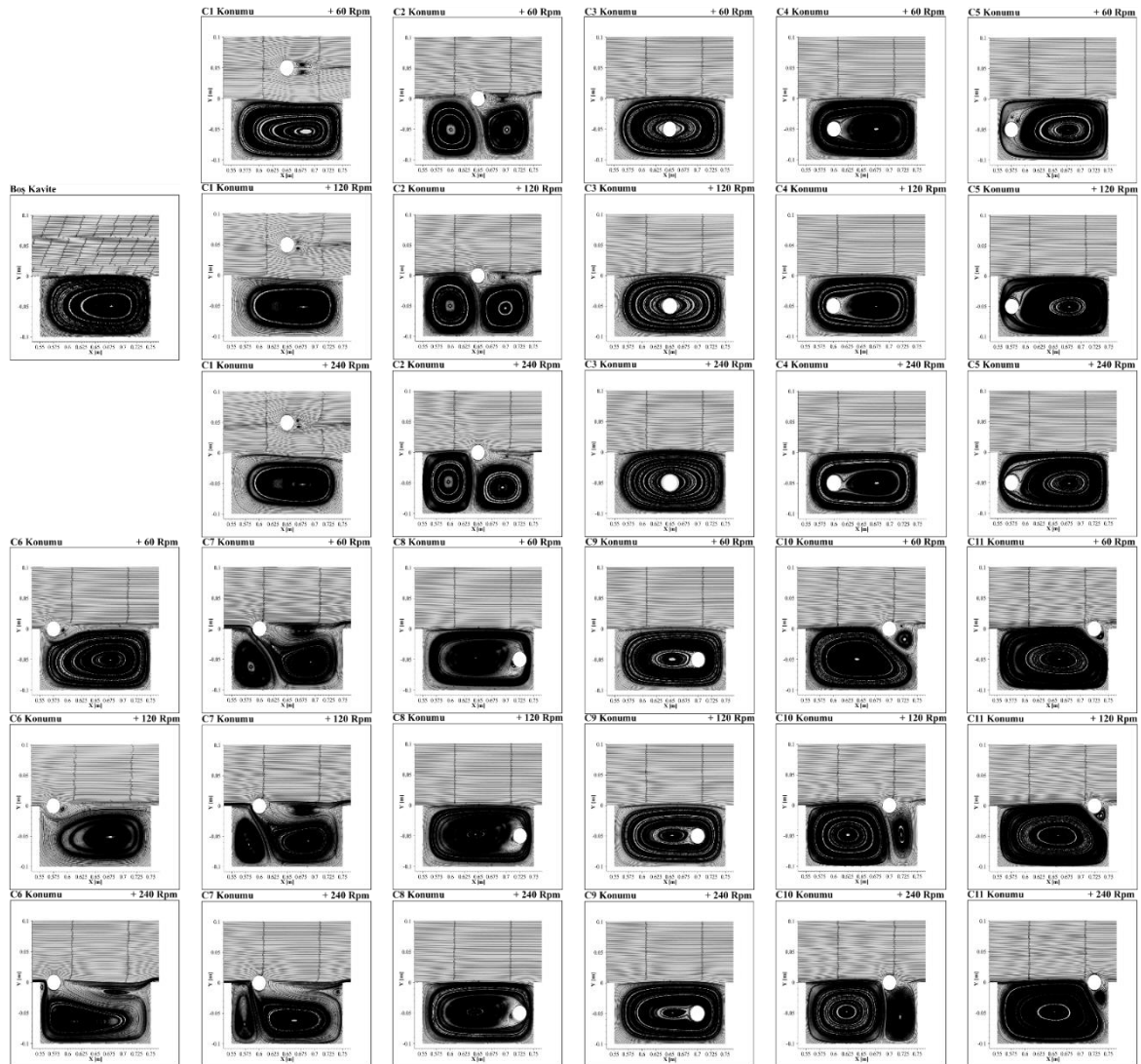
niteliktedir (Şekil 8). Bu hız profilinin negatif tepe noktasının  $x/D$  konumu üzerindeki değişimi birinci girdabın boyutundaki azalmadan kaynaklanmaktadır. Kayma tabakası doğrultusundaki hız bileşenin ( $y/D = 0$ ) negatif tepe noktası silindirin arka yüzeyinde oluşan saat yönündeki üçüncü girdap akışını göstermektedir. + 240 rpm dönme hızında üçüncü girdap yapısının  $x/D = -0.1$  konumuna doğru boyutunu artırması ikinci girdap yapısını sıkıştırarak kavite arka duvarının üst köşesinde dördüncü girdabın oluşmasını sağlamıştır. Boş kavite durumuna benzer şekilde C3 konumunda da ana girdabı gösteren akışa dik doğrultusunda negatif tepe noktası gözlemlenmiştir. Dönme hızının artması kavite tabanına yakın ters akışı artırırken, girdabın boyutunda önemli bir etki sağlamamıştır.



Şekil 7. C6, C7, C8, C9, C10 ve C11 konularının boyutsuz hız profilleri, a) Yatay eksen üzerindeki boyutsuz hız profili b) Dikey eksen üzerindeki boyutsuz hız profili. (The non-dimensional velocity profiles of C6, C7, C8, C9, C10 and C11 positions, a) The non-dimensional velocity profiles on horizontal axis b) The non-dimensional velocity profiles on vertical axis)

C4 ve C5 konuları kavite uzunluğu boyunca silindiri de içerisine alan ana girdap yapısı meydana getirmişlerdir. C4 konumunda dönme hızındaki artış, kavite tabanına yakın konumdaki ters akışın hız büyüklüğü artırmış ve silindirin arka yüzeyinde girdap çekirdeğini oluşturan akış yapısının boyutunu azaltmıştır. C5 konumunda ise dönme hızının artması C4 konumda olduğu kadar yüksek hızlarda ters akış oluşturmamıştır. C6 konumunun + 60 ve +120 rpm 'de oluşturduğu hız profilleri hemen hemen aynıdır, ancak + 120 rpm dönme hızında kavite içerisindeki hız profili diğer dönme hızlarına göre farklılık gösterir. Bu durum kayma tabakasının kavite içerisinde oluşturduğu saat yönünün tersine dönen girdap akışından kaynaklanmaktadır. C7 konumunun  $y/D = -0.25$ ' teki hız profilinde, negatif ve pozitif yönde oluşturduğu tepe noktaları kavite içerisinde birbirinin tersi yönde dönen iki

girdap yapısının olduğunu göstermiştir. Silindirin dönme hızı arttıkça birbiri tersine dönen bu iki dönel yapının arasında indüklenmiş bir akış oluşmuştur.  $y/D = 0$ 'daki hız profilinde kayma tabakası doğrultusunda kavite arka duvarına yakın konumda oluşan tepe değeri üçüncü girdap yapısını göstermektedir. Dönme hızının artmasına bağlı olarak ikincil girdap yapısının boyutunun artması üçüncül girdap yapısının kavite arka duvarının üst köşesinde dördüncü girdabı oluşturmasında etkili olmuştur. Şekil 7' de C6, C7, C8, C9, C10 ve C11 konumlarının boyutsuz ortalama hız profillerini gösteren grafikler sunulmuştur. C8 ve C9 konumlarında benzer akış yapıları oluşmuştur. Her iki konumun  $y/D = -0.25$ 'deki hız profillerinin  $x/D = 3.5$  konumlarında tanımlanan negatif tepe noktaları silindirin ön yüzeyinde oluşturdukları ters akışları göstermektedir. Aynı hız profiline ait grafik eğrisinin kavite arka duvarına konumlarındaki ( $x/D = 3.7$  ve  $3.8$ ) negatif tepe değerleri silindirin arka yüzeyinden geçen akışın hız büyüklüğüdür ve C8 konumunun kavite arka duvarına olan yakınlığına bağlı olarak C9 konumuna göre oldukça yüksek hız değerlerine ulaşmıştır. C10 konumunun  $+60$  rpm dönme hızından sonra grafik eğrilerinin negatif yönden pozitif yöne doğru değişiminin kavite içerisindeki iki ters akıştan kaynaklandığı bilinmektedir.  $y/D = -0.25$ 'deki negatif tepe noktası birinci girdabı,  $y/D = 0$ 'daki hız profilinde kavite arka duvarına yakın konumda oluşan eğrinin pozitif yönde oluşturduğu tepe noktası ikinci girdap yapısını, aynı eğri üzerinde negatif yöndeki tepe noktası ise üçüncü girdap yapısını göstermektedir. Dönme hızı arttıkça bu girdap akışlarının boyutlarını artırdığı ancak hızlarında azalmalar olduğu belirlenmiştir. C11 konumunun,  $y/D = -0.25$  ve  $x/D = 3.625$ 'deki hız profillerinden elde edilen tepe değerleri kavite içerisinde farklı yönlerde dönen iki girdap akışı olduğunu göstermektedir. Bu grafik eğrilerinin artan dönme hızıyla tepe noktalarındaki azalmalar girdap akışlarının hız değerlerindeki azalmadan kaynaklanmaktadır.



Şekil 8. Silindir konumlarının saat yönünde dönme hızlarındaki zaman ortalamalı akım çizgileri  
(Time-averaged streamlines at clockwise rotational speeds of cylinder positions)

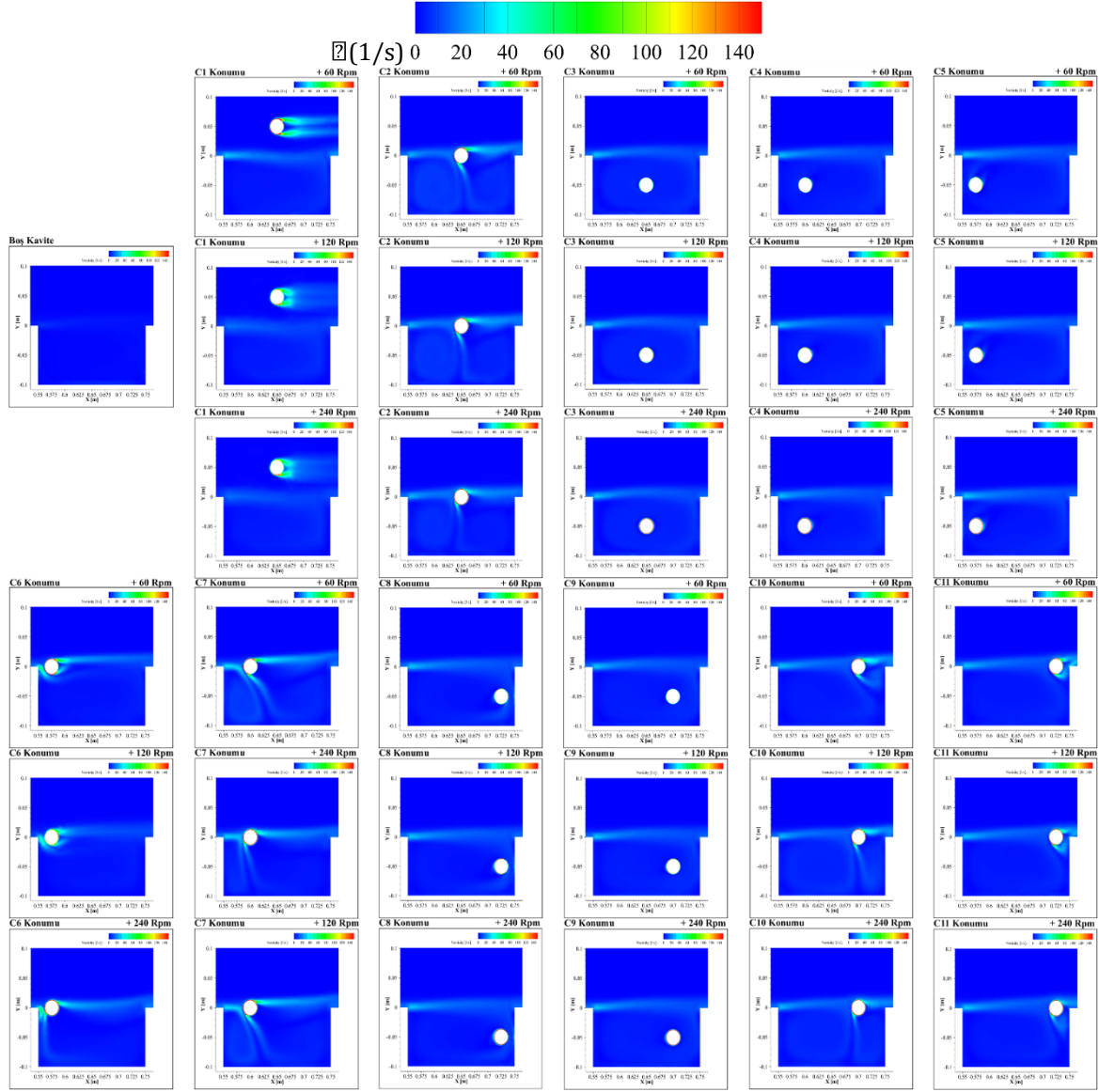
Değişen konumlarda dönme hızlarının zaman ortalamalı akım çizgileri Şekil 8' de verilmiştir. C1 konumu boş kavite durumuna benzer akış yapısını tüm dönme hızları için korumuştur.  $+60$  rpm' de kayma tabakasının kavite arka duvarı ile etkileşimi sonucunda saat yönünde dönen ana girdap yapısı oluşmuştur. Kavite dışında silindirin

arka yüzeyinde birbiri tersine dönen iki girdap akışı daha gözlemlenmiştir. Silindirin dönme yönüne ve dönme hızının artmasına bağlı olarak bu girdap yapılarının boyutları azaltmıştır. C2 konumunun + 60 rpm dönme hızında kayma tabakası silindirin ön yüzeyinden ayrılarak kavite tabanına yakın iki girdap akışı meydana getirmiştir. Birinci girdap yapısı kavite ön duvarına yakın saat yönünde, ikincil girdap yapısı ise kavite arka duvarına yakın saat yönünün tersi yönünde dönmektedir. İkinci girdap silindirin arka yüzeyinde ve birinci girdap ile aynı yönde dönen üçüncü bir küçük girdap üretmiştir. Dönme hızının artması, kayma tabakasında daha fazla salınım oluşturmuş ve ikinci girdabın boyutunu arttırmıştır. Dönme hızı + 240 rpm olduğunda ikinci girdaptaki boyut artışı üçüncü girdap ile aralarında indüklenmiş bir akış oluşmasını sağlayarak kavite arka duvarının köşesinde dördüncü bir girdap yapısını oluşturmuştur. Kavite orta düzleminde bulunan C3 konumu boş kavite akışına benzer fakat girdap çekirdeği üzerinde silindirin bulunduğu saat yönünde dönen bir resirkülasyon bölgesi üretmiştir. Silindiri de içerisine alarak oluşan bu girdap yapısının boyutu ve hız alanı dönme hızının artmasıyla doğrusal olarak artmıştır. C4 ve C5 konumlarında, tüm kavite yüzeylerine temas eden ve saat yönünde dönen ana girdap akışının olduğu gözlemlenmiştir. Bu konumların birbirinden farkı, C5 konumunun silindir yüzeyinde oluşturduğu girdap akışları ve silindirin arka yüzeyindeki girdap çekirdekleridir. Dönme hızındaki artış girdap çekirdeklerinin boyutunu azalmış ve C5 konumunda oluşan diğer küçük girdap yapılarının kaybolmasını sağlamıştır. + 60 ve + 120 rpm dönme hızlarında aynı akış yapısını oluşturan C6 konumu, kavite içerisinde saat yönünde birinci girdap ve silindirin arka yüzeyinde saat yönünün tersi yönde dönen ikinci girdap akışını oluşturmuştur. +120 rpm' de dönme hızındaki artışa bağlı olarak birinci girdabın boyutunun azaldığı, ikinci girdabın boyutunun arttığı belirlenmiştir. + 240 rpm dönme hızında mevcut akışın tamamen değiştiği ve kavite içerisinde üç farklı girdap akışının olduğu gözlemlenmiştir. Bu girdaplarından biri kavite tabanına yakın saat yönünün tersi yönde dönen birinci girdap akışı diğeri kavite arka duvarı ile silindirin arka yüzeyi arasında sınırlandırılan ters yönde dönen ikinci girdap akışıdır. İkinci girdabın gelişmesi, birinci girdap yapısının kavite arka duvarına yakınlaşarak kayma tabakasının sıkıştırılmasına sebep olmuş ve bu durum kavite ön duvarının üst köşesinde saat yönünde dönen üçüncü girdabın oluşmasını sağlamıştır. C2 konumunda olduğu gibi C7 konumunda da kayma tabakasına ait iki ayrı girdap ve silindirin arka yüzeyinde üçüncü bir girdabın varlığı tanımlanmıştır. Birinci ve üçüncü girdap akışları saat yönünde, ikinci girdap akışı ise saat yönünün tersi yönde dönmektedir. Silindirin dönme hızındaki artış birinci girdap yapısının boyutunu azaltırken, ikinci girdap yapısının boyutunu artırmıştır. Kavite arka duvarına yakın konumlanan ikinci girdabın gelişimi beraberinde silindirin arka yüzeyinde lokalize bulunan üçüncü girdabı indüklemiş ve kavite arka duvarının üst köşesinde dördüncü bir küçük girdap yapısı oluşmasını sağlamıştır. C8 ve C9 konumları C4 ve C5 konumlarına oldukça benzer akış yapıları oluşturmuşlardır. Artan dönme hızıyla silindirin arka yüzeyindeki girdap çekirdeklerinin boyutları azalmış ve C8 konumunda silindirin alt yüzeyinde oluşan ikinci girdap akışının konumu değişmemiştir. C10 konumu artan dönme hızıyla kayma tabakasına ait ve silindirin arka yüzeyinde bulunan ikinci girdap akışının boyutunu arttırmıştır. Birinci girdap akışı kavite ön duvarına doğru boyutunu azalmış ve silindirin ön yüzeyi ile sınırlandırılan bir akış alanı oluşturmuştur. + 60 rpm' de bulunan üçüncü girdabın, + 120 ve + 240 rpm dönme hızlarında oluşmamıştır. C10 konumunun + 60 rpm dönme hızına benzer akış meydana getiren C11 konumunda dönme hızının artması, ikinci girdabın boyutunu arttırmıştır.

Silindir konumları için dönme hızlarının girdap dağılımları Şekil 9' da gösterilmiştir. Boş kavitede, kavite içerisindeki durgun akışta yeteri kadar hareketliliğin sağlanamamasından dolayı akıştaki girdap dağılımlarının belirginleşecek seviyede türbülanslı olmadığı belirlenmiştir. C1 konumunun + 60 rpm dönme hızında silindirin alt yüzeyinden geçen akışın kayma tabakasında yarattığı kararsızlık girdap dağılımda da görülmüştür. Dönme hızının artmasıyla silindirin üst yüzeyinden geçen akışın kayma tabakasına etki sağlamadığı da gözlemlenmiştir. Boş kavitedeki durgun akış hali C1 konumunda belirli seviyeye kadar türbülanslı olacak şekilde sağlanmıştır. C2 konumunun bütün dönme hızlarında kayma tabakasında oluşan salınımlar aynı girdap seviyesinde oluşurken, silindirin arkasında oluşan girdap seviyesi giderek azalmıştır. Kavite içerisinde en belirgin girdap oluşumu silindirin etrafında meydana gelmiştir. Kayma tabakasının oluşturduğu girdap yapılarının varlığı özellikle + 60 ve + 120 rpm dönme hızlarında gözlemlenmiştir. C3 konumunda kavite ön duvarından ayrılan kayma tabakası ve silindir etrafında oluşan akışın girdap yoğunluğu kavite de belirgin girdap dağılımı sağlamıştır. C4 ve C5 konumunda kavite ön duvarından ayrılan kayma tabakası salınımları ile silindirin etrafında oluşan akış belirgin girdap dağılımları üretmiştir. Özellikle C5 konumunun + 60 rpm dönme hızında silindirin alt yüzeyine temas eden ters akışın silindirin ön ve arka yüzeylerinde hız artışı yapmış olması kavite kayma tabakasına doğru daha belirgin girdap alanları oluşturmuştur. C6 konumunda dönme hızının artması kavite ön yüzeyinden ayrılan kayma tabakası ile silindirin üst yüzeyinden geçen akışta yüksek seviyelerde girdap üretmiştir. + 240 rpm' de birinci girdap yapısını oluşturan kayma tabakasının kavite ön duvarında oluşturduğu girdap yoğunluğu da gözlemlenmiştir. C7 konumunda artan dönme hızlarında ikincil girdap yapısının kavite içerisindeki hareketinin kayma tabakasında oluşturduğu etkiler belirgin girdap yoğunlukları oluşturmuştur. Özellikle +240 rpm dönme hızında kayma tabakasına ait girdap dağılımları kavite arka duvarına doğru yaklaşmıştır.

C8 ve C9 konumlarında en az girdap üretimi kayma tabakasında en fazla girdap üretiminin ise silindirin etrafındaki akışta oluşturmuştur. C10 konumunda kayma tabakasındaki girdap yoğunluğu silindirin varlığından dolayı kavite

arka duvarına doğru artmıştır. Silindirin alt yüzeyinden kavite tabanına ayrılan kayma tabakasının ise kavitede oluşturduğu girdap yapılarının varlığı görülebilmektedir. C11 konumunun + 60 ve + 120 rpm dönme hızlarında silindirin etrafında oluşan akışa kavite arka duvarının etkisi silindirin alt yüzeyinden geçen akış alanının girdap dağılımlarından da belirlenebilmektedir. Artan dönme hızı ile kavite içerisine genişleyen girdap bölgesinin yoğunluğu silindirin alt yüzeyinde oluşan ikinci girdabın boyutunu arttırdığını göstermektedir.

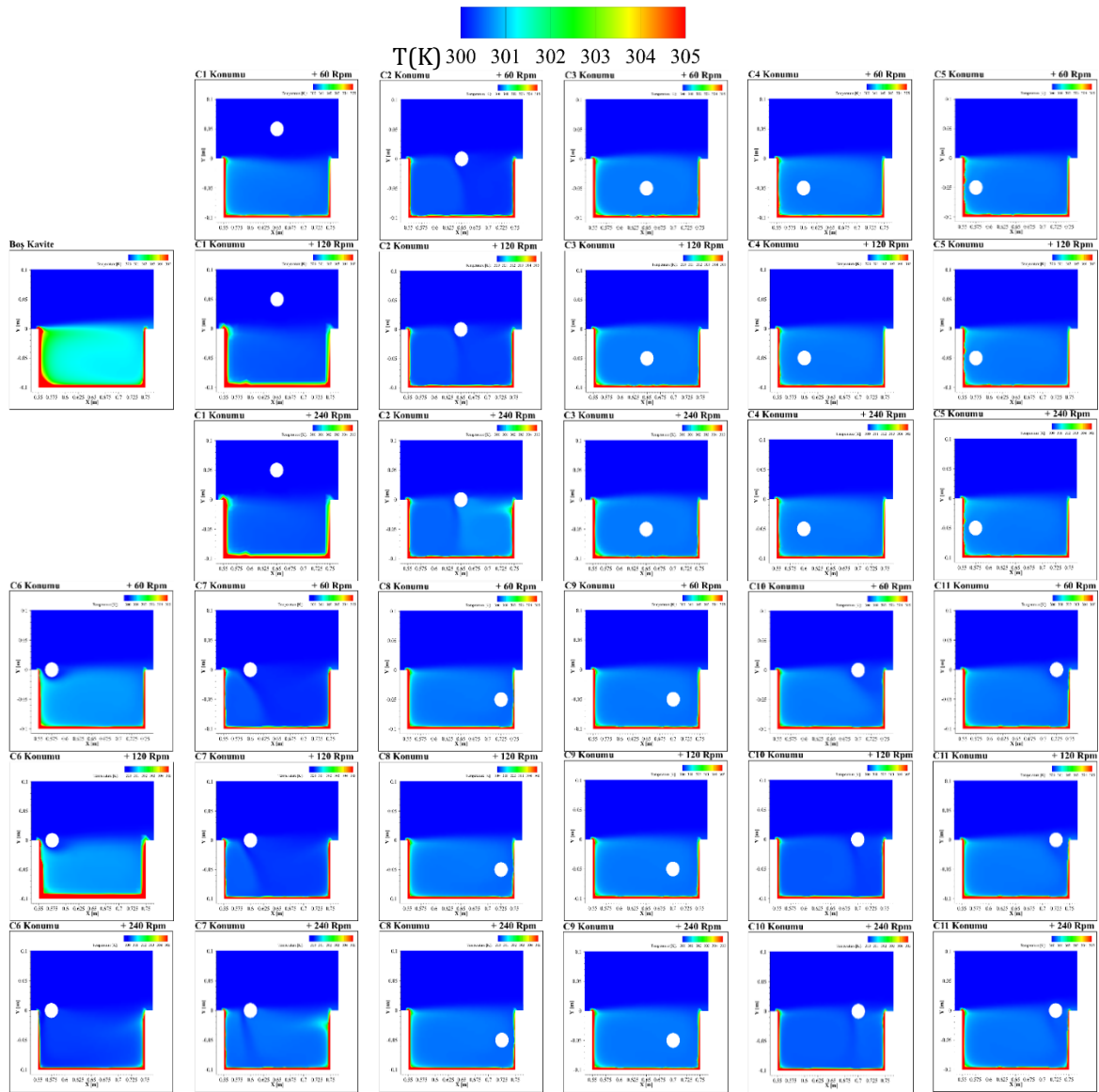


Şekil 9. Farklı silindir konumları ve saat yönünde dönme hızlarındaki girdap dağılımları (Vorticity distributions at different cylinder positions and clockwise rotation speeds)

### 3.1.2. Isı Transferi Üzerinde Etkisi (The Effect On Heat Transfer)

Silindir konumlarının, dönme hızlarına ait akış alanı içerisindeki sıcaklık dağılımları ve Nusselt sayısındaki değişimleri Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir. C1 konumunun + 120 ve + 240 rpm dönme hızlarında, + 60 rpm dönme hızına nispeten daha yüksek hızlarda girdap yapısının oluşması kavite içerisindeki yüzey sıcaklığının azalmasını sağlamıştır. Boş kavite akışında olduğu gibi tüm kavite uzunluğu boyunca zayıf girdap akışı yerine yüksek hıza sahip girdap akışının oluşması ısı transferini iyileştirmiştir. Özellikle en fazla yüzey sıcaklığında azalmanın + 120 rpm dönme hızında olduğu belirlenmiştir. C2 konumunda dönme hızı arttıkça kavite içerisindeki girdapların hız değerlerinde azalmalar gözlemlenmiş (Şekil 6) ve bu yüzden kavite ön ve arka duvarlarında oluşan girdap yapılarının hızlarındaki azalmalar ısınmış olan akışkanın kavite içerisinde dolaşmasına sebep olmuştur. Kavite arka duvarının üst köşesinde oluşan dördüncü girdap yapısı da kavitedeki yüzey sıcaklığının artmasını büyük ölçüde etkilemiştir. Şekil 10'da görüldüğü üzere C2 konumu için en iyi ısı transfer sonucu + 60 rpm dönme hızında elde edilmiştir. C3 konumunda silindirin dönme hızının artması kaviteye giren akışın azalmasına ve ısınan akışın kavitede dolaşmasına sebep olmuş ve bu durum ısı transferini olumsuz etkilemiştir. C4 ve C5 konumlarında artan dönme hızı ile silindirin arka yüzeyindeki girdap çekirdeğinin boyutunun azalması, kavite içerisindeki yüzey

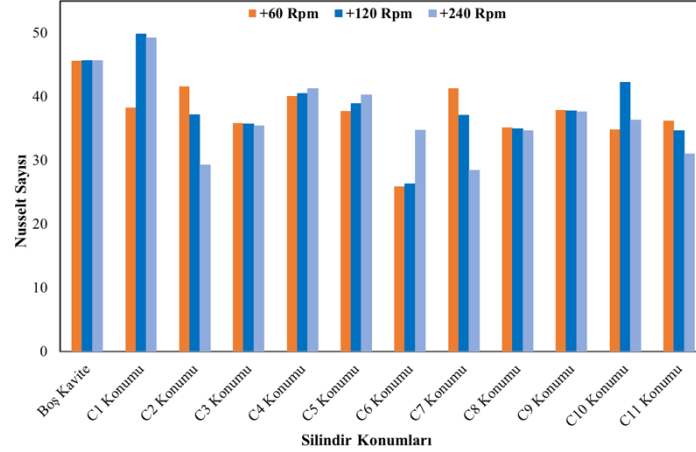
sıcaklığını azaltmış fakat boş kavite durumuna göre ısı transferinde iyileştirme sağlanamamıştır. C6 konumunda dönme hızının artması kavitedeki girdapların hız değerlerini arttırmış ve + 240 rpm’ de değişen akış yapısı ısı transferi için olumlu sonuç oluşturmuştur. C2 konumunda olduğu gibi C7 konumunda da kavitede zayıf girdaplar arasındaki indüklenmiş akış dönme hızının artmasıyla ısı transferi için olumsuz etki oluşturmuştur. Kavite arka duvarının üst köşesindeki dördüncü girdap yapısı da kavitedeki ısı geçişini azaltan diğer bir nedendir. C8 konumunda silindirin arka yüzeyinde oluşan ikinci girdabın boyutunun ve hızının artması kavite içerisindeki yüzey sıcaklığını artırarak ısı geçişini azaltmıştır. C9 konumu, C8 konumu ile kıyaslandığında girdap çekirdeğindeki azalma ve ikinci girdabın oluşmaması ısı transferinde daha iyi sonuç sağlamıştır. Ancak her iki konumda da dönme hızının artması silindir etrafındaki ısınan akış miktarını arttırdığından ısı transferinde istenilen sonuç elde edilememiştir. C10 konumunda dönme hızlarının artması kavite içerisindeki sıcaklık dağılımlarında farklı sonuçlar ortaya koymuştur. Bu durum girdap boyutları ve kavitedeki hız dağılımından kaynaklanmaktadır. + 60 ve + 240 rpm dönme hızlarında kaviteden uzaklaşmak isteyen akışın ikinci girdap ile tekrar kavite içerisine alınması ve zayıf girdap akışları ısı geçişini azaltmıştır. Şekil 11’ e incelendiğinde C10 konumunda en iyi ısı transferinin + 120 rpm’ de olduğu belirlenmiştir. C11 konumunun ısı transferinde iyileştirmenin sağlandığı dönme hızı + 60 rpm’ dir. Bu dönme hızında, kavite tabanına yakın oluşan birinci girdabın güçlü ters akış oluşturması ve silindirin alt yüzeyinde bulunan ikinci girdap yapısının boyutunun az olması akışın kavite arka duvarından daha hızlı uzaklaşmasını sağlamıştır.



Şekil 10. Farklı silindir konumları ve saat yönünde dönme hızlarındaki sıcaklık dağılımları (Temperature distributions at different cylinder positions and clockwise rotation speeds)

Şekil 11’de verilmiş olan silindir konumlarının dönme hızlarına ait Nusselt sayı değişimleri incelendiğinde, C2, C7 ve C11 silindir konumlarında dönme hızının artması ısı transferini iyileştirmemiştir. Kayma tabakası doğrultusunda bulunan bu silindir konumlarında dönme hızı arttıkça kavite içerisindeki girdap yapıları artmış

fakat ikinci girdap yapılarının boyutlarındaki artış ve kavite arka duvarında oluşan köşe girdapları ısı transferini olumsuz etkilemiştir. Silindirin dönme hızının artması kavite ön duvarına yakın noktalara yerleştirilmiş olan C4, C5 ve C6 silindir konumlarında olduğu gibi ısı transfer kalitesini artırmıştır. C4 ve C5 konumlarında dönme hızı arttıkça ısıtılmış kavite duvarlarındaki ısı transfer özellikleri ayrılmış akışın yeniden bağlanması ve yüksek hızlardaki girdap akışından büyük ölçüde etkilenmiştir. C6 konumunda dönme hızı arttıkça kavite ön duvarının üst köşesinde oluşan köşe girdabı ve kavite tabanı boyunca gelişen girdap yapısı ısı transferinin artmasında önemli etkiler sağlamıştır. Silindir konumlarının dönme hızları için elde edilen ısı transfer sonuçları boş kavite ile karşılaştırıldığında, C1 konumunun + 120 rpm ile + 240 rpm dönme hızlarında kavite içerisinde tek bir girdap yapısının oluşması ve dönme hızı arttıkça girdap boyutunun azalması ısı geçişinde % 8.49 kadar bir artış oluşturmuştur.



**Şekil 11.** Boş kavite ve silindir konumlarının saat yönünde dönme hızlarına göre Nusselt sayısının değişimleri (Variations of Nusselt number according to clockwise rotational speed of empty cavity and cylinder positions)

### 3.2. Saat Yönünün Tersine Dönme Hızlarının Akış Yapısı ve Isı Transfer Üzerindeki Etkisi (The Effect Of Counter Clockwise Rotational Speeds On Flow Structure And Heat Transfer)

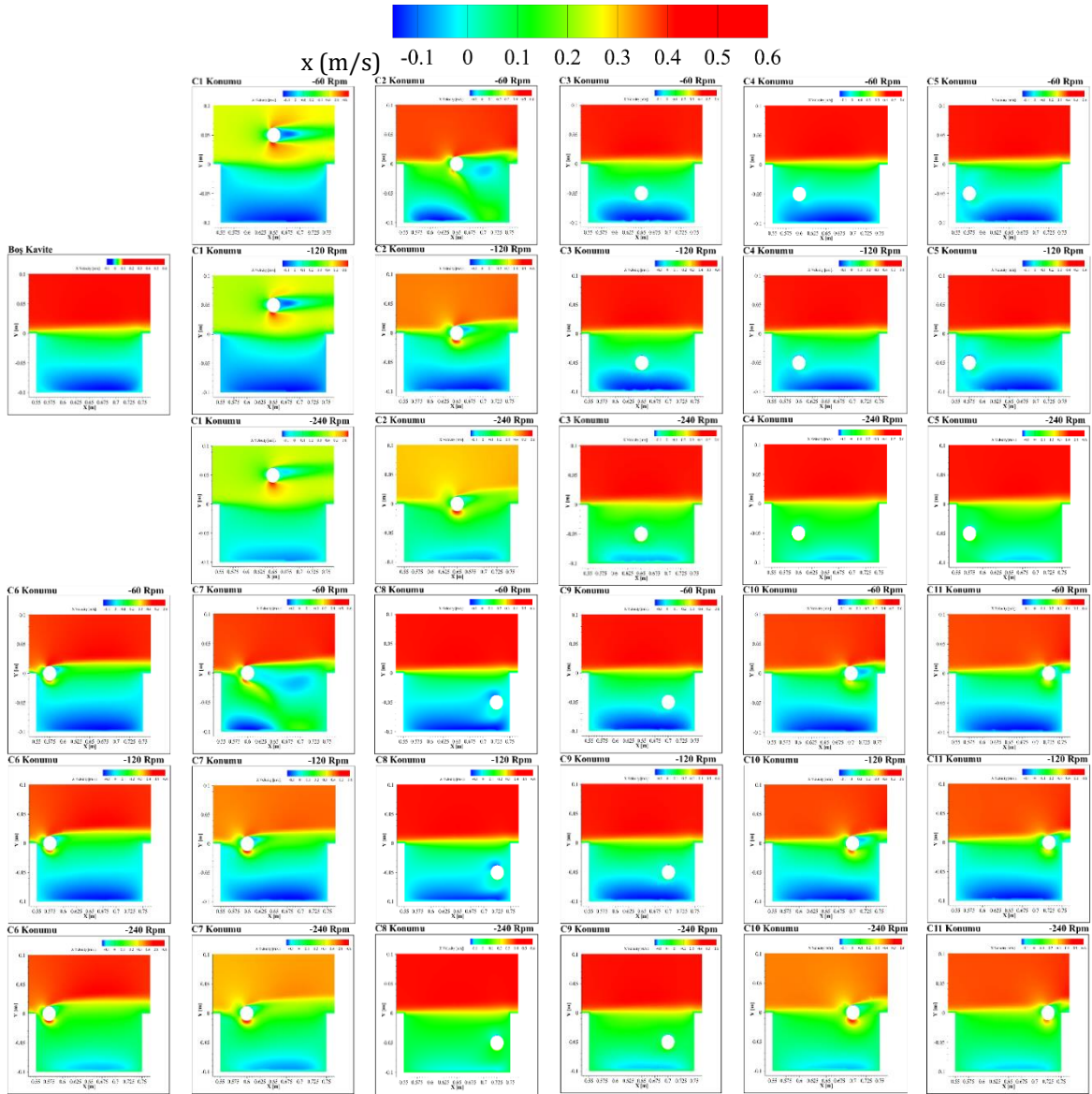
#### 3.2.1. Akış Yapısı Üzerinde Etkisi (The Effect On Flow Structure)

Silindir konumlarının dönme hızlarına ait x ve y hızı dağılımları Şekil 12 ve Şekil 13' te gösterilmiştir. C1 konumunda, kavite ön duvarından ayrılan kayma tabakasının kavite arka duvarı ile etkileşimi ters akışı meydana getirmiştir. Dönme hızı arttıkça, kavite tabanına yakın konumlarda ve silindirin alt yüzeyinde hız artışı olmuştur. C2 konumu, - 60 rpm dönme hızında kavite içerisinde iki farklı ters akış oluşturmuştur. Oluşan akış her ne kadar + 60 rpm dönme hızına benzer (Şekil 3 ve Şekil 4) olsa da - 60 rpm' de bu ters akışlar daha yüksek hızlardadır. Dönme hızı arttıkça, kavite içerisindeki iki farklı ters akışın yerine tek bir ters akış olduğu gözlemlenmiştir. C3 konumunda silindiri de içerisine alan tek bir ters akış olduğu görülse de, y hızının kavite arka duvarında yapmış olduğu negatif yöndeki hız artışı, silindirin ön ve arka yüzeylerinde iki ters akış olduğunu göstermiştir. C4 ve C5 konumları saat yönündeki dönme hızlarından farklı akış oluşturmamışlardır. x hızının kavite tabanına yakın doğrultuda yön değişimi kavite içerisinde ters akışın oluştuğunu göstermiştir. Kavite arka duvarındaki negatif y hızının silindirin ön yüzeyinde pozitif yöndeki hız değişimi ise, ters akışa ait girdap çekirdeğinin akış alanıdır. C6 konumunda silindir etrafında akış oluşmuş ve silindirin alt yüzeyinden geçen kayma tabakasının kavite arka duvarına yakın hız değişimi kavite içerisindeki birinci ters akışı göstermiştir. Silindirin üst ve alt yüzeylerindeki pozitif y hızı ile kayma tabakası doğrultusundaki negatif x hızı, ikinci ters akıştan dolayı oluşmuştur. Dönme hızı arttıkça birinci ters akış kavite arka duvarında daha keskin dönüşler yapmış ve ikinci ters akışa ait hız büyüklüklerinde azalmalar olduğu gözlemlenmiştir. C7 konumunun - 60 rpm dönme hızında kavite de bulunan iki farklı ters akış yapısının yerini - 120 ve - 240 rpm dönme hızlarında tek bir ters akış yapısı almıştır. - 120 rpm dönme hızında silindirin üst yüzeyindeki negatif x hızları kavite de oluşan ikinci ters akışı göstermektedir ve dönme hızı arttıkça bu ters akış yapısı kaybolmuştur. C8 ve C9 konumları, kavite arka duvarının önünde keskin bir dönüş yaparak kavite ön duvarına doğru ters akış oluşturmuşlardır. Dönme hızının artması C8 konumuna göre C9 konumunda kavite tabanına yakın daha yüksek hızlara sahip ters akış meydana getirmiştir.

C10 konumunda maksimum pozitif x hızı silindirin alt yüzeyinde, maksimum negatif y hızı ise silindirin ön yüzeyine yakın konumda gözlemlenmiştir. Kayma tabakası kavite arka duvarının alt köşesine doğru ilerleyerek, kavite tabanına yakın ve kavite ön duvarına kadar uzanan ters akışı meydana getirmiştir. Silindirin arka yüzeyinde oluşan negatif x hızı kavite arka duvarının üst köşesine yakın konumdaki ters akış yapılarını göstermiş ve dönme hızı arttıkça oluşan ters akış yapıları kaybolmuştur. C10 konumda kayma tabakasının kavite içerisinde oluşturduğu ters akış C11 konumuna göre daha yüksek hızlardadır. C11 konumunda maksimum pozitif x hızı silindirin alt



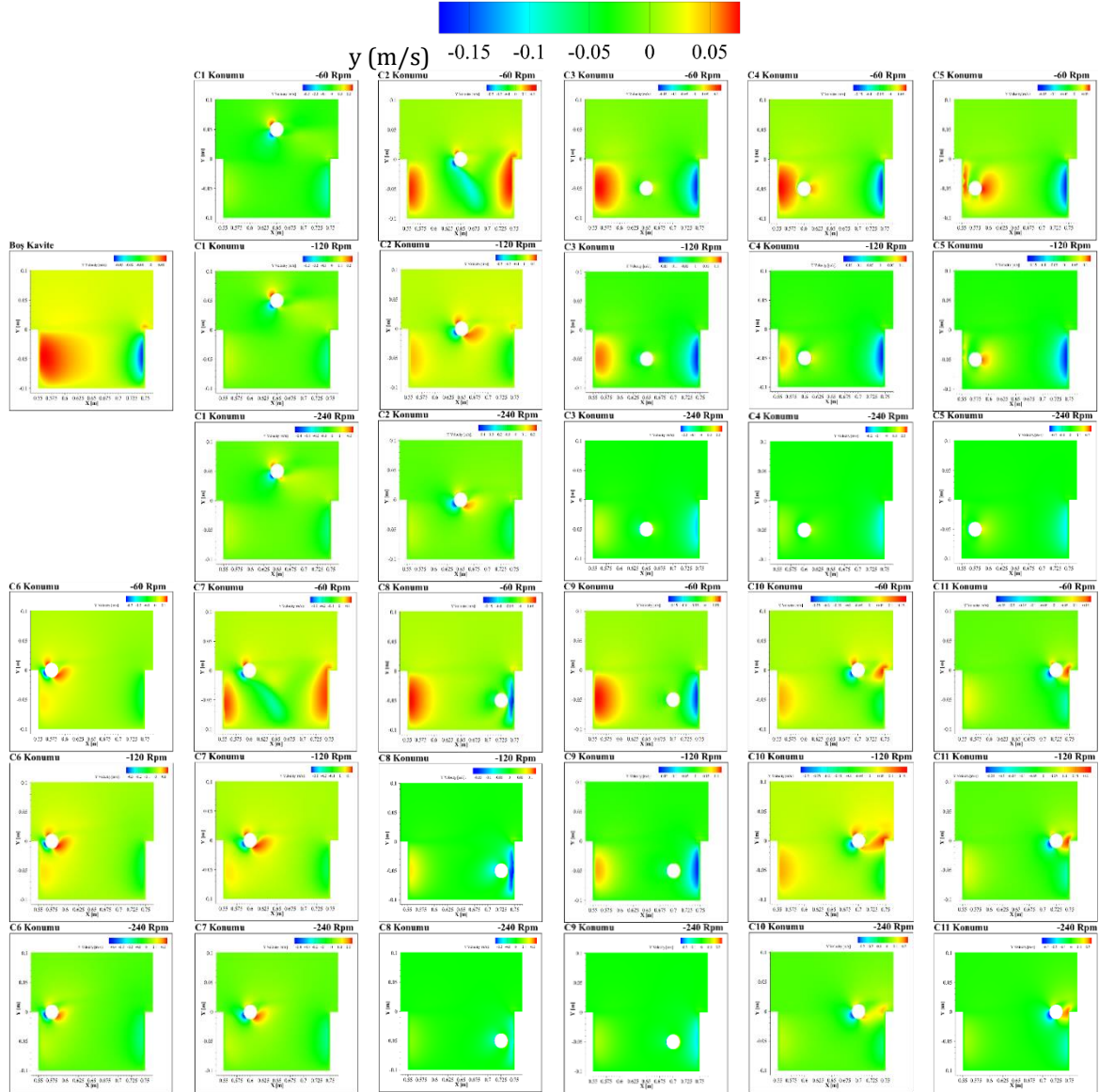
yüzeyinde, maksimum pozitif  $y$  hızı ise kavite arka duvarının üst köşesinde gözlemlenmiş ve dönme hızındaki artış bu hız büyüklüklerini artmıştır.



Şekil 12. Değişen silindir konumları ve saat yönünün tersi yöndeki dönme hızlarına göre kavite içindeki  $x$ -hızı dağılımları ( $x$ -velocity distributions in the cavity according to varying cylinder positions and counter clockwise rotational speeds)

Kavitedeki ortalama boyutsuz hız profillerinin incelenmesi için belirlenen dikey ve yatay eksenler üzerindeki konumlar Şekil 5' te gösterilmiştir. Silindir konumlarının akış yönü doğrultusunda ( $u/U_\infty$ ) ve akışa dik doğrultudaki ( $v/U_\infty$ ) ortalama boyutsuz hız bileşenlerinin gösterildiği grafikler Şekil 14 ve Şekil 15' te verilmiştir. C1 konumu her iki yöndeki dönme hızları için boş kaviteye benzer akış yapısını değiştirmemiştir fakat saat yönünün tersi yöndeki dönme hızlarında kavite içerisinde oluşan girdabın hızı ve boyutu daha fazladır. Bu durum dönme yönünün etkisine bağlı olarak silindirin alt yüzeyinden geçen akışın hızındaki artıştan kaynaklanmaktadır. C2 konumunun - 60 rpm dönme hızında  $y/D = -0.25$  ve  $y/D = 0'$  daki hız profillerine ait grafik eğrilerinin negatif ve pozitif yöndeki tepe noktaları kavite içerisinde oluşan girdap yapılarını göstermektedir. - 120 ve - 240 rpm dönme hızlarındaki grafik eğrilerinde hızın kavite içerisinde negatif yönde tek bir tepe noktası oluşturduğu gözlemlenmiştir. Her iki dönme hızında da kayma tabakası boyunca akış yönünde hız değişimi olduğunu ve kavite tabanına yakın konumda yüksek hızlarda bir ters akışın olduğu görülmüştür. - 60 rpm dönme hızında oluşan girdap akışlarının hız büyüklükleri - 120 ve -240 rpm dönme hızlarına göre oldukça fazladır. C3 konumunda dönme hızının artması kavite tabanına yakın daha zayıf girdap akışı oluşturmuştur. Ana girdap yapısına ait silindirin ön ve arka yüzeylerinde oluşan girdap merkezlerinin konumları ve boyutları dönme hızı arttıkça farklılık göstermiştir. Kavite girişine yakın konumda,  $y/D = -0.25'$  deki hız profilinin grafik eğrisinde oluşan düşey hız bileşenin tepe değeri, kavite içerisine kayma tabakası ile eklenen akışkan miktarını göstermiştir ve dönme hızı arttıkça kaviteye eklenen akış miktarı artmıştır. C4 ve C5 konumlarında  $y/D = -0.25'$  deki hız profilinde dönme hızı arttıkça yatay hız bileşeninin negatif yöndeki tepe değeri artmıştır ve bu durum silindiri de içerisine alan ana

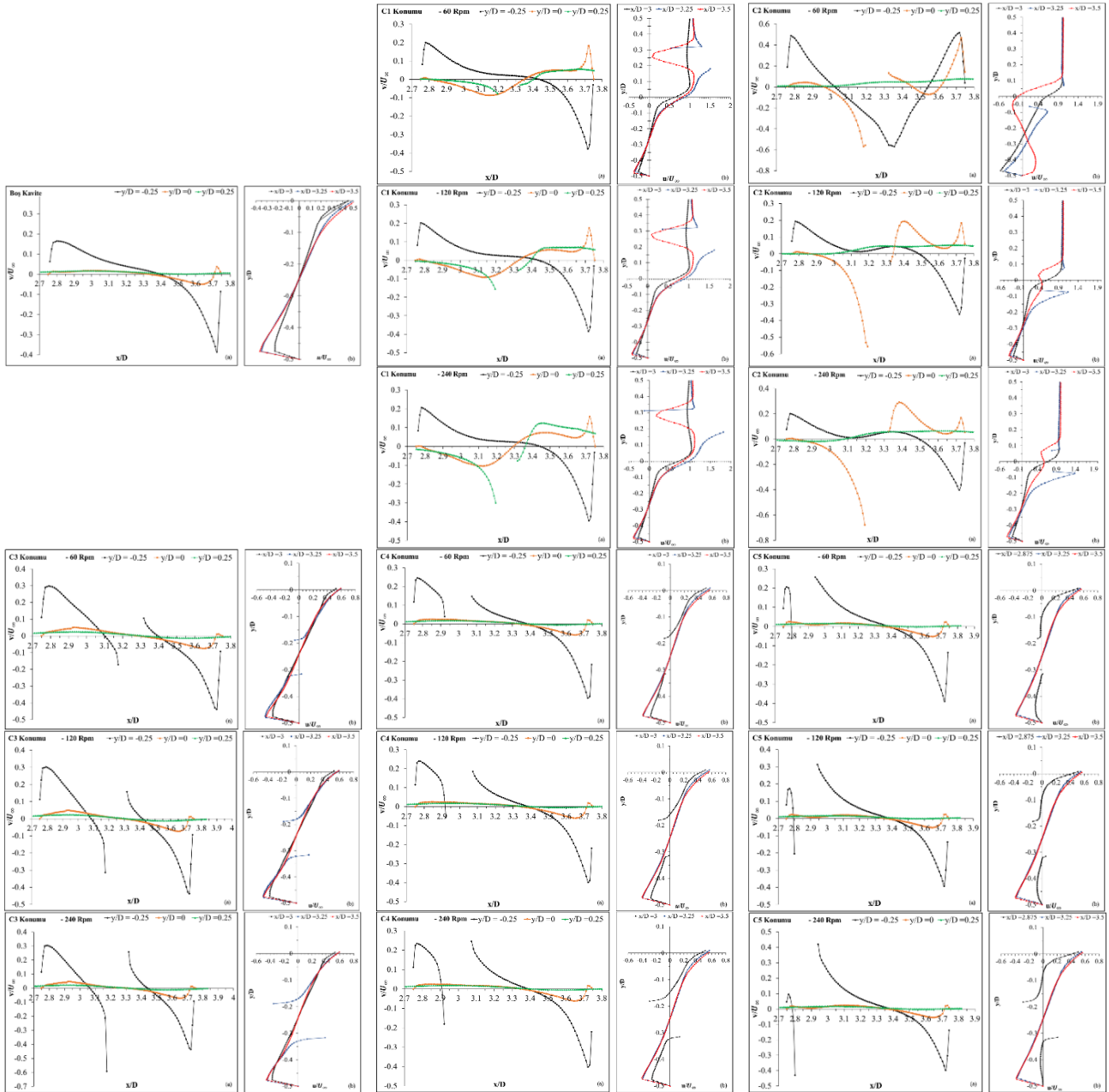
girdabın gücünün arttığını göstermiştir. Kavite ön duvarına yakın konum olan  $x/D= 2.875$ ' deki yatay hız bileşenlerinin kavite tabanında oluşturduğu ters akış silindirin dönme yönüne ve hızına bağlı olarak sürüklediği akış etkisinden dolayı azalmıştır.



**Şekil 13.** Değişen silindir konumları ve saat yönünün tersi yöndeki dönme hızlarına göre kavite içindeki y-hızı dağılımları (y-velocity distributions in the cavity according to varying cylinder positions and counter clockwise rotational speeds)

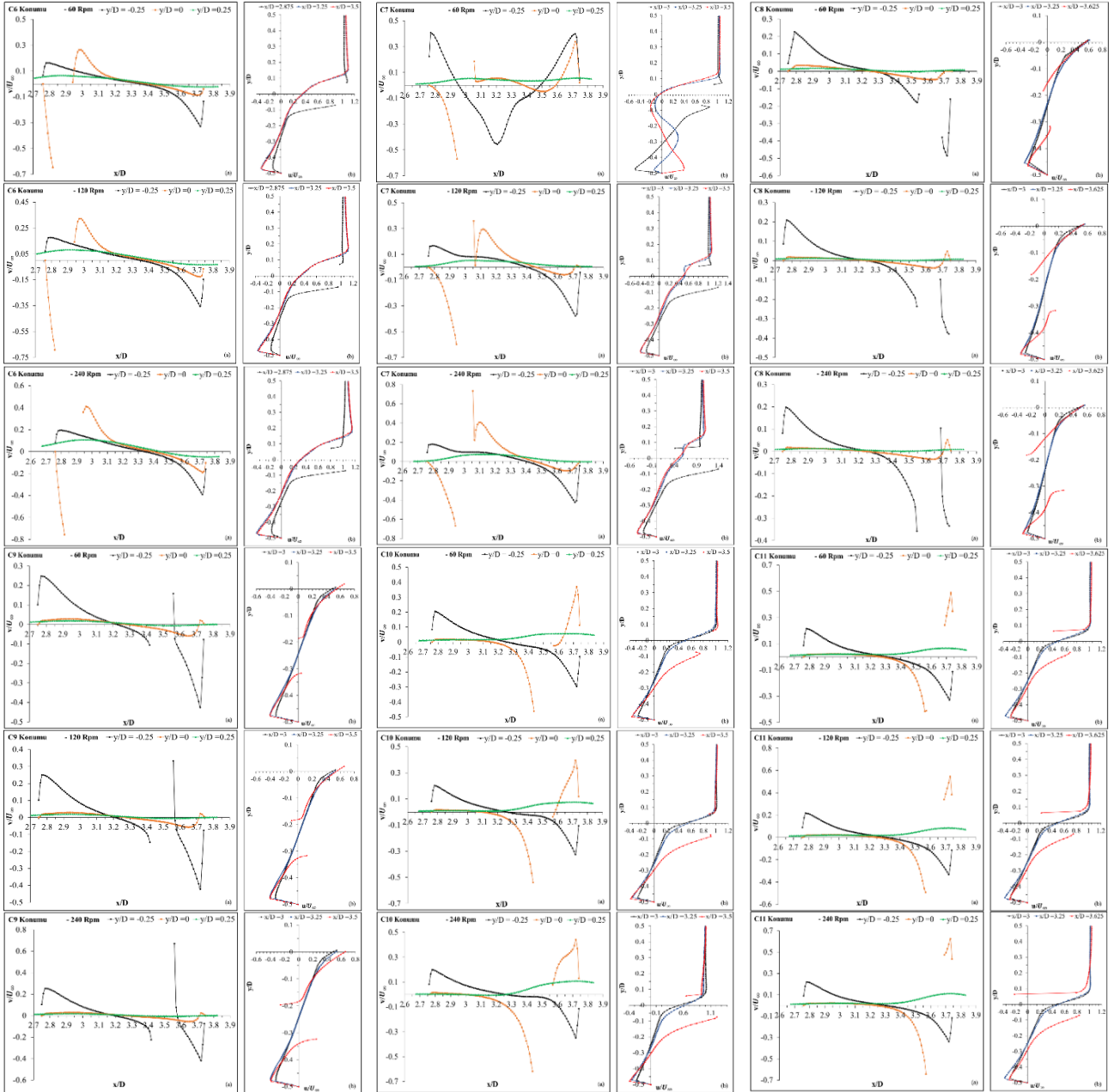
C6, C10 ve C11 konumlarında Kayma tabakası doğrultusundaki hız profiline ( $y/D = 0$ ) negatif tepe değeri bu ters akışın oluşturduğu kavite içerisindeki ana girdabı göstermektedir (Şekil 4.15). Dönme hızı arttıkça  $x/D = 3.25$  ve  $x/D = 3.5$ ' teki hız profillerinde kavite tabanına yakın konumlarda belirlenen negatif hız bileşenlerinde artış olduğu gözlemlenmiş ve bu artış kavitedeki girdap oluşumunu olumlu etkilemiştir. C7 konumunda  $x/D = 3$  ile  $x/D = 3.5$ ' deki hız profillerinin kavite tabanına yakın oluşturduğu negatif ve pozitif hızlardaki tepe değerleri, kavitede içerisindeki iki farklı yönde dönen girdap akışlarıdır (Şekil 16). - 120 ve - 240 rpm dönme hızlarında yatay ve dikey doğrultuda kavite tabanına ve kavite arka duvarına yakın konumlarda artan negatif yöndeki hızlar kavite içerisindeki girdap akışının değiştiğini ve sadece tek bir girdap akışı oluştuğunu göstermiştir. Dönme hızlarındaki artış bu girdabın hız büyüklüğünün artmasında etkili olmuştur. C8 ve C9 konumlarının  $y/D = - 0.25$ ' deki hız profillerinde kavite arka duvarına yakın negatif hızdaki tepe değeri kavite uzunluğu boyunca oluşan ana girdabın hızını göstermiştir. Dönme hızı arttıkça C9 konumunda girdabın hızı ve boyutu azalırken C8 konumunda sadece girdabın hızında azalma meydana gelmiştir. Silindir konumlarının dönme hızlarına ait zaman ortalamalı akış hızlarını gösteren akım çizgileri Şekil 14' de sunulmuştur. Görüldüğü gibi C1 konumu saat yönündeki dönme hızlarına (Şekil 8) ve boş kavite durumuna benzer akış yapısı oluşturmuş ve tüm kavite uzunluğu boyunca saat yönünde tek bir girdap akışı hakimdir. Dönme yönüne bağlı olarak silindirin alt yüzeyinden geçen akış ile kayma tabakası silindir varlığından belirgin şekilde etkilenmiş ve bu bölgedeki akış alanında hız artışı gözlemlenmiştir.

C2 konumunun - 60 rpm dönme hızında, akım çizgilerinin tüm kaviteyi dolduran ve birbiri tersi yönde dönen üç döne yapıyı oluşturduğu görülmektedir.



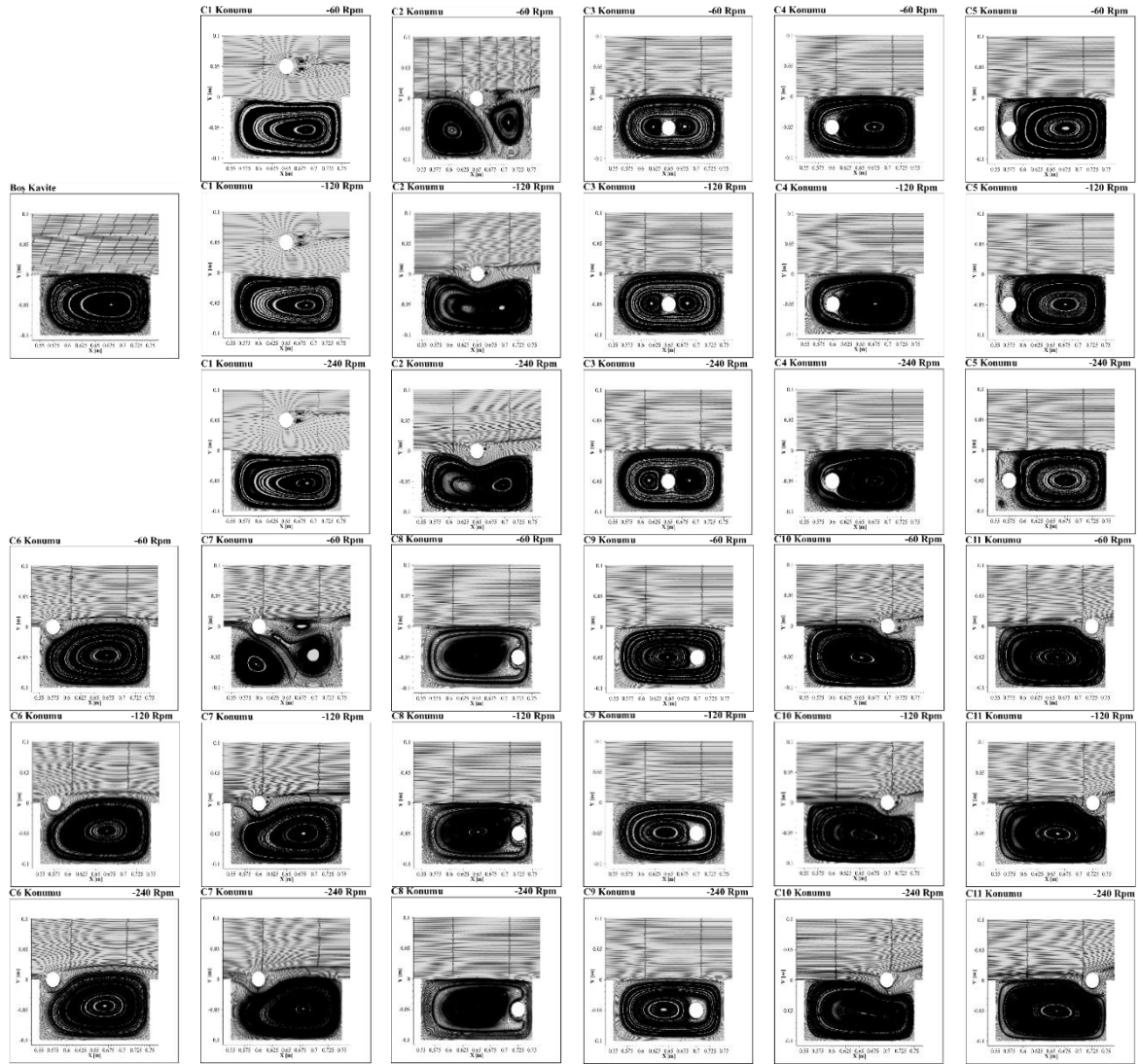
**Şekil 14.** C1, C2, C3, C4 ve C5 konumlarının boyutsuz hız profilleri, a) Yatay eksen üzerindeki boyutsuz hız profili, b) Dikey eksen üzerindeki boyutsuz hız profili (The non-dimensional velocity profiles of C1, C2, C3, C4 and C5 positions, a) The non-dimensional velocity profiles on horizontal axis b) The non-dimensional velocity profiles on vertical axis)

Birinci ve ikinci girdaplar kayma tabakasına ait girdap yapılarıdır ve birinci girdap saat yönünde, ikinci girdap ise saat yönünün tersi yönde dönmektedir. Silindirin arka yüzeyinde saat yönünde dönen üçüncü girdap yapısı ikinci girdap tarafından oluşturulmuştur. Dönme hızının artması kavitedeki akışı değiştirerek sadece ana girdap akışının oluşmasında etkili olmuştur. - 120 rpm dönme hızında silindirin alt yüzeyinden geçen akış alanının hızlanması, ana girdap yapısını kavite orta düzlemi doğrultusunda baskılamış ve dönme hızı - 240 rpm'e artırıldığında bu baskılama kavite içerisine doğru daha çok artmıştır. C3 konumunda - 60 rpm, - 120 rpm ve - 240 rpm dönme hızlarında, kavite arka duvarı ile etkileşen kayma tabakası, saat yönünde dönen ana girdap yapısını meydana getirmiştir. Ana girdap yapısının en önemli özelliği silindirin ön ve arka yüzeylerinde oluşturduğu girdap merkezleridir ve dönme hızı arttıkça bu girdap merkezlerinin boyutları artmaktadır. Artan dönme hızları C4 ve C5 konumlarında, silindirin arka yüzeyinde oluşan girdap çekirdeklerinin boyutlarını arttırmıştır.



**Şekil 15.** C6, C7, C8, C9, C10 ve C11 konumlarının boyutsuz hız profilleri, a) Yatay eksen üzerindeki boyutsuz hız profili, b) Dikey eksen üzerindeki boyutsuz hız profili (The non-dimensional velocity profiles of C6, C7, C8, C9, C10 and C11 positions, a) The non-dimensional velocity profiles on horizontal axis b) The non-dimensional velocity profiles on vertical axis)

C5 konumunun kavite ön duvarına C4 konumuna nispeten daha yakın olması silindir ile duvar arasındaki alanı daralmış ve dönme hızının artmasıyla bu alandan silindirin arkasına sürüklenen akışın hızı artmıştır. Sürüklenen yüksek hızlı akış ile ana girdap yapısı arasındaki indüklenmiş akış alanı kavite ön duvarının alt köşesinde saat yönünün tersi yönde dönen köşe girdabını oluşturmuştur. Dönme hızındaki artış ile orantılı olarak bu köşe girdabı boyutunu arttırmaktadır. C6, C10 ve C11 konumları, tüm dönme hızlarında birbirlerine benzer şekilde akış oluşturmuşlardır. Bu konumlarda dönme hızı - 240 rpm'e yükseldikçe silindirin alt yüzeyinden geçen akışın hızı artmış ve saat yönünde dönen ana girdap yapısının üzerinde baskılanmış bir akış alanı oluşturmuştur. C6 ve C10 konumlarının silindirin arka yüzeyinde oluşturduğu küçük girdap akışlarına kayma tabakasındaki hız artışına bağlı olarak - 240 rpm dönme hızında rastlanmamıştır. C7 konumunda, - 60 rpm dönme hızı kavite içerisinde farklı olgunluğa sahip pek çok dönele yapı oluşturmuştur. Dönme hızının artması silindirin alt yüzeyinden geçen kayma tabakasının akış enerjisini artmıştır ve kavite arka duvarı ile etkileşimi sonucunda oluşan ters akış (Şekil 12 ve Şekil 13) tüm kaviteyi kaplayan sadece ana girdap yapısının oluşmasına olanak sağlamıştır. C8 ve C9 konumları, C4 ve C5 konumlarına benzer özelliklerde akış meydana getirmiş ve dönme hızının artması bu konumlarda da girdap çekirdeğinin boyutunun artmasında etkili olmuştur. C5 konumunda oluşan köşe girdabı, C8 konumunda silindirin arka yüzeyi ile kavite arka duvarı arasındaki bölgede saat yönünde dönen küçük girdap yapısı olarak oluşmuştur

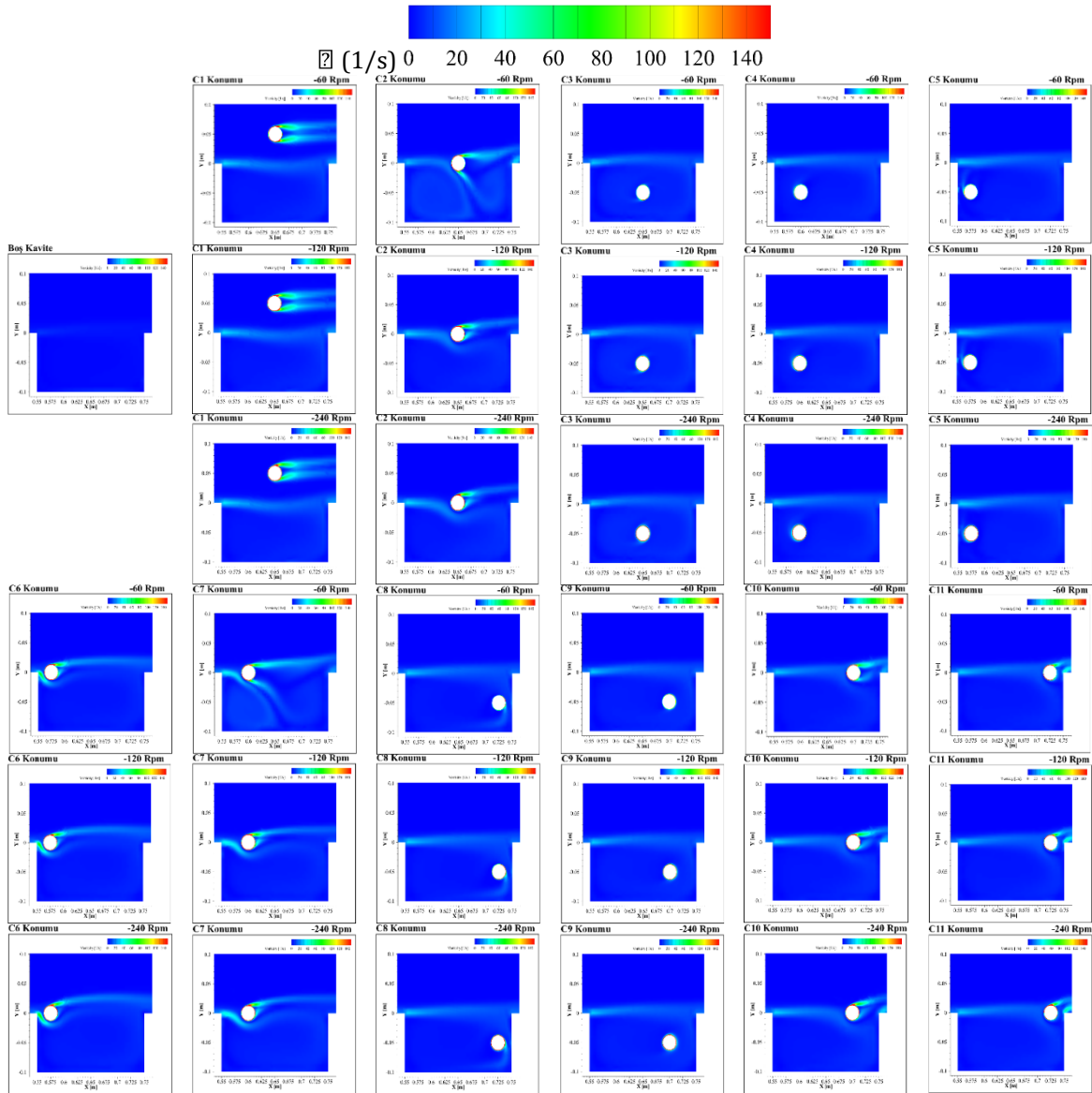


**Şekil 16.** Silindir konumlarının saat yönünün tersi yöndeki dönme hızlarındaki zaman ortalamalı akım çizgileri (Time-averaged streamlines at counter clockwise rotational speeds of cylinder positions)

Şekil 17, silindir konumlarının farklı dönme hızlarında kavite oluşturduğu girdap dağılımlarını göstermektedir. C1, C2 ve C3 konumlarının, yüksek düzeyde girdap oluşumlarının kavite ön duvarındaki akış ayrılmasında ve silindir etrafındaki akış alanında oluşturduğu belirlenmiştir. C1 konumunda dönme hızının artması kavite ön duvarından ayrılan akışın girdap seviyesini arttırmıştır. Silindirin etrafında oluşan akışın girdap seviyesi, kayma tabakasına nispeten daha fazladır. C2 konumunun - 60 rpm dönme hızında kavite arka duvarının ve silindirin varlığı kavite içerisinde yüksek seviyede girdap üretimi sağlamıştır. Kararsız kayma tabakası, silindirin alt yüzeyine temas ederek kavite tabanına doğru oluşturduğu güçlü dalgalanmalar kavite içerisindeki akışı oldukça türbülanslı hale getirmiştir. Kavite ön duvarı, silindirin arka yüzeyi ve kavite arka duvarının üst köşesinde girdap üretimi gözlemlenmiştir.

- 120 rpm ve - 240 rpm dönme hızlarında kayma tabakasındaki kararsızlıklar kavite arka duvarına doğru ilerlemiştir fakat - 60 rpm dönme hızında olduğu gibi kavite içerisinde yüksek türbülanslı akış oluşturmamıştır. C4 ve C5 konumlarında, dönme hızının artması kayma tabakası ve silindir ile kavite ön duvarı arasındaki bölgede girdap seviyesinin artışı sağlamıştır. C5 konumunun kavite ön duvarına yakın olması C4 konumuna göre bu bölgede daha fazla girdap yoğunluğu meydana getirmiştir. C6 ve C7 konumlarında, kayma tabakası ile silindir arasındaki etkileşim kavite ön duvarının üst köşesinde ve silindirin üst yüzeyinde girdap yoğunluğunu artmıştır. C7 konumunun - 60 rpm dönme hızında kayma tabakasının kavite tabanına doğru oluşturduğu güçlü salınımlar ve kavite içerisindeki türbülanslı akış yapısı C2 konumuna benzer girdap üretimi oluşturmuştur. C8 ve C9 konumlarında girdap üretimleri kayma tabakası ve silindir etrafında gözlemlenmiştir. C8 konumunun kavite arka duvarına yakın olması ve silindirin arkasına sürüklenen akıştaki hız artışı bu bölgedeki girdap yoğunluğu arttırmıştır. Fakat C9 konumunda aynı bölge için girdap üretimi gözlemlenmemiştir. C10 konumunun - 240 rpm dönme hızında diğer dönme hızlarından farklı olarak kayma tabakasındaki salınımlar kavite arka duvarının üst köşesine kadar ilerlemiş ve silindirin alt yüzeyinde girdap oluşumu devam etmiştir. C11 konumunda en belirgin

girdap dağılımı, silindirin alt yüzeyinden sürüklenen akışın kavite arka duvarına çarpmasına bağlı olarak kavite arka duvarının üst köşesinde görülmüştür. Çarpmanın etkisiyle bu bölgedeki türbülans seviyesi artırmış ve yoğunlaşmış girdap bölgesi oluşmuştur.

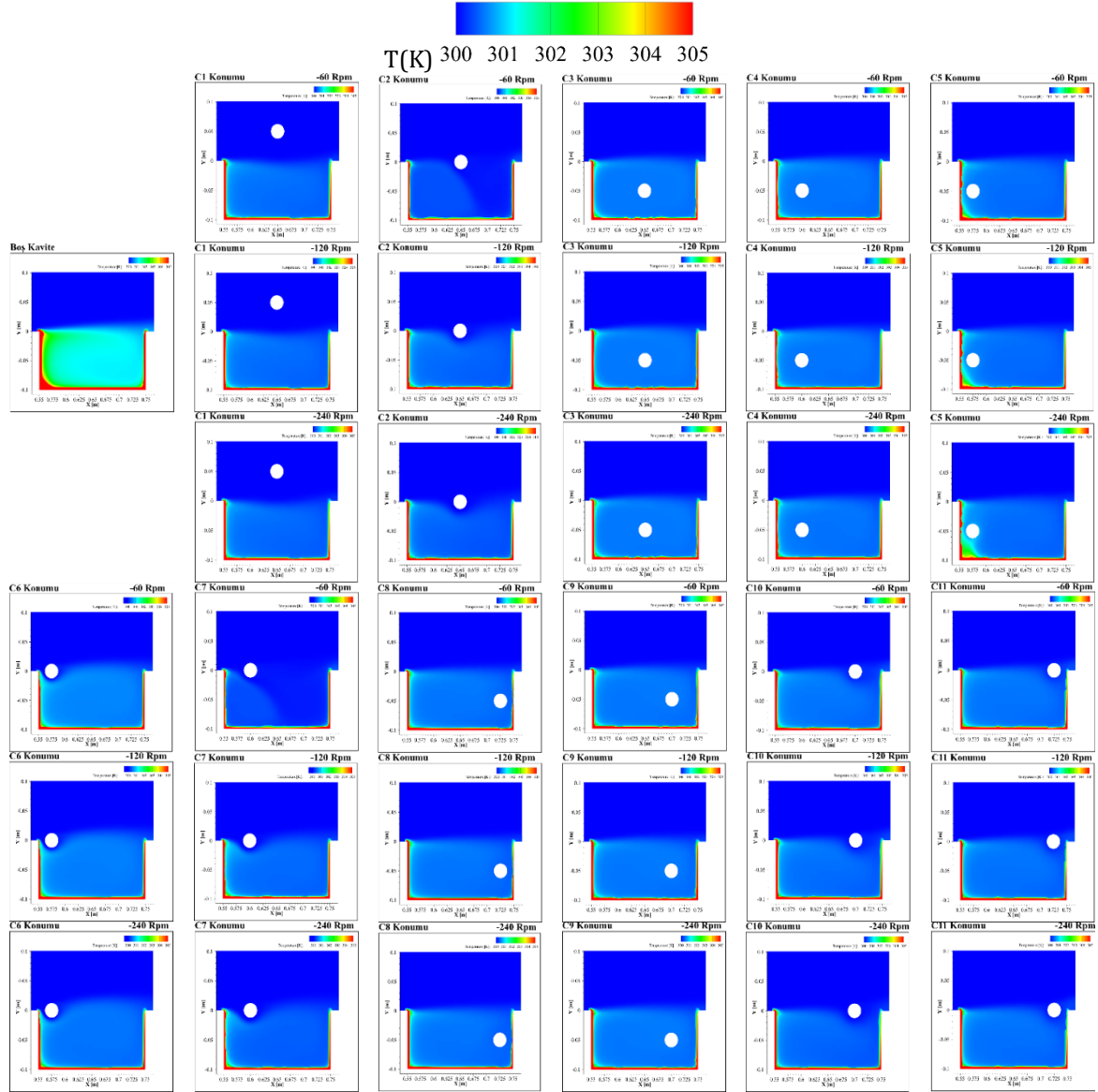


Şekil 17. Silindir konumlarının saat yönünün tersi yönde dönme hızlarındaki girdap dağılımları (Vorticity distributions at counter clockwise rotational speeds of cylinder positions)

### 3.2.2. Isı Transferi Üzerinde Etkisi (The Effect On Heat Transfer)

Silindir konumlarının farklı dönme hızlarında sabit ısı akısı uygulanmış olan kavite duvarlarındaki sıcaklık dağılımları ve ısı transfer üzerindeki etkilerini gösteren Nusselt sayı değişimleri Şekil 18 ve Şekil 19' da gösterilmiştir. C1 konumunda, dönme hızı arttıkça silindirin alt yüzeyine daha fazla akışın yönlendirilmesi ve tüm kaviteyi kaplayan ana girdap yapısının hızının artması kavite içerisindeki yüzey sıcaklığını azaltarak ısı geçişini arttırmıştır. Saat yönünün tersi yöndeki dönme hızlarında oluşan ana girdap boyutunun, boş kavite ve saat yönündeki dönme hızlarında oluşan girdap boyutlarına göre daha fazla olması ısı transferinde olumsuz etki sağlamıştır (Şekil 11 ve Şekil 19). C2 ve C7 konumlarının - 60 rpm dönme hızlarında kavite arka duvarının önünde ve silindirin arka yüzeyinde oluşturdukları yüksek enerjili girdap yapıları, ısınan akışın kavite içerisinden uzaklaşmasında etkili olmuştur. Bu yüzden her iki konumun - 60 rpm dönme hızlarında - 120 ve - 240 rpm dönme hızlarına nispeten daha yüksek ısı transfer sonuçları elde edilmiştir (Şekil 19). C2 ve C7 konumlarının saat yönündeki dönme hızlarında - 60 rpm dönme hızında olduğu gibi ısı transferinde iyileştirme sağlanamamıştır (Şekil 11). Bu durum silindirin dönme yönüne ve kavitedeki girdap akışlarının sahip olduğu hız büyüklüklerinden kaynaklanmaktadır. C3 konumunda dönme hızı arttıkça silindirin ön ve arka yüzeylerindeki girdap çekirdeklerinin boyutu ve kavite içerisine kayma tabakası ile eklenen akışın miktarı artmıştır. Ana girdap yapısının içerisinde aynı yönde dönen iki girdap çekirdeğinin bulunması kavitedeki yüzey sıcaklığını azaltarak, ısı geçişini arttırmıştır. C4

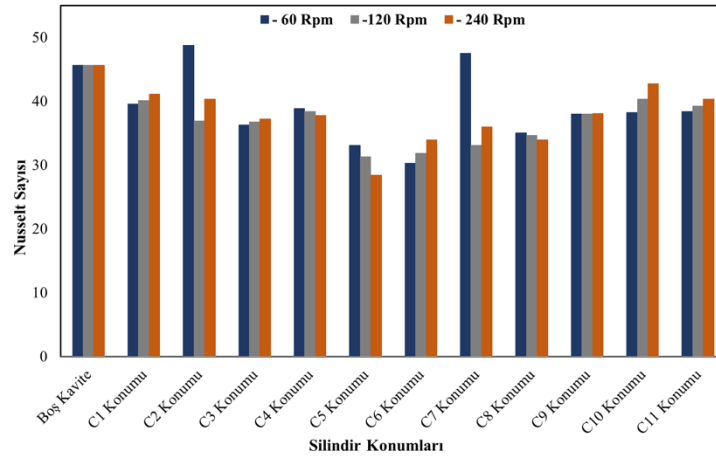
ve C5 konumlarında, kavite ön duvarı ile silindirin ön yüzü arasındaki ısınan akışın, dönme hızı arttıkça silindirin alt yüzüne doğru yönlendirilmesi kavite içerisindeki sıcaklık farkını artırarak, ısı transfer kalitesini azaltmıştır. Her iki konumda da yüksek hızlarda girdap akışları oluşmasına rağmen C5 konumunun kavite ön duvarına daha yakın olması ve kavite ön duvarının alt köşesinde oluşturduğu köşe girdabı bu konum için ısı geçişini daha fazla azaltmıştır.



**Şekil 18.** Silindir konumlarının saat yönünün tersi yöndeki dönme hızlarındaki sıcaklık dağılımları  
(Temperature distributions at counter clockwise rotational speeds of cylinder positions)

C6, C10 ve C11 konumları benzer akış yapıları oluşturan konumlar olmasına rağmen C10 konumunda diğer konumlara nispeten daha iyi ısı geçişi elde edilmiştir. Bu durum C10 konumunun kavite arka duvarına yakın olmasından dolayı kavite dışına aktarılan sıcak akışkan kütlelerinin artmasından kaynaklanmıştır. C8 ve C9 konumlarında, tüm kaviteyi dolduran zayıf girdap akışı mevcuttur ve ısınan akışın silindirin etrafında oluşturduğu akış alanı kavite içerisindeki yüzey sıcaklığını arttırmıştır. C9 konumunda silindirin arka yüzü ile kavite arka duvarı arasındaki bölgede oluşan girdabın, girdap çekirdeği içerisindeki ısınan akışı tekrar kavite içerisine sürüklemesi C8 konumuna göre ısı transferini daha fazla azaltmıştır.

Nusselt sayı değişimlerinin gösterildiği Şekil 19' da boş kaviteye nispeten en yüksek ısı geçişi C2 ve C7 konumlarının - 60 rpm dönme hızlarında elde edilmiştir. Bu konumlar ısı transfer özelliklerinin ayrılmış akışın yeniden bağlanmasından ve girdap akışından büyük ölçüde etkilendiği göstermiştir.



**Şekil 19.** Boş kavite ve silindir konumlarının saat yönünün tersi yöndeki dönme hızlarına göre Nusselt sayısının değişimleri (Variations of Nusselt number according to counter clockwise rotational speed of empty cavity and cylinder positions)

#### 4. Sonuç ve Tartışma (Results And Discussion)

Yüzeylerine sabit ısı akısı ( $\dot{q}=10000 \text{ W/m}^2$ ) uygulanmış olan açık kavite içerisinde farklı konumlara yerleştirilen ve bu konumlarda dönme hızı tanımlanan adyabatik silindirin akış yapısı ve ısı transfer üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Açık kavitenin  $D/L$  oranı 2' dir ve silindir çapı ile tanımlanan Reynolds sayısı 10000 olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları; ısıtılmış kavite yüzeylerine temas eden ve tüm kavite uzunluğu boyunca oluşan girdap yapılarının boyutları ve kavite içerisindeki resirkülasyon bölgelerinin doğru konumlanmasının ısı transferini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. C1 konumunda saat yönünde dönme hızı arttıkça, ana girdap yapısının boyutu azalmış ve silindirin alt yüzeyinden geçen akış miktarı artmıştır. Boş kavite ve saat yönünün tersi yöndeki dönme hızlarına nispeten girdap boyutundaki bu azalma en yüksek ısı transfer ile sonuçlanmıştır. C2 ve C7 konumlarında diğer dönme hızlarına ve boş kavite durumuna göre akış enerjisi yüksek girdap oluşumu – 60 rpm dönme hızında oluşmuştur. Bu dönme hızında yüksek enerjili girdap yapıları ve kavite arka duvarından kanala aktarılmak istenilen ısı akışı engellemeyecek boyutta girdap yapısının oluşması ısı transferini arttırmıştır.

#### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından OKÜBAP-2019-PT3-022 nolu proje kapsamında 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)

- Ahuja K., Mendoza, J. 1995. Effects of cavity dimensions, boundary layer, and temperature on cavity noise with emphasis on benchmark data to validate computational aeroacoustic codes.
- Bhatti, A., Aung W., 1984. Finite Difference Analysis of Laminar Separated Forced Convection in Cavities, Journal of Heat Transfer, 106(1), 49-54.
- Billah, M.M., Rahman, M.M., Sharif, U.M., Rahim, N.A., Saidur, R., Hasanuzzaman, M., 2011. Numerical Analysis of Fluid Flow Due to Mixed Convection in a Lid-Driven Cavity Having a Heated Circular Hollow Cylinder, International Communications in Heat and Mass Transfer, 38(8), 1093-1103.
- Çengel Y., Cimbala J.M., 2008. Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, İzmir Güven Kitabevi, İzmir Rockwell, D., Naudascher, E., 1978. Review Self Sustaining Oscillations of Flow Past Cavities, Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME, 100(2), 152-65.
- Doğan, F.B., 2014. Eş merkezli dönen iki silindir arasında oluşan Taylor ve Von Karman vortekslerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 110.
- Franke, M.E., Carr D.L., 1975. Effect of Geometry on Open Cavity Flow-Induced Pressure Oscillations, 2nd Aeroacoustics Conference, 492.
- Kumar, A., Dhiman, A.K., 2012. Effect of a Circular Cylinder on Separated Forced Convection at a Backward-Facing Step, International Journal of Thermal Sciences, 52(1),176-85.
- Laouira, H., Mebarek-Oudina, F., Hussein, A.K., Kolsi, L., Merah, A., Obai, Y., 2020. Heat Transfer inside a Horizontal Channel with an Open Trapezoidal Enclosure Subjected to a Heat Source of Different Lengths, Heat Transfer - Asian Research, 49(1), 406-23.



- Madi, A.F., Mataoui, A., Bouahmed, Z., 2011. Influence of Upstream Flow Characteristics on the Reattachment Phenomenon in Shallow Cavities, *Thermal Science*, 15(3) 721-34.
- Manovski, P., Giacobello, M., Soria, J., 2007. Particle Image Velocimetry Measurements over an Aerodynamically Open Two-Dimensional Cavity, in *Proceedings of the 16th Australasian Fluid Mechanics Conference*, 16AFMC, 677-83.
- Mesalhy, O.M., Abdel Aziz, S.S., El-Sayed, M.M., 2010. Flow and Heat Transfer over Shallow Cavities, *International Journal of Thermal Sciences*, 49(3), 514-21.
- Richards, R.F., Young, M.F., Haiad, J.C., 1987. Turbulent Forced Convection Heat Transfer from a Bottom Heated Open Surface Cavity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 30(11), 2281-87.
- Sarohia, V., Massier, P.F., 1977. Control of Cavity Noise, *Journal of Aircraft*, 14(9), 833-37.
- Selimefendigil, F., Öztop, H.F., 2014. Numerical Study and Identification of Cooling of Heated Blocks in Pulsating Channel Flow with a Rotating Cylinder, *International Journal of Thermal Sciences*, 79, 132-45.
- Suponitsky, V., Avital, E., Gaster, M., 2005. On Three-Dimensionality and Control of Incompressible Cavity Flow, *Physics of Fluids*, 17(10).
- Şimşek, O., (2020). Üstten Akışlı Kapak Akımının Sayısal Modellemesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(3), 808-819.
- Şimşek, O., Gümüş, V., Özlük, A., (2021). Şaşırtmalı Mahmuzların Üç Boyutlu Sayısal Analizi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(1), 187-198
- Ukeiley, L., Murray, N., 2005. Velocity and Surface Pressure Measurements in an Open Cavity, *Experiments in Fluids*, 38(5), 656-71.
- Zdanski, P.S.B., Ortega, M.A., Nide, G.C.R., Fico, Jr., 2006. On the Flow over Cavities of Large Aspect Ratio: A Physical Analysis, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33(4), 458-66.



## VEKTÖR KONTROLLÜ SÜRÜCÜLER İÇİN ASENKRON MOTOR EŞDEĞER DEVRE PARAMETRELERİNİN ÜRETİCİ VERİ FÖYLERİNDEN KESTİRİLMESİ

Mehmet Onur GÜLBAHÇE<sup>1,2\*</sup>, Muhammed Emin KARAASLAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

| Anahtar Kelimeler  | Öz  |
|--|---|
| <i>Eşdeğer Devre, Asenkron Motorlar, Parametre Tahmini, Newton-Raphson Yöntemi, Vektör Kontrolü.</i> | Son yıllarda meydana gelen endüstriyel gelişmeler gerek endüstriyel gerekse ev tipi uygulamalarda kullanılan asenkron motorların geniş bir hız aralığında kontrol edilebilmesini zorunlu kılmıştır. Vektör kontrolü algoritmaları sayesinde hız ve moment kontrolünün geniş aralıkta yüksek başarımlı bir şekilde yapılabilmesi için asenkron motorun eşdeğer devre parametrelerinin yüksek doğrulukla bilinmesi gerekir. Bu çalışmada sadece üreticilerin veri föylerinde paylaşılmış olduğu kısıtlı bilgiler ile asenkron motorun eşdeğer devre parametrelerinin tahmini gerçekleştirilmiştir. Tahmin yöntemi asenkron motorun eşdeğer devresinden türetilen doğrusal olmayan denklemlerin Newton-Raphson yöntemi ile çözülmesi ilkesine dayanmaktadır. Önerilen denklemler Newton-Raphson yöntemi ve çözüm algoritması 20 farklı asenkron motor için test edilmiş ve deneysel olarak elde edilen eşdeğer devre parametreleri ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Dahası seçilen 4 farklı motor için deneysel olarak elde edilen hız-moment karakteristiği ve kestirilen parametreler ile hesaplanan hız-moment karakteristiği verilerek önerilen algoritmanın başarımlı irdelenmiştir. |

## ESTIMATION OF INDUCTION MOTOR EQUIVALENT CIRCUIT PARAMETERS FOR VECTOR CONTROLLED DRIVES FROM MANUFACTURER DATASHEET

| Keywords  | Abstract   |
|---|--|
| <i>Equivalent Circuit, Induction Motors, Parameter Estimation, Newton-Raphson Method, Vector Control.</i> | In recent years, industrial developments have made it necessary to control induction motors used in both industrial and household applications in a wide-speed range. Thanks to vector control algorithms, in order to control the torque in a wide speed range operations with high performance, the equivalent circuit parameters of induction motor have to be known precisely. In this study, the estimation of the equivalent circuit parameters of the induction motor is implemented only with the limited information shared by the manufacturer's datasheets. The estimation method is based on the principle of solving nonlinear equations derived from the equivalent circuit of an induction motor by Newton-Raphson method. The proposed equation set and solution algorithm have been tested for 20 different induction motors and presented in comparison with the experimentally obtained equivalent circuit parameters. Moreover, the speed-torque characteristics obtained experimentally and calculated from estimated equivalent circuit parameters for 4 different selected motors are compared and the performance of the proposed algorithm is examined. |

### Alıntı / Cite

Gülbahçe, M.O., Karaaslan, M.E., (2021). Vektör Kontrollü Sürücüler İçin Asenkron Motor Eşdeğer Devre Parametrelerinin Üretici Veri Föylerinden Kestirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4),1372-1385.

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

M. O. Gülbahçe, 0000-0002-6689-8445  
M. E. Karaaslan, 0000-0002-2542-1704

### Makale Süreci / Article Process

|   |            |
|---|------------|
| <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 16.06.2021 |
| <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 06.07.2021 |
| <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 16.07.2021 |
| <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

\* İlgili yazar / Corresponding author: mogulbahce@fsm.edu.tr, 0537-213-79-60

## 1. Giriş (Introduction)

Basit yapıları, düşük maliyetleri ve daha az bakıma ihtiyaç duymaları gibi sebeplerle asenkron motorlar gerek endüstriyel gerekse basit ev tipi tahrik uygulamalarının vazgeçilmezleri arasındadır. Son yıllarda imalat, ulaşım ve süreç endüstrisindeki gelişmeler tahrik sistemleri için en uygun çalışma hızında artışı beraberinde getirmiş ve geniş bir hız aralığında kontrol edilebilirliğini zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda, yeni geliştirilen geniş hız aralığında çalışabilen, dişlisiz, kayış-kasnak düzeneğinin bulunmadığı veya doğrudan tahrikli elektrikli sürüş, sistemlerinin yapısal hacimlerindeki azalma nedeniyle şu sıralar oldukça bilinirliği artmıştır (Gezer vd., 2018).

Asenkron motorlarda hız ve moment kontrolünün geniş aralıkta yüksek başarılı bir şekilde yapılabilmesi için birçok kontrol yöntemi geliştirilmiştir (Aydeniz, 2005). Bu yöntemler içerisinde en yaygın olanı vektör kontrol yöntemidir. Fakat vektör kontrol yöntemleri genellikle motor modeline dayalı olarak yapıldığı için asenkron motorun eşdeğer devre parametrelerine karşı duyarlıdır (Bingöl, 2006). Dolayısıyla yüksek başarılı bir hız-moment kontrolü için asenkron motorun eşdeğer devre parametrelerinin bilinmesi büyük bir öneme sahiptir (Çukur, 2015).

Asenkron motorun eşdeğer devre parametreleri genellikle bağlı olduğu sürücü içine gömülen kestirim algoritmaları ile belirlenir. Literatürde asenkron motorun eşdeğer devre parametrelerinin kestirimi konusunda birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalara göre asenkron motorun eşdeğer devre parametrelerinin kestirimi çevrimdışı ve çevrimiçi kestirim yöntemleri olarak ikiye ayrılabilir (Zheng vd., 2008). Çevrimdışı parametre kestirimi için genellikle asenkron motora boşa çalışma ve kilitli rotor deneyi yapılır. Bu yöntemle yapılan parametre tahmini çoğunlukla motor çalışmaya başlamadan önce gerçekleştirilir. Çevrimdışı parametre kestirimi için en çok kullanılan yöntemler motor sargılarına doğru akım uygulama ve tek fazlı alternatif akım uygulama olarak ikiye ayrılır. Motor sargılarına doğru akım uygulama yönteminde asenkron motorun bir fazına anma akımını geçmeyecek mertebede bir doğru akım, bağlı olduğu evirici üzerinden uygulanır ve diğer iki faz açık hale getirilir. Bazen de fazlardan ikisi birbirine seri, diğer sargı da onlara paralel olacak şekilde doğru akım uygulama yöntemi yapılabilir. Bu işlem yapıldıktan sonra bir akım algılayıcısı tarafından stator akımı ölçümü yapılır ve stator direnci ( $R_s$ ) kolaylıkla hesaplanır. Tek fazlı alternatif akım uygulama yönteminde ise motor fazlarından ikisine farklı frekanslarda akımlar uygulanır. Motor hareketsiz kalacağından dolayı bu yöntem kilitli rotor testine karşılık gelir. Elde edilen sonuçlar ile rotor direnci, mıknatıslanma reaktansı ve kaçak reaktanslar belirli bir yaklaşıklıkla hesaplanabilir.

Çevrimdışı yöntemler ile asenkron motor eşdeğer devre parametreleri belli bir yaklaşıklıkla hesaplanabilir. Fakat bu parametreler sıcaklık artışı, yüzey etkisi, akı yoğunluğu gibi motor çalışma durumlarına bağlı nedenlerden ötürü değişmektedir. Bu yüzden parametre kestirimi işleminin gerçek zamanlı olarak da yapılması gereken uygulamalar da vardır. Literatürde gerçek zamanlı parametre tanımlama ile ilgili farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden Yinelemeli En Küçük Kareler Yöntemi hız, verimlilik ve uygulama kolaylığı açısından büyük bir üstünlüklere sahiptir. Bu yöntem gerçek değer ve tahmin edilen değer arasındaki farkın karesinin minimize edilmesi ilkesine dayanmaktadır (Cirrincione ve Pucci, 2002; Stephan ve Chiasson, 1994; Alonge vd., 1998). Çevrimiçi parametre tanımlama için sıklıkla kullanılan bir başka yöntem ise Model Tabanlı Referans Uyarlamalı Sistem (MRAS) yöntemidir. Bu yöntem basit yapısı ve kolay uygulanması gibi üstünlükler sebebi ile uzun yıllardır ilgisini kaybetmemiştir. Referans model ve ayarlanabilir model arasındaki farkın uyarlanabilir bir mekanizma ile arasındaki hatanın azaltılması ilkesine dayanır.

Çevrimiçi ya da çevrimdışı kestirim yöntemlerinin dışında asenkron motorun eşdeğer devre parametreleri veri föylerinde bulunan parametreler yardımıyla da kestirilebilir. Lee vd. (2012) çalışmalarında veri föyünde bulunan anma gücü, anma gerilimi, verim, güç faktörü, anma hızı ve kutup sayısı gibi parametreler kullanılarak yinelemeli bir yöntem önermiştir. (Lima vd. 2017; Mohammadi ve Akhavan, 2014) çalışmalarında eşdeğer devre parametrelerinin kestirimi için genetik algoritma tabanlı üst-sezgisel (meta-heuristic) bir yöntem önermiştir. Susanto ve Islam (2013) çift kafesli asenkron motorun eşdeğer devre parametrelerinin kestirimi için genetik algoritma ve Newton-Rapson yönteminin bütünleşik olarak kullanıldığı bir yöntem önermiştir. Pedra (2008) ise çalışmasında yine çift kafesli asenkron motorun eşdeğer devre parametrelerinin kestirimi için geliştirilmiş bir Newton-Rapson yöntemi önermiştir. Özyurt (2005) ise çalışmasında veri föylerinde bulunan bilgilerin yanı sıra bazı ölçüm bilgileri de kullanılarak kestirim işlemi yapmıştır. Wengerkievicz vd. (2017); parametre kestirimi için önerilen 9 farklı yöntem incelenmiş ve bu yöntemlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Çanakoğlu vd. (2014) çalışmasında 3 farklı üst-sezgisel algoritma önerilmiş ve bu algoritmalar farklı asenkron motorlar üzerinde denenerek karşılaştırmaları yapılmıştır. Al-Jufout vd. (2018)'nin yapmış olduğu çalışmada çift kafesli asenkron motorun eşdeğer devresinden yararlanılarak denklemler oluşturulmuş ve eşdeğer devre parametrelerinin kestirim işlemi yapılmıştır. Ancak bu çalışmada önerilen yöntemin farklı asenkron motorlar üzerinde test edildiği zaman yüksek hata oranına sahip sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Literatürdeki çalışmalar gibi parametre kestirimi için pek çok sayısal ya da üst-sezgisel yöntem önermek mümkündür. Fakat endüstriyel uygulamalarda önerilen algoritmaların basitliği ve bağlı bulunan sürücü içindeki mikrodenetleyici sistemlerine kolay bir şekilde gömülmesi istenmektedir. Bu nedenle pek çok yöntem endüstriyel uygulamalarda elenir.

Bu çalışmada asenkron motorun vektör kontrollü sürücüler için parametre kestirimi doğrusal olmayan denklem sistemlerinin Newton-Raphson yöntemi sayesinde çözülmesi ile yapılmıştır. Gerek basitliği gerekse bir mikrodenetleyici üzerinde kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmesinden dolayı Newton-Raphson yöntemi seçilmiş ve yöntemin detayları ikinci bölümde verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde ise asenkron motorun veri föylerinde bulunan parametreler ve bu parametrelerin asenkron motorun eşdeğer devre parametrelerinin kestirimine olan etkisinden bahsedilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde parametre kestirimi için elde edilen doğrusal olmayan denklem sistemlerinin elde edilmesi anlatılmış, bu denklem sisteminin Newton-Raphson algoritması ile nasıl çözüleceğinden bahsedilmiştir. Tasarlanan yazılım sonrası 20 farklı asenkron motor için elde edilen parametre tahmini sonuçları verilmiş ve deneysel olarak ölçülen parametreler ile arasındaki hata miktarı hesaplanmıştır. Dahası, verilen 20 motor arasından seçilen 4 farklı asenkron motor için deneysel olarak elde edilen hız-moment karakteristiği ve kestirilen parametreler ile hesaplanan hız-moment karakteristiği verilerek önerilen algoritmanın başarımı irdelenmiştir.

## 2. Doğrusal Olmayan Denklem Sistemlerinin Çözümü için Newton-Raphson Yöntemi (Newton-Raphson Method for Solving Non-Linear Equation Set)

İsmi Isaac Newton ve Joseph Raphson'dan alan Newton-Raphson yöntemi doğrusal olmayan cebirsel denklemlerin çözülmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Akram ve Ann, 2015). Newton-Raphson yöntemi doğrusal olmayan tek bir denklemin köklerini bulmak için kullanılabilmesi gibi denklem takımlarının köklerini bulmak için de kullanılabilir. Öncelikle Eşitlik (1)'de verilen bir boyutlu denklemin Newton-Raphson yöntemi ile çözümünü ele alalım.

$$f(x) = c \quad (1)$$

Denklemin kökünü bulmak için keyfi bir  $x_0$  başlangıç noktası belirlenir. Belirlenen bu başlangıç noktasına göre denklemin doğru çözümünden sapma miktarı  $\Delta x$  ise;

$$f(x^0 + \Delta x^0) = c \quad (2)$$

Eşitliğin sol tarafı Taylor Serisine açılırsa Eşitlik (3) elde edilir.

$$f(x^0) + \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^0 \Delta x^0 + \frac{1}{2!} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial^2 x}\right)^0 (\Delta x^0)^2 + \dots = c \quad (3)$$

Burada hata terimi olan  $(\Delta x^0)$ 'ın çok küçük olduğu varsayımı ile yüksek dereceli terimler ihmal edilir ve Eşitlik (4) ve (5) elde edilir.

$$\Delta c^0 \cong \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^0 \Delta x^0 \quad (4)$$

$$\Delta c^0 \cong c - f(x^0) \quad (5)$$

Daha sonra  $\Delta x^0$  değeri başlangıçta belirlenen  $x_0$  başlangıç değerine eklenerek Eşitlik (6)'da verilen ikinci yaklaşık çözüme ulaşılır.

$$x^1 = x^0 + \frac{\Delta c^0}{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^0} \quad (6)$$

Bu işlem denklemin kökleri bulununcaya dek tekrar edilir. Newton-Raphson Algoritmasının genelleştirilmiş hali Eşitlik (7)-Eşitlik (9) arasında verilmiştir.

$$\Delta c^i = c - f(x^i) \quad (7)$$

$$\Delta x^i = \frac{\Delta c^i}{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^i} \quad (8)$$

$$x^{i+1} = x^i + \Delta x^i \quad (9)$$

$j^i = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^i$  olmak üzere Newton-Raphson algoritması yeniden düzenlenirse Eşitlik (10) elde edilir.

$$\Delta c^i = j^i \Delta x^i \quad (10)$$

Bir boyutlu denklem için yapılan bu işlemler n boyutlu denklem sistemi için yeniden yapılacak olursa Eşitlik (11) elde edilir.

$$\begin{bmatrix} c_1 - (f_1)^0 \\ c_2 - (f_2)^0 \\ \vdots \\ c_n - (f_n)^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1^0}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1^0}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_1^0}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2^0}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2^0}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_2^0}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n^0}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n^0}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_n^0}{\partial x_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^0 \\ \Delta x_2^0 \\ \vdots \\ \Delta x_n^0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$\Delta X$  ve  $\Delta C$  Eşitlik (12) ve Eşitlik (13) ile ifade edilir.

$$\Delta X^i = \begin{bmatrix} \Delta x_1^i \\ \Delta x_2^i \\ \vdots \\ \Delta x_n^i \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\Delta C^i = \begin{bmatrix} c_1 - (f_1)^0 \\ c_2 - (f_2)^0 \\ \vdots \\ c_n - (f_n)^0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

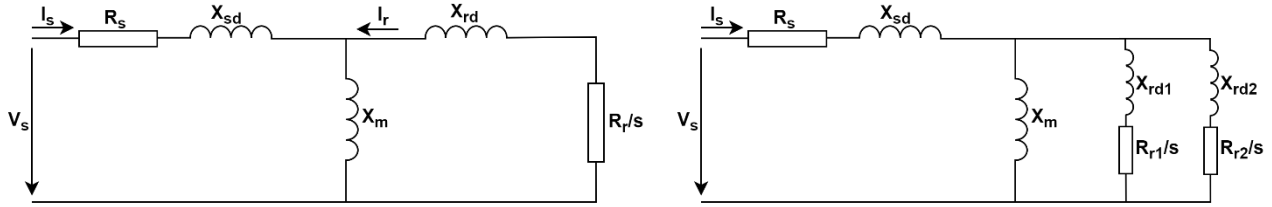
Sonuç olarak n boyutlu bir denklem sistemi için Newton-Raphson algoritması Eşitlik (14)'deki gibi yazılabilir.

$$X^{i+1} = X^i + \Delta X^i \quad (14)$$

### 3. Asenkron Motorun Eşdeğer Devre Modeli ve Üretici Veri Föylerinde Paylaşılan Değerler (Equivalent Circuit Model of Induction Motor and Parameter Shared in Manufacturer Datasheets)

#### 3.1. Asenkron Motorun Eşdeğer Devresi (Equivalent Circuit of Induction Motor)

Asenkron motorun karmaşık yapısında, her an değişebilen çalışma koşullarına göre hesap yapmak, stator ve rotor sargılarda akan akımları, momenti, güç faktörünü, kayıpları ve diğer bazı gerekli büyüklükleri hesaplamak, hem oldukça zaman alıcı hem de hata yapma olasılığı yüksek işlemler içerir. Özellikle faz sayısının artırılıp, gücün büyütülmesi durumunda fazlara ilişkin değerleri hesaplamak oldukça zordur. Bu zorluğu önlemek ve işlemleri basite indirmek için, makineye yerleştirilen, aslında birbirinin aynısı olan faz sargılarının meydana getirdiği stator ve rotor bobinleri düşünerek, makinenin sadece bir fazına ait eşdeğer devre modeli çıkartmak ve bunun üzerinde hesaplamalar yapmak daha kolaydır (Zorlu ve Mergen, 2000). Asenkron motorun eşdeğer devresi asenkron motorun çalışma şeklinin anlaşılmasında ve analiz edilmesinde uzun süredir kullanılmaktadır (Diaz vd., 2009). Asenkron motoru temsil eden tek kafesli ve çift kafesli eşdeğer devre modeli Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Asenkron motorun eşdeğer devresi (Induction motor equivalent circuit) a) Tek kafesli model (Singel-cage Model) b) Çift kafesli model (Double-cage model)

Burada  $V_s$  statora uygulanan gerilimi,  $I_s$  statorundan geçen akımı,  $I_r$  rotordan geçen akımın statora aktarılmış eşdeğerini,  $s$  ise kaymayı temsil etmektedir. Eşdeğer devre parametreleri ise aşağıdaki gibi isimlendirilmektedir.

$R_s$  = Stator sargı direnci

$R_r$  = Rotor sargı direncinin stator tarafına indirgenmiş değeri

$X_{sd}$  = Stator sargısı kaçak reaktansı

$X_{rd}$  = Rotor sargısı kaçak reaktansının stator tarafına indirgenmiş değeri

$X_m$  = Mıknatıslanma reaktansı

Şekil 1.'de verilen tek kafesli asenkron motorun eşdeğer devresi  $R_s$ ,  $X_{sd}$ ,  $R_r$ ,  $X_{rd}$  ve  $X_m$  olmak üzere beş parametre içerirken, çift kafesli asenkron motorun eşdeğer devresi ise  $R_s$ ,  $R_{r1}$ ,  $R_{r2}$ ,  $X_m$ ,  $X_{sd}$ ,  $X_{rd1}$  ve  $X_{rd2}$  olmak üzere yedi farklı parametreye sahiptir. Genel olarak pratikte uygulama kolaylığı açısından stator kaçak reaktansı ( $X_{sd}$ ) ve rotor kaçak reaktansı ( $X_{rd}$ ) birbirlerine eşit kabul edilir. Dolayısıyla tek kafesli eşdeğer devrede birbirinden bağımsız dört parametre bulunmaktadır (Novotny ve Lipo, 1996). Çift kafesli asenkron motorun birbirlerine eş olan altı, yedi veya sekiz parametre içeren farklı eşdeğer devreleri kullanılmaktadır. Şekil 1.'de yedi parametrelili eşdeğer devre gösterilmiştir. Bu modelde de stator kaçak reaktansı ( $X_{sd}$ ) ve dış kafes rotor kaçak reaktansı ( $X_{rd2}$ ) birbirlerine eşit kabul edilebilir.

### 3.2. Üretici Veri Föylerinde Paylaşılan Değerler (Parameter Shared in Manufacturer Datasheets)

Motor üreticileri son kullanıcının motor seçimini daha doğru yapabilmesi ve üretilen motorun karakteristiğinin tanımlanabilmesi için veri föylerinde motorlarına dair birtakım veriler paylaşmaktadır. Tablo 1.'de örnek olarak bir asenkron motor üreticisine ait şebeke beslemeli genel maksatlı bazı motorların veri föyünde paylaşılan bilgileri verilmiştir.

Bu çalışmada kapsamında asenkron motor üreticileri tarafından veri föylerinde paylaşılan sınırlı karakteristik değerler kullanılacaktır. Kullanılacak olan karakteristik veriler aşağıda açıklamaları ile birlikte sıralanmıştır.

$P_n$  = Anma gücü

$V_n$  = Anma gerilimi

$I_n$  = Anma akımı

$F$  = Frekans

$P_f$  = Güç faktörü ( $\cos \varphi$ )

$N_r$  = Rotor devir hızı

Poles = Kutup sayısı

$I_d/I_n$  = Kalkış akımının anma akımına oranı

$M_d/M_n$  = Devrilme momentinin anma momentine oranı

**Tablo 1.** Şebeke beslemeli genel maksatlı motorların elektriksel ve mekanik karakteristikleri (Electrical and mechanical characteristics of general purposed mains powered induction motors)

| Motor No | Anma Gücü (P <sub>n</sub> ) kW | Hız d/dk | Anma Gerilimi (V <sub>n</sub> ) V | Anma Akımı (I <sub>n</sub> ) A | Frekans Hz | Kutup Sayısı | Anma Momenti (M <sub>n</sub> ) N.m | Güç Faktörü (cosφ) | Devrilme Momenti /Anma Momenti (M <sub>d</sub> /M <sub>n</sub> ) | Başlangıç Akımı/Anma Akımı (I <sub>d</sub> /I <sub>n</sub> ) |
|----------|--------------------------------|----------|-----------------------------------|--------------------------------|------------|--------------|------------------------------------|--------------------|--|--|
| 1        | 3.72                           | 1750     | 460                               | 7.35                           | 60         | 4            | 25.5                               | 0.85               | 3.7  | 7.3  |
| 2        | 7.5                            | 1760     | 460                               | 13.3                           | 60         | 4            | 48                                 | 0.89               | 2.9  | 6  |
| 3        | 15                             | 1760     | 460                               | 35                             | 60         | 4            | 128                                | 0.90               | 2.15   | 4.5  |
| 4        | 37                             | 1780     | 460                               | 54                             | 60         | 4            | 192                                | 0.86               | 3.7  | 7.4  |
| 5        | 74.5                           | 1780     | 460                               | 135.7                          | 60         | 4            | 507.5                              | 0.90               | 3.2  | 6.6  |
| 6        | 111                            | 1785     | 460                               | 140.6                          | 60         | 4            | 497.5                              | 0.85               | 4.43   | 8.75   |
| 7        | 149                            | 1785     | 460                               | 229.6                          | 60         | 4            | 865                                | 0.90               | 3.85   | 8  |
| 8        | 3.72                           | 1750     | 575                               | 5.38                           | 60         | 4            | 22.8                               | 0.83               | 4.38   | 8.59   |
| 9        | 7.5                            | 1760     | 575                               | 12.2                           | 60         | 4            | 54.2                               | 0.87               | 3  | 6.3  |
| 10       | 15                             | 1765     | 575                               | 22.5                           | 60         | 4            | 102                                | 0.88               | 3  | 6.44   |
| 11       | 37                             | 1775     | 575                               | 45.6                           | 60         | 4            | 106                                | 0.87               | 3.9  | 7.7  |
| 12       | 74.5                           | 1780     | 575                               | 113                            | 60         | 4            | 533                                | 0.91               | 2.9  | 6.1  |
| 13       | 111                            | 1785     | 575                               | 116                            | 60         | 4            | 507.5                              | 0.84               | 4.5  | 8.8  |
| 14       | 4                              | 1430     | 400                               | 8.3                            | 50         | 4            | 28.8                               | 0.83               | 3.18   | 6.1  |
| 15       | 7.5                            | 1440     | 400                               | 13.2                           | 50         | 4            | 48.1                               | 0.87               | 3.68   | 7.3  |
| 16       | 15                             | 1460     | 400                               | 29.2                           | 50         | 4            | 112.8                              | 0.90               | 4.97   | 10.5   |
| 17       | 37                             | 1480     | 400                               | 65                             | 50         | 4            | 242.5                              | 0.87               | 3.7  | 7.6  |
| 18       | 75                             | 1484     | 400                               | 124.4                          | 50         | 4            | 475.1                              | 0.88               | 4.18   | 8.6  |
| 19       | 110                            | 1487     | 400                               | 173.5                          | 50         | 4            | 661                                | 0.87               | 4.5  | 9.2  |
| 20       | 160                            | 1487     | 400                               | 270                            | 50         | 4            | 1055                               | 0.90               | 4.26   | 8.8  |

#### 4. Newton-Raphson Yönteminin Eşdeğer Devre Parametre Kestirimi Problemine Uygulanması (Implementation of Newton-Raphson Method to Equivalent Circuit Parameter Estimation Problem)

Bu bölümde asenkron motorun Şekil 1’de gösterilen eşdeğer devresi kullanılarak eşdeğer devre parametrelerini ve üretici veri föylerinde paylaşılan deneysel verilerin bulunduğu bir denklem takımı oluşturulmuştur. Asenkron motorun stator kaçak reaktansı ( $X_{sd}$ ) ile rotor kaçak reaktansının statora indirgenmiş değeri ( $X_{rd}$ ) yaklaşık olarak eşit kabulü yapılarak denklem sayısı ve denklemleri karmaşıklığı azaltılmıştır. Denklemler elde edilirken anma akımının aktif ve reaktif bileşeni, anma moment ve devrilme momenti eşitlikleri kullanılarak bilinmeyen dört farklı eşdeğer devre parametresinin yer aldığı dört farklı denklem elde edilmiştir. Üretici veri föylerinde verilen anma akımı ve güç faktörü kullanılarak Newton-Raphson yönteminin uygulanacağı ilk iki denklem Eşitlik (15) ve Eşitlik (16)’daki gibi yazılabilir.

$$f_1(x) = \frac{V_n}{I_n} \cos \varphi - \Re_e\{Z_{n\_est}\} = 0 \quad (15)$$

$$f_2(x) = \frac{V_n}{I_n} \sin \varphi - I_m\{Z_{n\_est}\} = 0 \quad (16)$$

Eşitlik (15) ve Eşitlik (16)’da yer alan eşdeğer devrenin kestirilen toplam giriş empedansı ( $Z_{n\_est}$ ) Eşitlik (17)’de verilmiştir. Burada  $R_s$  stator sargı direncini,  $R_r$  rotor sargı direncinin stator tarafına indirgenmiş değerini,  $X_{sd}$

stator sargısının kaçak reaktansını,  $X_{rd}$  rotor sargısının kaçak reaktansının statora indirgenmiş değerini ve  $X_m$  mıknatıslanma reaktansını ve  $s_n$  anma çalışmadaki kayma değerini temsil etmektedir.

$$Z_{n\_est} = \frac{\frac{jX_m R_r^2}{s_n} - \frac{X_m R_r X_{rd}}{s_n} + \frac{X_m R_r X_{rd} + X_m^2 R_r}{s_n} + jX_m X_{rd}^2 + X_m^2 X_{rd}}{\frac{R_r^2}{s_n^2} + (X_m + X_{rd})^2} + R_s + jX_{sd} \quad (17)$$

Kestirilen parametreler ile hesaplanan eşdeğer devre giriş empedansı ( $Z_{n\_est}$ ) aktif ve reaktif bileşenlerine ayrıldığında, Eşitlik (18) ve Eşitlik (19) elde edilir.

$$\mathcal{R}_e\{Z_{n\_est}\} = \frac{\frac{R_r^2 R_s}{s_n^2} + R_s (X_m + X_{rd})^2 + \frac{R_r X_m^2}{s_n}}{\frac{R_r^2}{s_n^2} + (X_m + X_{rd})^2} \quad (18)$$

$$I_m\{Z_{n\_est}\} = \frac{\frac{R_r^2 (X_m + X_{sd})}{s_n} + (X_m + X_{rd})(X_{rd} X_{sd} + X_{sd} X_m + X_{rd} X_m)}{\frac{R_r^2}{s_n^2} + (X_m + X_{rd})^2} \quad (19)$$

Üretici veri föylerinde verilen anma momenti ( $M_{n\_test}$ ) ve devrilme momenti ( $M_{D\_test}$ ) kullanılarak Newton-Raphson yönteminin uygulanacağı diğer iki denklem Eşitlik (20) ve Eşitlik (21)'deki gibi yazılabilir.

$$f_3(x) = M_{n\_test} - M_{n\_est} \quad (21)$$

$$f_4(x) = M_{D\_test} - M_{D\_est} \quad (22)$$

Eşitlik (21)'de yer alan kestirilen anma momenti ( $M_{n\_est}$ ) Eşitlik (23), Eşitlik (24) ve Eşitlik (25)'ten türetilmiştir. Burada  $P_{n\_est}$  kestirilen parametreler ile hesaplanan mil gücünü,  $I_{r\_est}$  rotor akımını,  $n_r$  rotor devir hızını temsil etmektedir.

$$M_{n\_est} = \frac{60 \cdot P_{n\_est}}{2\pi \cdot n_r} \quad (23)$$

$$P_{n\_est} = \frac{3 \cdot |I_{r\_est}|^2 \cdot R_r \cdot (1 - s) \cdot 60}{s_n \cdot 2\pi \cdot n_r} \quad (24)$$

$$I_{r\_est} = \frac{V_n - I_n (R_s + jX_{sd})}{R_r / s_n + jX_{rd}} \quad (25)$$

Son olarak Eşitlik (22)'de motorun kestirilen eşdeğer devre parametreleri ile hesaplanan devrilme momenti ( $M_{D\_est}$ ) Eşitlik (26) ile Eşitlik (31) arasında verilen eşitlikle hesaplanabilir. Burada,  $P_{D\_est}$  devrilme anındaki mil gücünü,  $I_{rD\_est}$  devrilme anındaki rotor akımını,  $I_{in,D}$  devrilme anındaki motor akımını,  $Z_{D\_est}$  devrilme anındaki motor empedansı,  $s_D$  devrilme anındaki kayma değerini temsil etmektedir.

$$M_{D\_est} = \frac{60 \cdot P_{D\_est}}{2\pi \cdot n_r} \quad (26)$$

$$P_{D\_est} = \frac{3 \cdot |I_{rD\_est}|^2 \cdot R_r \cdot (1 - s_D) \cdot 60}{s_D \cdot 2\pi \cdot n_r} \quad (27)$$

$$I_{rD\_est} = \frac{V_n - I_{in,D} (R_s + jX_{sd})}{R_r / s_D + jX_{rd}} \quad (28)$$

$$I_{in,D} = \frac{V_n}{Z_{D\_est}} \quad (29)$$



$$Z_{D\_est} = \frac{\frac{jX_m R_r^2}{s_D} - \frac{X_m R_r X_{rd}}{s_D} + \frac{X_m R_r X_{rd} + X_m^2 R_r}{s_D} + jX_m X_{rd}^2 + X_m^2 X_{rd}}{\frac{R_r^2}{s_D^2} + (X_m + X_{rd})^2} + R_s + jX_{sd} \quad (30)$$

$$s_D = \frac{S_n}{\frac{M_{D\_test}}{M_{n\_test}} - \sqrt{\frac{M_{D\_test}^2}{M_{n\_test}^2} - 1}} \quad (31)$$

Daha sonra elde edilen doğrusal olmayan denklem sistemi ( $f_1(x)$ ,  $f_2(x)$ ,  $f_3(x)$ ,  $f_4(x)$ ) Newton-Raphson yöntemi kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. Newton-Raphson yönteminin bilinen diğer yöntemlerden en büyük üstünlüğü Newton-Raphson yönteminin çok iyi bir şekilde sonuca yakınsaması veya hiç sonuç vermemesidir. Newton-Raphson algoritmasının sonuca ulaşamamasının iki sebebi olabilir. Bu sebeplerin önemlisi eşdeğer devreden türetilen denklemlerin hatalı olmasıdır. Eğer denklemler doğru bir şekilde elde edildiği halde yöntem sonuca gidemiyorsa bu veri föylerinde verilen değerlerin tutarsızlığına işaret etmektedir. Bu algorithmada en kritik parametreler devrilme momenti ve devrilme kaymasıdır. Bazen devrilme momenti ve devrilme kayması ile türetilen dördüncü denklem, kalkış akımı eşitliği yazılarak da elde edilebilir. Yöntemin hızlı bir şekilde sonuca yakınsaması için yine veri föyünde verilen kalkış akımı değerinin doğru olması gerekir. Denklemler doğru yazıldığı halde algoritma sonuca gidemiyor ise maksimum moment ve başlangıç akımı için algoritmayı sonuca götüreceği yeni değerler bulunabilir (Pedra, 2008).

Üretici veri föyünden alınan değerler kullanılarak  $R_s$ ,  $X_{sd}$ ,  $R_r$ ,  $X_{rd}$  ve  $X_m$  eşdeğer devre parametrelerinin bulunabilmesi için bir önceki bölümde elde edilen dört denklem  $F(x) = 0$  formunda yazılmalıdır. Burada  $F = (f_1, f_2, f_3, f_4)$  ve  $x = (R_s, X_{sd}, R_r, X_m)$  şeklinde ifade edilebilir. Newton-Raphson yönteminde başlangıç koşullarının doğru seçilmesi sonuca hem doğru hem de kısa sürede ulaşmak için kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada asenkron motorun eşdeğer devre parametrelerinin kestirimi için aşağıdaki başlangıç koşulları kullanılmıştır.

$$X_m = \frac{3 \cdot V_n^2}{Q_n} \quad (32)$$

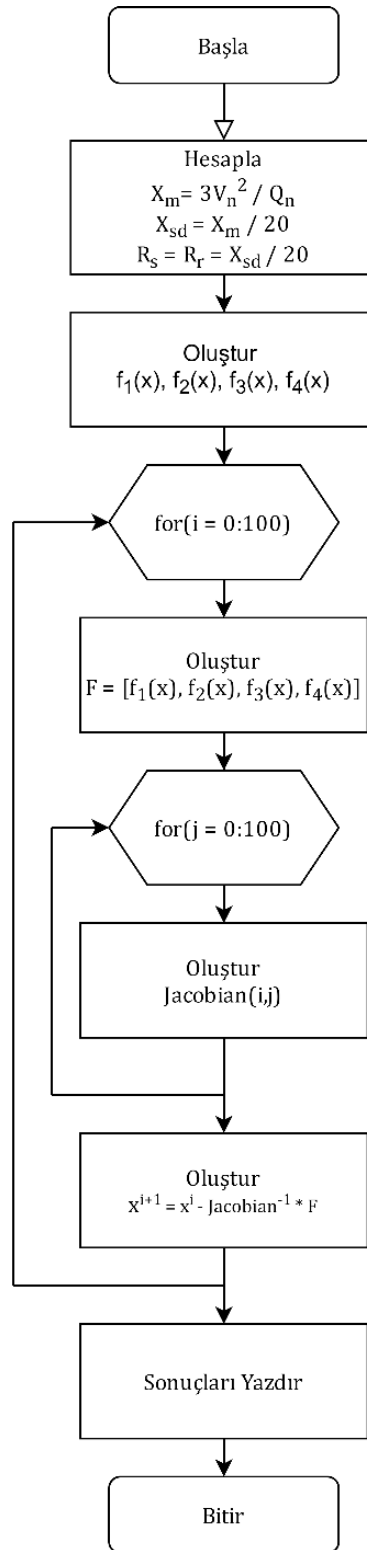
$$X_{sd} = \frac{X_m}{20} \quad (33)$$

$$R_s = R_r = \frac{X_{sd}}{20} \quad (34)$$

Bu çalışmada, elde edilen doğrusal olmayan denklem sisteminin Newton-Raphson yöntemi ile çözümü için yazılan algoritma aşağıdaki adımları takip etmektedir.

- 1) Veri föyünden gerekli değerleri oku.
- 2) Başlangıç koşullarını hesapla
- 3) Eşdeğer devreden türetilen denklemleri oluştur( $f_1(x)$ ,  $f_2(x)$ ,  $f_3(x)$ ,  $f_4(x)$ ).
- 4) İterasyon sayısını tanımla ve döngü değişkeni olarak ata
- 5)  $F = (f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x))$  denklem takımını oluştur.
- 6) Denklem sayısını ikinci bir döngü değişkeni olarak tanımla.
- 7)  $4 \times 4$  boyutunda Jacobian matrisini oluştur.
- 8) Başlangıç koşullarını  $x^{i+1} = x^i - Jacobian^{-1}F$  olacak şekilde güncelle.
- 9) Döngü değişkeni en yüksek iterasyon sayısından küçük ise 5. Adıma dön.
- 10) Sonuçları yazdır.
- 11) Programı sonlandır.

Newton-Raphson algoritmasına ait algoritma akış şeması Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Newton-Raphson algoritması akış şeması (Newton-Raphson algorithm flowchart)

## 5. Sayısal Sonuçlar (Numerical Results)

Asenkron motorların vektör kontrollü sürücüler için üretici veri föylerinden eşdeğer devre parametrelerinin kestirimi için önerilen algoritma 20 farklı asenkron motor için test edilmiştir. Algoritmanın başarısının daha iyi anlaşılabilmesi için testlerde güç, gerilim, güç faktörü ve frekans gibi plaka değerleri birbirinden çok farklı mertebelerde olan asenkron motorlar kullanılmıştır. Şekil 2'de akış şeması verilen algoritma MATLAB üzerinde oluşturulmuştur. Tablo 1'de üretici veri föyü bilgileri verilen 20 farklı asenkron motorun eşdeğer devre parametreleri önerilen algoritma kullanılarak kestirilmiş, tahmin edilen eşdeğer devre parametreleri ve deneysel

olarak elde edilen eşdeğer devre parametreleri Tablo 2’de ve Tablo 3’de verilmiştir. Tasarlanan algoritmanın başarımının irdelenmesi için kestirim hataları da tablolarda verilmiştir.

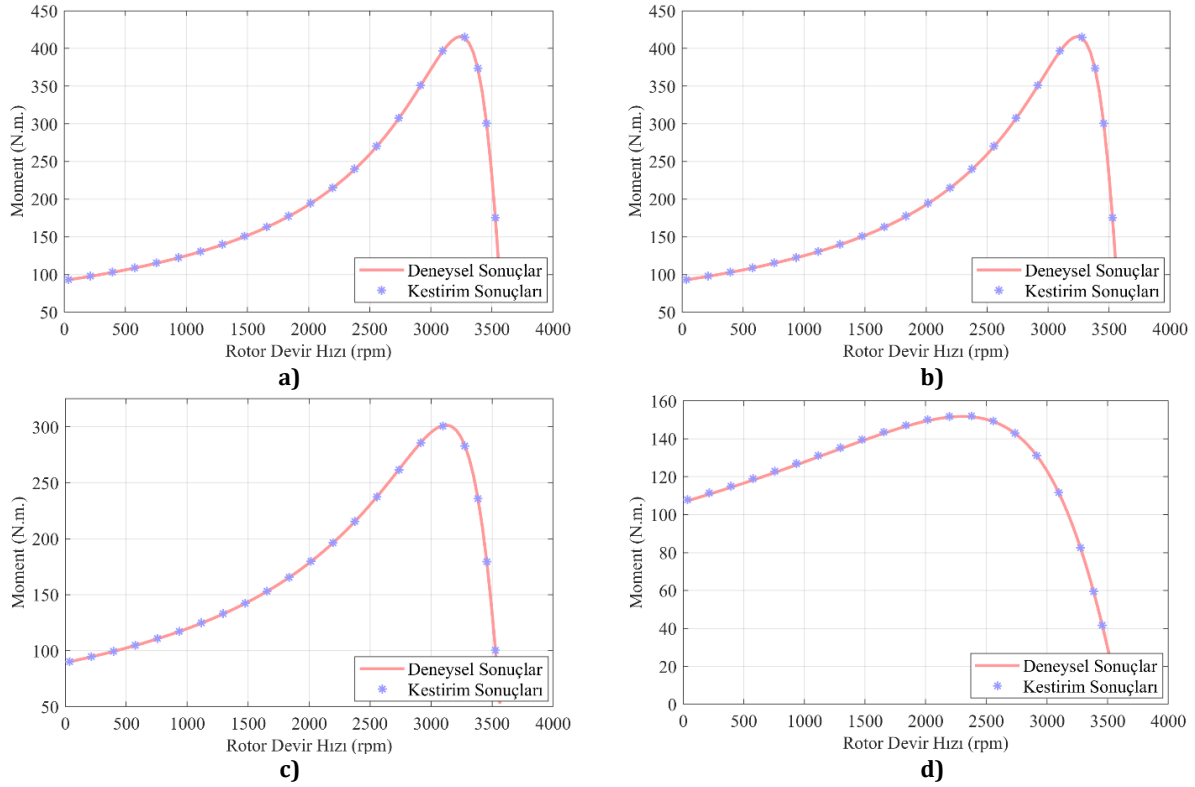
**Tablo 2.** Önerilen algoritma ile kestirilen stator devresine ait eşdeğer devre parametreleri ve bu parametrelerin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması (Comparison of stator resistance, stator and rotor leakage reactance estimated by the proposed algorithm and experimental results)

| Motor No | $R_s$<br>(Deneysel) | $R_s$ (Kestirim) | Kestirim<br>Hatası<br>(Yüzde) | $X_{sd} = X_{rd}$<br>(Deneysel) | $X_{sd} = X_{rd}$<br>(Kestirim) | Kestirim<br>Hatası<br>(Yüzde) |
|----------|---------------------|------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 1        | 1,115               | 1,1714           | -5,06                         | 2,2521                          | 2,2277                          | 1,09                          |
| 2        | 0,6837              | 0,6847           | -0,15                         | 1,565                           | 1,5628                          | 0,16                          |
| 3        | 0,2761              | 0,2746           | 0,54                          | 0,8259                          | 0,8248                          | 0,14                          |
| 4        | 0,0996              | 0,1025           | -2,90                         | 0,3268                          | 0,326                           | 0,26                          |
| 5        | 0,0395              | 0,0405           | -2,35                         | 0,1466                          | 0,1463                          | 0,24                          |
| 6        | 0,0302              | 0,0314           | -3,97                         | 0,1066                          | 0,1063                          | 0,36                          |
| 7        | 0,0181              | 0,0194           | -6,71                         | 0,0716                          | 0,0713                          | 0,46                          |
| 8        | 2,053               | 2,0461           | 0,34                          | 3,0540                          | 3,0468                          | 0,24                          |
| 9        | 0,9174              | 0,9353           | -1,95                         | 2,0632                          | 2,0531                          | 0,49                          |
| 10       | 0,454               | 0,4637           | -2,14                         | 1,0989                          | 1,0953                          | 0,33                          |
| 11       | 0,0987              | 0,1063           | -7,69                         | 0,4693                          | 0,4674                          | 0,42                          |
| 12       | 0,0596              | 0,0614           | -2,97                         | 0,2386                          | 0,2379                          | 0,31                          |
| 13       | 0,0458              | 0,0447           | 2,55                          | 0,1598                          | 0,1596                          | 0,15                          |
| 14       | 1,405               | 1,4102           | -0,37                         | 1,8343                          | 1,8238                          | 0,58                          |
| 15       | 0,7384              | 0,7411           | -0,37                         | 0,9566                          | 0,9517                          | 0,51                          |
| 16       | 0,2147              | 0,219            | -2,00                         | 0,3113                          | 0,3082                          | 1,01                          |
| 17       | 0,0823              | 0,0858           | -4,21                         | 0,2274                          | 0,2262                          | 0,55                          |
| 18       | 0,0355              | 0,037            | -4,17                         | 0,1052                          | 0,1048                          | 0,42                          |
| 19       | 0,0215              | 0,0215           | 0,23                          | 0,071                           | 0,0709                          | 0,14                          |
| 20       | 0,0137              | 0,0137           | 0,65                          | 0,0477                          | 0,0477                          | 0,11                          |

**Tablo 3.** Önerilen algoritma ile kestirilen rotor direnci ile mıknatıslanma reaktansı değerleri ve bu parametrelerin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması (Comparison of rotor resistance, magnetization reactance estimated by the proposed algorithm and experimental results)

| Motor No | $R_r$<br>(Deneysel) | $R_r$ (Kestirim) | Kestirim<br>Hatası<br>(Yüzde) | $X_m$<br>(Deneysel) | $X_m$<br>(Kestirim) | Kestirim<br>Hatası<br>(Yüzde) |
|----------|---------------------|------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|
| 1        | 1,083               | 1,099            | -1,48                         | 76,7930             | 74,6226             | 2,83                          |
| 2        | 0,451               | 0,4511           | -0,02                         | 56,0208             | 55,99               | 0,06                          |
| 3        | 0,1645              | 0,1645           | 0,00                          | 28,7041             | 28,3849             | 1,11                          |
| 4        | 0,05837             | 0,0583           | 0,12                          | 11,4567             | 11,4124             | 0,39                          |
| 5        | 0,02215             | 0,0221           | 0,23                          | 6,2731              | 6,2234              | 0,79                          |
| 6        | 0,01721             | 0,0172           | 0,06                          | 4,1280              | 4,1068              | 0,51                          |
| 7        | 0,009956            | 0,0099           | 0,56                          | 3,5493              | 3,5132              | 1,02                          |
| 8        | 1,904               | 1,9044           | -0,02                         | 118,526             | 118,4565            | 0,06                          |
| 9        | 0,6258              | 0,6251           | 0,11                          | 69,8941             | 69,3406             | 0,79                          |
| 10       | 0,2938              | 0,2935           | 0,10                          | 40,6019             | 40,4009             | 0,50                          |
| 11       | 0,1081              | 0,1079           | 0,19                          | 17,7826             | 17,6496             | 0,75                          |
| 12       | 0,03281             | 0,0328           | 0,03                          | 10,3371             | 10,235              | 0,99                          |
| 13       | 0,02634             | 0,0264           | -0,23                         | 6,0280              | 5,9966              | 0,52                          |
| 14       | 1,395               | 1,395            | 0,00                          | 54,0982             | 53,9657             | 0,24                          |
| 15       | 0,7402              | 0,7401           | 0,01                          | 38,9871             | 38,8772             | 0,28                          |
| 16       | 0,2205              | 0,2209           | -0,18                         | 20,1658             | 20,062              | 0,52                          |
| 17       | 0,0503              | 0,0502           | 0,20                          | 8,5168              | 8,4452              | 0,84                          |
| 18       | 0,02092             | 0,0209           | 0,10                          | 4,7438              | 4,706               | 0,80                          |
| 19       | 0,01231             | 0,0123           | 0,08                          | 3,2609              | 3,2475              | 0,41                          |
| 20       | 0,007728            | 0,0077           | 0,36                          | 2,4158              | 2,4157              | 0,01                          |

Önerilen algoritma sayesinde stator direnci en fazla % 6.7 hata ile, rotor direncinin stator tarafına indirgenmiş değeri en fazla % 1.9 hata ile, stator ve rotor kaçak reaktansı en fazla % 1.09 ile ve mıknatıslanma reaktansı da en fazla % 2.83 hata ile tahmin edilebilmiştir. Tablolardaki sonuçlara ek olarak algoritmanın kestirdiği eşdeğer devre parametreleri ile dört farklı motorun hız-moment karakteristiği hesaplanmış ve bu karakteristik ile deneysel olarak elde edilen hız-moment karakteristiği aynı grafik üzerinde Şekil 3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.** 4 Farklı Asenkron Motora Ait Rotor Devir Hızı – Moment Grafikleri: a) 3 Numaralı Motor, b) 5 Numaralı Motor, c) 10 Numaralı Motor, d) 15 Numaralı Motor (Torque -Rotor Speed Curves of 4 Different Induction Motors: a) Motor No. 3, b) Motor No. 5, c) Motor No. 10, d) Motor No. 15)

Şekil 3'ten kolaylıkla görülebileceği gibi, algoritma sayesinde elde edilen sonuçların farklı motorlarda ve farklı yük ve çalışma koşullarındaki deneysel sonuçlarla büyük bir uyum içinde olduğu görülmektedir.

## 6. Sonuç (Conclusion)

Asenkron motorlarda hız ve moment kontrolünün geniş aralıkta yüksek başarılı bir şekilde yapılabilmesi için vektör kontrol algoritmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat vektör kontrol yöntemleri genellikle motor modeline dayalı olarak yapıldığı için hız ve moment kontrolünün hassasiyeti kontrol algoritmalarında tanımlanan asenkron motorun eşdeğer devre parametrelerine karşı duyarlıdır. Dolayısıyla yüksek başarılı bir hız-moment kontrolü için asenkron motorun eşdeğer devre parametrelerinin olabildiğince yüksek doğrulukla tanımlanması gerekir.

Bu çalışmada sadece üreticilerin veri föylerinde paylaştığı kısıtlı bilgiler ile asenkron motorun vektör kontrollü sürücüler için eşdeğer devre parametrelerinin tahmini gerçekleştirilmiştir. Öncelikle asenkron motorun eşdeğer devresinden türetilen doğrusal olmayan denklemler üretici veri föylerindeki verilen bilgiler doğrultusunda elde edilmiştir. Tahmin yöntemi eşdeğer devreden türetilen doğrusal olmayan denklemlerin Newton-Raphson yöntemi ile çözülmesi ilkesine dayanmaktadır. Önerilen denklem sistemi ve çözüm algoritması 20 farklı asenkron motor için test edilmiş ve deneysel olarak elde edilen eşdeğer devre parametreleri ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda üretici föylerinde paylaşılan bilgilerin yüksek doğruluklu olması algoritmanın başarımının oldukça etkilemektedir. Üreticilerin paylaştığı veriler ile algoritma sonuca ulaşmadığında bu bilgilerden yola çıkarak algoritmayı sonuca götürecek yeni değerler bulunabilir. Buna ek olarak önerilen algoritma başlangıç koşullarına oldukça bağımlıdır. Bunun üstesinden gelebilmek için motor gücüne göre başlangıç koşullarının uyarlandığı bir algoritma önerilebilir.

Önerilen algoritma bu hali ile stator direncini en fazla % 6.7 hata ile, rotor direncinin stator tarafına indirgenmiş değerini en fazla % 1.9 hata ile, stator ve rotor kaçak reaktansını en fazla % 1.09 ile ve mıknatıslanma reaktansını da en fazla % 2.83 hata ile tahmin edilebilmektedir. Karşılaştırmalı hata analizlerinin yanı sıra örnek olarak seçilen 4 farklı motorun algoritmanın kestirdiği eşdeğer devre parametreleri ile hız-moment karakteristiği hesaplanmış ve bu karakteristik ile deneysel olarak elde edilen hız-moment karakteristiği görsel bir karşılaştırma sunabilmek için aynı grafik üzerinde çizilmiştir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

## Kaynaklar (References)

- Abdelaziz, M. M., & El-Saadany, E. F. (2013, July). Estimation of induction motor single-cage model parameters from manufacturer data. In 2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting (pp. 1-5). IEEE.
- Akram, S., & Ann, Q. U. (2015). Newton raphson method. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(7), 1748-1752.
- Al-Jufout, S. A., Al-Rousan, W. H., & Wang, C. (2018). Optimization of induction motor equivalent circuit parameter estimation based on manufacturer's data. *Energies*, 11(7), 1792.
- Alonge, F., D'Ippolito, F., Ferrante, G., & Raimondi, F. M. (1998). Parameter identification of induction motor model using genetic algorithms. *IEE Proceedings-Control Theory and Applications*, 145(6), 587-593.
- Amaral, G. F. V., Baccarini, J. M. R., Coelho, F. C. R., & Baccarini, L. M. R. (2020). A High Precision Method for Induction Machine Parameters Estimation from Manufacturer Data. *IEEE Transactions on Energy Conversion*.
- Arslan, M. (2010). Diferansiyel evrim algoritması yardımıyla asenkron motor parametrelerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydeniz, M. G. (2005). Asenkron motorların hız algılayıcısız kontrolünde yeni bir algoritmanın geliştirilmesi ve uygulaması. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bajrektarevic, Edina, "Parameter identification of induction motor using a genetic algorithm" (2002). Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports. 1217.
- Bingöl, O. Üç-Seviyeli Evirici ile Bir Asenkron Motorun Bulanık Mantık Tabanlı Vektör Kontrolü. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(3), 452-459.
- Cirrincone, M., & Pucci, M. (2002, July). Experimental verification of a technique for the real-time identification of induction motors based on the recursive least-squares. In 7th International Workshop on Advanced Motion Control. Proceedings (Cat. No. 02TH8623) (pp. 326-334). IEEE.
- Çanakoğlu, A. İ., YETGİN, A. G., Temurtaş, H., & Turan, M. (2014). Induction motor parameter estimation using metaheuristic methods. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 22(5), 1177-1192.
- Çukur, R. (2015). Vektör Denetim Yönteminde İki Farklı Hız Gözlemcisinin Karşılaştırılması Ve Motor Parametrelerindeki Değişimlerin Denetim Performansına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Diaz, A., Saltares, R., Rodriguez, C., Nunez, R. F., Ortiz-Rivera, E. I., & Gonzalez-Llorente, J. (2009, May). Induction motor equivalent circuit for dynamic simulation. In 2009 IEEE International Electric Machines and Drives Conference (pp. 858-863). IEEE.
- Fan, M., Chai, J., & Sun, X. (2014, October). Induction motor parameter identification based on T-model equivalent circuit. In 2014 17th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS) (pp. 2535-2539). IEEE.
- Gezer, A., Gülbahçe, M. O., & Kocabas, D. A. (2018). Generalised Model of Multiphase Tesla's Egg of Columbus and Practical Analysis of 3-Phase Design. *Electrica*, 18(2), 151-158.
- Guasch-Pesquer, L., Youb, L., Jaramillo-Matta, A. A., González-Molina, F., & Barrado-Rodrigo, J. A. (2015, September). Parameters calculation of single-and double-cage models for induction motors from manufacturer data. In 2015 Intl Aegean Conference on Electrical Machines & Power Electronics (ACEMP), 2015 Intl Conference on Optimization of Electrical & Electronic Equipment (OPTIM) & 2015 Intl Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems (ELECTROMOTION) (pp. 237-242). IEEE.
- Haque, M. H. (2008). Determination of NEMA design induction motor parameters from manufacturer data. *IEEE transactions on Energy conversion*, 23(4), 997-1004.
- Kaygısız, F. (2008). Asenkron Makinaların Matlab'da Tasarımı ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lee, K., Frank, S., Sen, P. K., Polese, L. G., Alahmad, M., & Waters, C. (2012, September). Estimation of induction motor equivalent circuit parameters from nameplate data. In 2012 North American Power Symposium (NAPS) (pp. 1-6). IEEE.
- Lima, S. C., Wengerkievicz, C. A., Batistela, N. J., Sadowski, N., da Silva, P. A., & Beltrame, A. Y. (2017, November). Induction motor parameter estimation from manufacturer data using genetic algorithms and heuristic relationships. In 2017 Brazilian Power Electronics Conference (COBEP) (pp. 1-6). IEEE.
- Mohammadi, H. R., & Akhavan, A. (2014). Parameter estimation of three-phase induction motor using hybrid of genetic algorithm and particle swarm optimization. *Journal of Engineering*, 2014.
- Novotny, D. W., & Lipo, T. A. (1996). *Vector control and dynamics of AC drives* (Vol. 41). Oxford university press.
- Özköse, E. (2019). Newton-Raphson yöntemi ile rüzgar santrali için en iyilenmiş şebeke entegrasyonu. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Özyurt, Ç. H. (2005). Parameter and speed estimation on induction motors from manufactures data and measurements / [M.S. - Master of Science]. Middle East Technical University.
- Pedra, J. (2008). On the determination of induction motor parameters from manufacturer data for electromagnetic transient programs. *IEEE Transactions on Power Systems*, 23(4), 1709-1718.
- Stephan, J., Bodson, M., & Chiasson, J. (1994). Real-time estimation of the parameters and fluxes of induction motors. *IEEE Transactions on industry applications*, 30(3), 746-759.
- Susanto, J., & Islam, S. (2013, October). Estimation of induction motor parameters using hybrid algorithms for power system dynamic studies. In 2013 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC) (pp. 1-6). IEEE.

- Tang, J., Yang, Y., Blaabjerg, F., Chen, J., Diao, L., & Liu, Z. (2018). Parameter identification of inverter-fed induction motors: A Review. *Energies*, 11(9), 2194.
- Ukil, A., Bloch, R., & Andenna, A. (2011). Estimation of induction motor operating power factor from measured current and manufacturer data. *IEEE transactions on energy conversion*, 26(2), 699-706.
- Ursem, R. K., & Vadstrup, P. (2003, December). Parameter identification of induction motors using differential evolution. In *The 2003 Congress on Evolutionary Computation, 2003. CEC'03. (Vol. 2, pp. 790-796)*. IEEE.
- Zorlu, S., Mergen, F. (2000) *Elektrik Makineleri 2 Asenkron Makineler*, Birsen Yayınevi
- Wengerkiewicz, C. A., Elias, R. D. A., Batistela, N. J., Sadowski, N., Kuo-Peng, P., Lima, S. C., ... & Beltrame, A. Y. (2017). Estimation of three-phase induction motor equivalent circuit parameters from manufacturer catalog data. *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, 16(1), 90-107.
- Zheng, J., Wang, Y., Qin, X., & Zhang, X. (2008). An offline parameter identification method of induction motor. In *2008 7th World Congress on Intelligent Control and Automation*.



## TBDY-2018 VE DBYBHY-2007 DEPREM YÖNETMELİKLERİ PERFORMANS SEVİYELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bayram Tanık ÇAYCI\*, Osman ELDEMİR

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

TBDY-2018,  
DBYBHY-2007,  
Betonarme Yapılar,  
Sismik Performans,  
Doğrusal Olmayan Analiz.

### Öz

Gerçekleştirilen çalışmanın amacı Türk Bina Deprem Yönetmeliği-2018 ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007’de tanımlı bina performans seviyelerinin karşılaştırılmasıdır. Bu kapsamda daha önce inşa edilmiş 5 farklı betonarme bina bilgisayar ortamında modellenmiştir. Doğrusal olmayan davranış özellikleri eleman uçlarında tanımlanan kullanıcı tanımlı plastik mafsallar ile modele yansıtılmıştır. Statik itme analizi gerçekleştirilen modellerin farklı ötelenme oranları için performans düzeyleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde her iki yönetmeliğin kesit hasar sınır tanımlarının büyük farklılıklar içerdiği görülmektedir. TBDY-2018 Sınırlı Hasar performans düzeyine karşılık gelen çatı katı deplasman değeri DBYBHY-2007 Hemen Kullanım performans düzeyine göre ortalama %100 daha düşük hesaplanmıştır. Kontrollü Hasar ve Göçme Öncesi performans düzeylerine de Can Güvenliği ve Göçmenin Önlenmesi performans düzeylerine göre sırasıyla %25 ve %33 daha düşük deplasman değerleri altında ulaşılmaktadır. Dikkat çeken bir diğer nokta da Sınırlı Hasar performans düzeyine sistemin akma noktasından önce ulaşılmış olmasıdır. TBDY-2018’de çatlamış kesit rijitliği tanımındaki değişime bağlı olarak bina baskın titreşim periyotları genellikle daha düşük hesaplanmaktadır. Bu duruma bağlı olarak kapasite eğrilerinin eğimi ve plastik mafsal desenleri de farklılık göstermektedir. Her iki yönetmelik arasında hasar düzeyi tanımlarında önemli farkların olması nedeniyle, DBYBHY-2007 kriterlerine göre performans incelemesi gerçekleştirilen yapıların TBDY-2018 kriterlerine göre yetersiz düzeyde çıkması ihtimali bulunmaktadır.

## COMPARISONS OF PERFORMANCE LIMIT STATES OF TEC-2018 AND TEC-2007 SEISMIC CODES

### Keywords

TEC-2018,  
TEC-2007,  
RC Structures,  
Seismic Performance,  
Nonlinear Analysis.

### Abstract

This study aims to compare building performance levels defined in the Turkish Building Earthquake Code-2018 and 2007. For this purpose, 5 RC residential buildings were modeled in computer environment. Nonlinear behavior of structural members was reflected to the models by using user-defined plastic hinges. Performance levels of building models was obtained with static pushover analyzes at different roof drift ratios. It is seen that the definition of section damage limits of both regulations has remarkable differences. The roof displacement limit corresponding to TEC-2018 Limited Damage level were calculated 100% lower than TEC-2007 Immediate Occupancy damage level on average. Controlled Damage and Pre-Collapse performance levels are also reached at 25% and 33% lower roof displacement values than Life Safety and Collapse Prevention performance levels, respectively. Another point should be emphasis is that the Limited Damage performance level has been reached before yield point of capacity curve. The slope of capacity curves and damage pattern of building models also vary due to change in definition of cracked section stiffness in TEC-2018. There is a possibility that the buildings with performance assessment were carried out according to TEC-2007 may be inadequate according to TEC-2018 considering significant differences in damage level definitions.

\* İlgili yazar / Corresponding author: bcayci@pau.edu.tr



**Alıntı / Cite**

Çaycı, B. T., Eldemir, O., (2021). TBDY-2018 ve DBYBHY-2007 Deprem Yönetmelikleri Performans Seviyelerinin Karşılaştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1386-1397.

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

B. T. Çaycı, 0000-0001-7520-6490  
O. Eldemir, 0000-0002-7791-085X

**Makale Süreci / Article Process**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 08.02.2021 |
| <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 23.08.2021 |
| <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 16.09.2021 |
| <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

**1. Giriş (Introduction)**

1 Ocak 2019 tarihinde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) yürürlükten kalkarak Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) yürürlüğe girmiştir. Yeni yönetmelikle birlikte binaların tasarım ve değerlendirme aşamalarında köklü bir değişikliğe gidilmiştir. Yeni yönetmelikle birlikte hem yapıların sismik tasarımı hem de mevcut yapıların değerlendirilmesi konusunda birçok köklü değişiklik yapılmıştır. Yenilenen Türkiye deprem haritası ile tasarım ve değerlendirmede kullanılacak olan sismik talepler için deprem bölgeleri kavramı ve sabit yer ivmesi büyüklükleri yerine spektral ivme katsayıları yapının bulunduğu konum için hesaplanmaktadır. Ayrıca özel tasarım kuralları gerektiren sismik yalıtımlı binalar ve yüksek binalar için ilave bölümler eklenmiştir.

TBDY-2018'de yapılan önemli değişikliklerden birisi de yığılı plastik mafsal kesit hasar sınırlarının plastik dönme kapasitelerine göre belirlenmesidir. DBYBHY-2007'de ise kesit hasar sınırları beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri cinsinden hesaplanmaktaydı. Eurocode-8 (2004) ile büyük benzerlik gösteren yeni hasar sınırı tanımları doğal olarak önceki yönetmeliğe göre büyük farklılıklar göstermektedir.

DBYBHY-2007 ilkelerine göre mevcut yapıların performansının değerlendirilmesi konusunda geçmişte birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen (Sucuoğlu, 2007; Özmen, 2011; Safkan, 2012; Özmen vd., 2015), henüz yeni bir yönetmelik olması nedeniyle TBDY-2018 ile ilgili literatürde sınırlı düzeyde çalışma bulunmaktadır (Elçi ve Göker, 2018; Ulutaş, 2019; Sümer ve Hamsici, 2020; Foroughi vd., 2020). Bununla birlikte performans değerlendirmesi DBYBHY-2007 kriterlerine göre yapılan birçok yapının güncel yönetmelik şartlarına göre hangi performans düzeyinde olacağı bilinmemektedir. Dolayısıyla önceki yönetmeliğe göre yapılan bir yapının güncel kriterlere göre yeniden değerlendirilmesinin gerekli olup olmadığı sorusu ortaya çıkmaktadır.

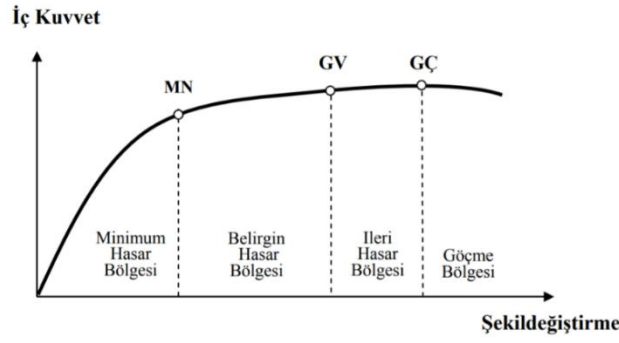
Gerçekleştirilen çalışmanın amacı TBDY-2018 ve DBYBHY-2007'de tanımlı hasar sınırlarının mevcut betonarme yapılar dikkate alınarak karşılaştırılmasıdır. Bu kapsamda daha önce inşa edilmiş 5 adet betonarme bina bilgisayar ortamında modellenerek statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Statik analiz sonrası farklı çatı katı görelî ötelenme oranlarına göre taşıyıcı sistem elemanlarının hasar seviyeleri her iki yönetmelik için karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

**2. Kesit Hasar Sınırları ve Performans Düzeylerinin Tanımlanması (Defining of section damage limits and performance levels)****2.1. Kesit Hasar Sınırları (Section damage limits)**

DBYBHY-2007'de Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ) olmak üzere üç kesit hasar sınırı tanımlanmaktadır. Minimum Hasar noktası, doğrusal olmayan davranışın başlangıç sınırı olarak tarif edilmektedir. Güvenli sınırlar içerisinde meydana gelen plastik şekil değiştirme sınırı Güvenlik Sınırı, göçme öncesi hesaplanan plastik şekil değiştirme kapasitesi ise Göçme Sınırı olarak tarif edilmektedir. Kesit hasar sınırları için birim şekil değiştirme kapasiteleri Tablo 1'de verilmiştir. DBYBHY-2007'ye göre ilgili kesit hasar sınırlarına göre hesaplanan hasar bölgeleri ise Şekil 1'de yer almaktadır.

**Tablo 1.** DBYBHY-2007 eleman birim şekil değiştirme kapasiteleri (TEC-2007 section unit deformation capacities)

| Hasar Sınırı | Beton   | Donatı Çeliği               |
|--------------|---|-----------------------------|
| MN           | $(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035$   | $(\epsilon_s)_{MN} = 0.010$ |
| GV           | $(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01(\rho_s/\rho_{sm})$<br>$\leq 0.0135$ | $(\epsilon_s)_{GV} = 0.040$ |
| GÇ           | $(\epsilon_{cg})_{GÇ} = 0.004 + 0.014(\rho_s/\rho_{sm})$<br>$\leq 0.018$  | $(\epsilon_s)_{GÇ} = 0.060$ |

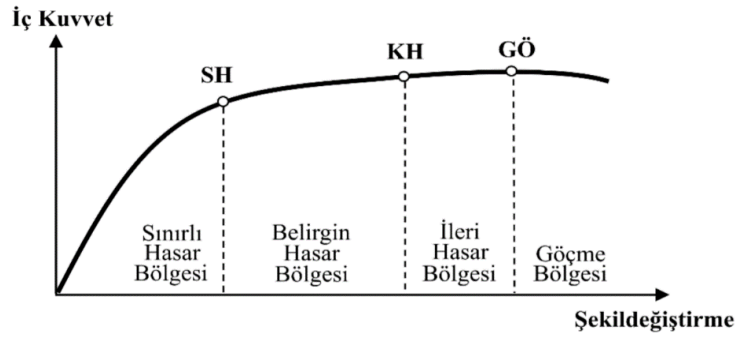


Şekil 1. DBYBHY-2007 kesit hasar bölgeleri (TEC-2007 Sectional damaged areas)

TBDY-2018’de ise Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi (GÖ) olmak üzere üç farklı kesit hasar sınırı tanımlanmaktadır. Göçmenin önlenmesi kesit hasar sınırı için hesaplanan dönme kapasitesi Denklem (1)’e göre hesaplanmaktadır. Kontrollü Hasar sınırı, Göçme Öncesi kesit dönme kapasitesinin %75’i olarak tanımlanmaktadır. Sınırlı Hasar düzeyi ise kesitin elastik dönme sınırı olarak tarif edilmektedir. TBDY-2018’de tanımlı kesit hasar bölgeleri Şekil 2’de yer almaktadır.

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[ (\phi_u - \phi_y) L_p \left( 1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (1)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)} ; \theta_p^{(SH)} = 0 \quad (2)$$



Şekil 2. TBDY-2018 kesit hasar bölgeleri (TEC-2018 Sectional damaged areas)

## 2.2. Performans seviyeleri (Performance levels)

TBDY-2018 için yapı performansı sınır değerleri Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) olarak üç noktada tanımlanmaktadır. Benzer şekilde DBYBHY-2007’de bu sınır değerler Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG) ve Göçme Öncesi (GÖ) olarak adlandırılmaktaydı. Tablo 2’de her iki yönetmelik hedef performans düzeyleri kısaca özetlenmiştir. Tablo 2 incelendiğinde tanım olarak Hemen Kullanım-Sınırlı Hasar noktaları dışında bir değişikliğe gidilmediği söylenebilir. Sınırlı Hasar performans düzeyi belirgin hasar düzeyinde giriş eleman yüzdesi %20 iken Hemen Kullanım performans düzeyinde bu oranın %10 olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Performans düzeyi hasar sınırları (Targeted damage levels)

| DBYBHY-2007             |                          |          |
|-------------------------|--------------------------|----------|
| Performans Düzeyi       | İzin verilen hasar oranı |          |
|                         | Kolon                    | Kiriş    |
| Hemen Kullanım (HK)     | Tamamı MH                | BH (%10) |
| Can Güvenliği (CG)      | İH (%20)                 | İH (%30) |
| Göçme Öncesi (GÖ)       | Tamamı <                 | GB (%20) |
| TBDY-2018               |                          |          |
| Performans Düzeyi       | İzin verilen hasar oranı |          |
|                         | Kolon                    | Kiriş    |
| Sınırlı Hasar (SH)      | Tamamı SH                | BH (%20) |
| Kontrollü Hasar (KH)    | İH (%20)                 | İH (%35) |
| Göçmenin Önlenmesi (GÖ) | Tamamı <                 | GB (%20) |

### 3. Bina özellikleri ve modelleme (Building properties and modelling)

Gerçekleştirilen çalışmada daha önce inşa edilmiş 5 farklı betonarme bina kullanılmıştır (Eldemir, 2019). Binalar mevcut statik ve mimari projeleri ve yükler dikkate alınarak bilgisayar ortamında modellenmiştir. Analizler Sap2000 (CSI, 2018) programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada dikkate alınan binaların tamamı ABYYHY-1998 ve DBYBHY-2007 kriterlerine göre tasarlanmıştır. Kullanılan modellerin tamamında ilgili yönetmelik kriterlerine uygun olarak eleman uçlarında sargılama bölgesi oluşturulmuştur. Modellenen binalara ait bilgiler Tablo 3'te kısaca özetlenmiştir.

**Tablo 3.** Bina genel özellikleri (Building properties)

|         | Beton Sınıfı | Donatı Sınıfı | Kat Sayısı | Kat Yüksekliği (m)                                     | Bina Yüksekliği (m) |
|---------|--------------|---------------|------------|--|---------------------|
| Model 1 | C20/25       | BÇIII (S420)  | 4          | 2.9  | 11.6                |
| Model 2 | C20/25       | BÇIII (S420)  | 5          | 2.5 (1. ve 2. Kat)<br>2.3 (3.Kat)<br>2.8 (4. ve 5.Kat) | 12.9                |
| Model 3 | C25/30       | BÇIII (S420)  | 4          | 2.8  | 11.2                |
| Model 4 | C25/30       | BÇIII (S420)  | 5          | 2.7 (1.,3.,4.,5. Kat)<br>4.4 (2. Kat)                  | 15.2                |
| Model 5 | C20/25       | BÇIII (S420)  | 6          | 2.8  | 16.8                |

Yapısal elemanlar için çatlama kesit rijitliği değerleri ilgili yönetmeliğin kriterleri dikkate alınarak uygulanmıştır. DBYBHY-2007'de tanımlı çatlama kesit rijitliği hesabı kiriş elemanlar için Denklem 3, kolon elemanlar için eksenel yük oranına göre Denklem 4 ve 5'e göre yapılmıştır. Kolon elemanlar için ara değerler enterpolasyon ile hesaplanmıştır.

Kiriş elemanlar için:

$$(EI)_e = 0.40(EI)_0 \quad (3)$$

Kolon Elemanlar İçin:

$$N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0.10 \text{ ise:}$$

$$(EI)_e = 0.40(EI)_0 \quad (4)$$

$$N_D/(A_c f_{cm}) \geq 0.40 \text{ ise:}$$

$$(EI)_e = 0.80(EI)_0 \quad (5)$$

TBDY-2018 ile etkin kesit rijitliği hesabı da değişmiştir. Kolon elemanlar için eksenel yük düzeyinden bağımsız olarak etkin kesit rijitliği çarpanı 0.70, kirişlerde ise 0.35 alınmaktadır. Tablo 4'te tüm elemanlar için etkin kesit rijitliği çarpanları yer almaktadır.

Yapısal elemanların doğrusal olmayan davranış özellikleri plastik mafsallar yardımıyla modellere yansıtılmıştır. Plastik mafsal özelliklerini analiz programları otomatik olarak tanımlayabilmektedir. Bu seçenek modellerin oluşturulması için gerekli iş yükünü büyük oranda azaltması nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak özellikle mevcut binaların doğrusal olmayan davranış özelliklerinin yansıtılmasında otomatik plastik mafsal tanımı yetersiz kalmakta, kullanıcı tanımlı plastik mafsalların kullanılması önerilmektedir (İnel ve Özmen, 2006). Bu nedenle çalışmada kullanılan binaların doğrusal olmayan davranış özellikleri kullanıcı tanımlı plastik mafsallar kullanılarak modellere yansıtılmıştır.

Kullanıcı tanımlı plastik mafsal özelliklerinin belirlenebilmesi için her bir taşıyıcı elemana ait moment-eğrilik analizleri SEMAp programı yardımıyla Mander sargılı beton davranışı modeli (Mander vd., 1988) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Kumbasaroğlu, 2020). Moment-eğrilik davranışları elde edilen elemanların plastik mafsal hasar sınırları DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 kriterlerine uygun olarak hesaplanmıştır. Plastik mafsallar eleman alt ve üst uçlarına kesit yüksekliğinin yarısı kadar uzaklıkta atanmıştır. Yapısal elemanlarda gevrek davranış beklenmediği için kesme ve eksenel yük mafsalları tanımlanmamıştır. Her bir bina için yönetmelik plastik mafsal hasar hesaplarına göre hazırlanan iki farklı model oluşturularak kritik çerçeve aksı için statik analizler gerçekleştirilmiştir. Statik itme analizlerinde düşük-orta katlı binalarda en etkin talep dağılımı veren dikkörtgen yük deseni tercih edilmiştir (Korkmaz vd., 2006).

**Tablo 4.** TBDY-2018 etkin kesit rijitliği çarpanları (TEC-2018 effective section stiffness coefficients)

| Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı | Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı |       |
|-----------------------------------|-------------------------------|-------|
|                                   | Eksenel                       | Kayma |
| Perde-Döşeme (Düzlem İçi)         |                               |       |
| Perde                             | 0.50                          | 0.50  |
| Bodrum perdesi                    | 0.80                          | 0.50  |
| Döşeme                            | 0.25                          | 0.25  |
| Perde-Döşeme (Düzlem Dışı)        |                               |       |
| Perde                             | 0.25                          | 1.00  |
| Bodrum perdesi                    | 0.50                          | 1.00  |
| Döşeme                            | 0.25                          | 1.00  |
| Çubuk Eleman                      |                               |       |
| Bağ Kirişi                        | 0.15                          | 1.00  |
| Çerçeve Kirişi                    | 0.35                          | 1.00  |
| Çerçeve Kolonu                    | 0.70                          | 1.00  |
| Perde (eşdeğer çubuk)             | 0.50                          | 0.50  |

#### 4. Bulgular (Findings)

##### 4.1. Hakim titreşim periyotlarının karşılaştırılması (Comparison of dominant vibration periods)

Her iki yönetmelikte çatlama kesit rijitliği tanımları farklı olduğu için bina titreşim periyotları da değişkenlik göstermektedir. Tablo 5'te modal analiz sonucu elde edilen hakim titreşim periyotlarının her iki yönetmelik için karşılaştırılması her almaktadır. Tablo 5 incelendiğinde Model 4 dışındaki binalarda iki yönetmelik için hesaplanan doğal titreşim periyot oranlarının 0.98 ile 1.10 arasında değiştiği görülmektedir. Model 4'te asma kat kullanılması ve kolon eksenel yük oranlarının da düşük olmasına bağlı olarak iki yönetmelik arasındaki oran 1.15 olarak hesaplanmıştır. Genel olarak DBYBHY-2007'de çatlama kesit rijitliği hesabı kolon elemanlar için eksenel yük oranına göre yapıldığı için eksenel yük oranı düşük sistemlerde hesaplanan periyot değerleri TBDY-2018'e oranla daha yüksektir. İki yönetmelik arasındaki farkın özellikle eksenel yük düzeyi düşük yapılarda daha da artacağı öngörülebilir.

**Tablo 5.** Bina hakim periyotları (Dominant vibration periods)

| Model   | Bina Hakim Periyodu |       | Oran |
|---------|---------------------|-------|------|
|         | DBYBHY-2007         | TBDY- |      |
| Model 1 | 0.59                | 0.55  | 1.07 |
| Model 2 | 0.68                | 0.66  | 1.03 |
| Model 3 | 0.67                | 0.61  | 1.10 |
| Model 4 | 0.97                | 0.84  | 1.15 |
| Model 5 | 1.25                | 1.28  | 0.98 |

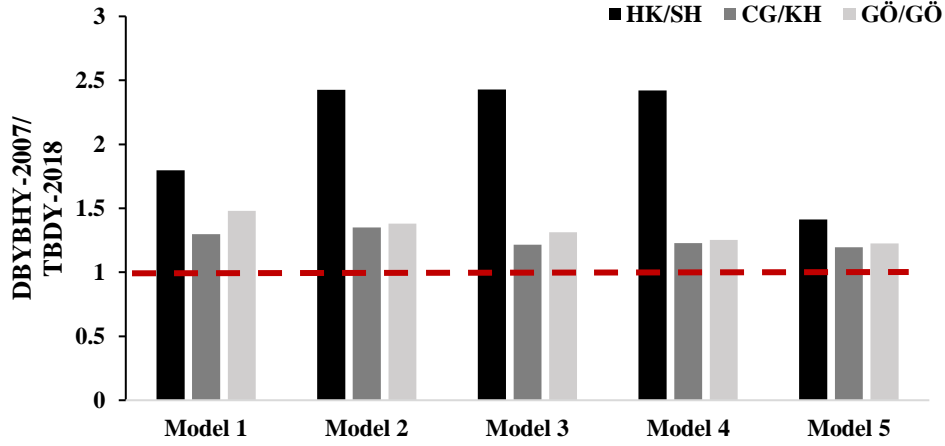
##### 4.2. Kapasite eğrileri ve performans sınırlarının karşılaştırılması (Comparison of capacity curves and performance limits)

Statik itme analizi sonrası her iki yönetmelik için hazırlanan modellerden elde edilen kapasite eğrileri ve yönetmelik performans sınırları bu bölümde karşılaştırılmıştır. Yönetmelik performans düzeyi sınır değerleri her bir bina için, taşıyıcı elemanların hasar düzeyleri hesaplanarak ilgili sınıra ulaştığı an belirlenmiştir.

Tablo 6'da performans sınır değerlerine ulaşıldığı ana karşılık gelen çatı katı deplasmanları verilmektedir. Şekil 3'te ise bu değerlerin birbirine oranları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde TBDY-2018'de tanımlı Sınırlı Hasar performans noktasının Hemen Kullanım performans noktasına oranla çok daha düşük çatı katı deplasmanları altında ulaşıldığı görülmektedir. SH düzeyinin plastik bölge sınırı olması nedeniyle kiriş elemanların MN düzeyine oranla daha düşük kesit dönmeleri altında bu sınıra ulaştığı söylenebilir. Şekil 3'te de görüldüğü gibi Hemen Kullanım/Sınırlı Hasar çatı deplasman oranı ortalama 2.1 olarak hesaplanmıştır. İki performans noktası arasındaki oran 2.4'e kadar çıkmaktadır. İzin verilen kiriş hasar yüzdesi %10'dan %20'ye çıkmasına rağmen performans sınır noktasına daha düşük talepler altında ulaşılması dikkat çekicidir. Kullanılan binalar için Can Güvenliği/Kontrollü Hasar ve Göçme Öncesi/Göçmenin önlenmesi çatı deplasman oranları ortalamaları sırasıyla 1.26 ve 1.33 olarak bulunmuştur.

**Tablo 6.** Performans noktalarına karşılık gelen çatı deplasmanları (Roof displacement values that corresponded to performance limits)

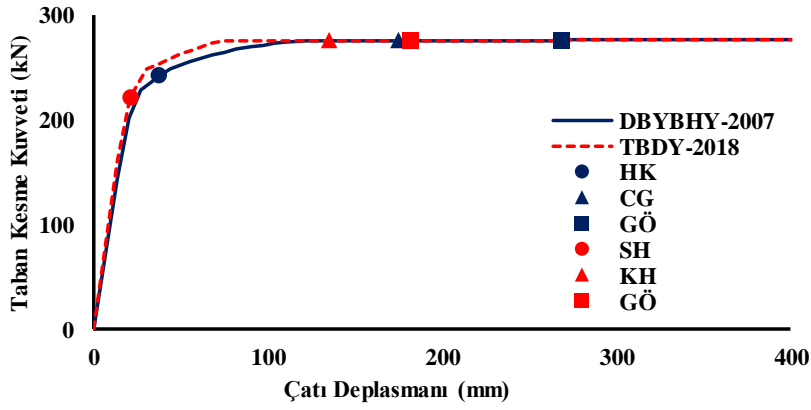
| Bina Adı | DBYBHY-2007 (mm) |        |        | TBDY-2018 (mm) |        |        |
|----------|------------------|--------|--------|----------------|--------|--------|
|          | HK               | CG     | GÖ     | SH             | KH     | GÖ     |
| Model 1  | 37.17            | 174.95 | 268.28 | 20.68          | 134.72 | 181.39 |
| Model 2  | 36.88            | 158.78 | 188.43 | 15.20          | 117.54 | 136.62 |
| Model 3  | 35.88            | 213.42 | 300.09 | 14.77          | 175.44 | 228.77 |
| Model 4  | 51.96            | 168.36 | 221.69 | 21.46          | 136.97 | 176.97 |
| Model 5  | 52.08            | 146.08 | 186.08 | 36.86          | 122.10 | 151.91 |

**Şekil 3.** Performans noktalarına karşılık gelen çatı deplasman oranları (The ratio of roof displacement values that corresponded to performance limits)

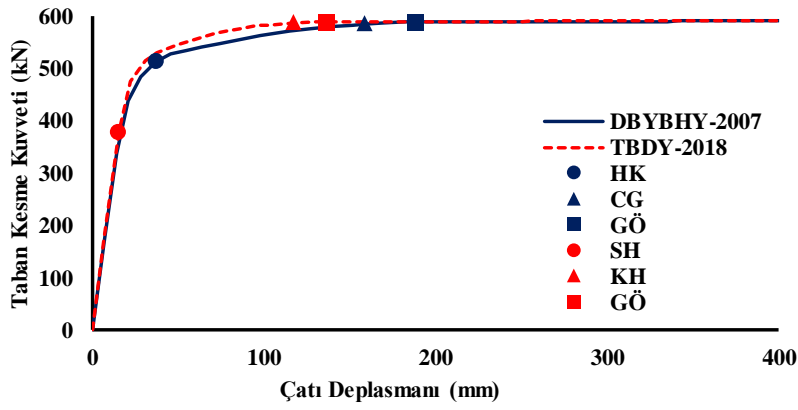
Şekil 4-8'de yönetmelik performans noktaları elde edilen kapasite eğrileri üzerinde verilmektedir. Çatlamış kesit rijitliği tanımındaki farklılık nedeniyle DBYBHY-2007 modellerinin daha düşük eğilme rijitliğine sahip olduğu görülmektedir. Ancak gözlenen fark sınırlı düzeydedir.

Kapasite eğrileri incelendiğinde, moment eğrilik analizi sonucu hesaplanan kesit akma noktalarının değişmemesi nedeniyle yapı akma noktaları da büyük oranda benzerlik göstermektedir. Ancak çatlamış kesit rijitliği tanımlarındaki farklılıklara bağlı olarak eğrilerinin eğimlerinde sınırlı düzeyde ayrışma gözlemlenmektedir. Dikkat çeken bir diğer fark ise, Sınırlı Hasar performans noktasına bina akma noktasından önce ulaşılmış olmasıdır (Balıkcı, 2019). Hemen Kullanım performans noktası ise kapasite eğrisi üzerinde yapı akma anına karşılık gelmektedir.

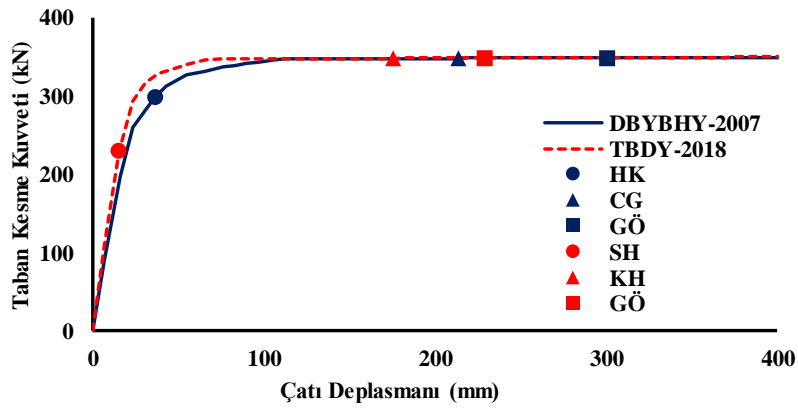
TBDY-2018 Bölüm 15.7.1.4'e göre talep kesme kuvveti ( $V_e$ )' nin Kesme Kapasitesine oranı 1.30'dan büyükse şekil değiştirme üst sınırları 0.50 ile çarpılarak azaltılmaktadır. Nervürsüz donatı kullanılması durumunda ise donatı çeliği birim şekil değiştirme ve plastik dönme talebi 1.5 ile çarpılarak arttırılmaktadır (Bölüm 15.7.1.2). Dolayısıyla ABYBHY-1997 yönetmeliğinden önce inşa edilmiş yapılar için performans hedef noktalarının bu çalışmada hesaplanan deplasman değerlerinin oldukça altında hesaplanacağı söylenebilir. Başka bir ifadeyle sünek yapım kriterlerine göre inşa edilmemiş mevcut yapıların TBDY-2018 kriterlerini sağlaması DBYBHY-2007 yönetmeliğine oranla daha düşük bir ihtimaldir.



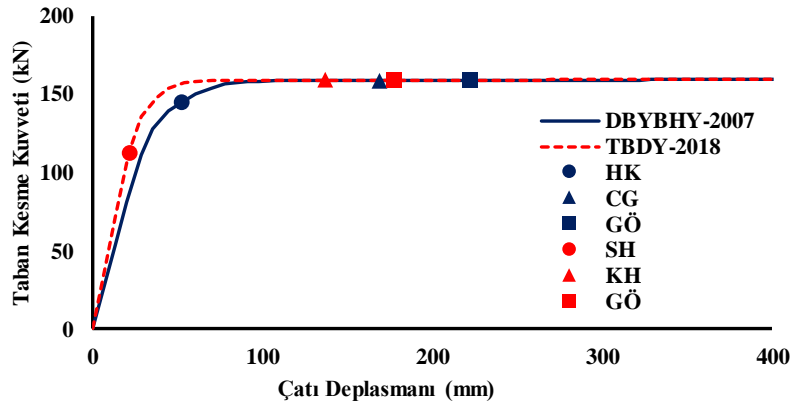
Şekil 4. Model 1'e ait kapasite eğrilerinin karşılaştırması (Comparison of capacity curves of model 1)



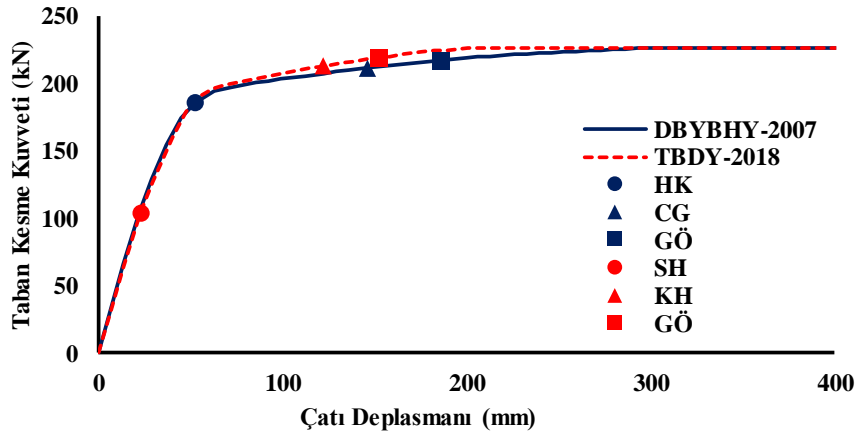
Şekil 5. Model 2'ye ait kapasite eğrilerinin karşılaştırması (Comparison of capacity curves of model 2)



Şekil 6. Model 3'e ait kapasite eğrilerinin karşılaştırması (Comparison of capacity curves of model 3)



Şekil 7. Model 4'e ait kapasite eğrilerinin karşılaştırması (Comparison of capacity curves of model 4)



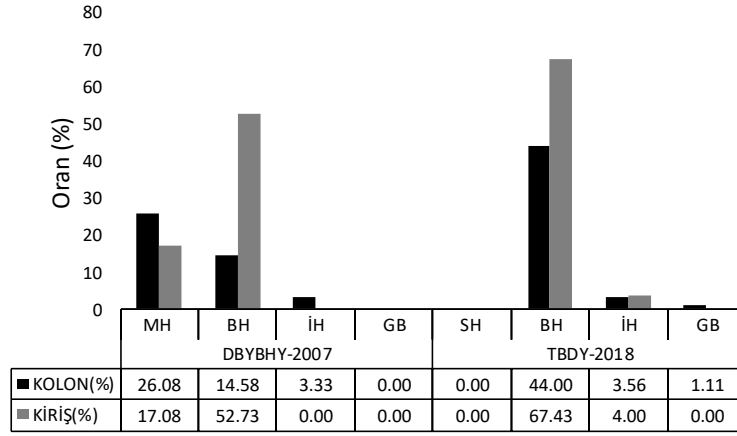
Şekil 8. Model 5'e ait kapasite eğrilerinin karşılaştırması (Comparison of capacity curves of model 4)

#### 4.3. Plastik mafsallı hasar düzeylerinin karşılaştırılması (Comparison of plastic hinge damage states)

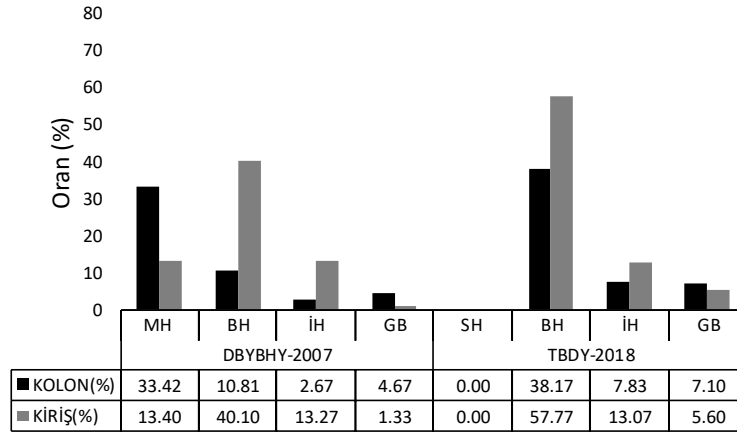
Şekil 9-11'de tüm modellere ait %1.0, %1.5 ve %2.0 çatı katı ötelenme oranları için edilen ortalama plastik mafsallı hasar dağılımları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde beklendiği gibi TBDY-2018 yönetmeliğine göre hazırlanan modellerin hasar oranlarının DBYBHY-2007 modellerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. %1 çatı katı ötelenme oranı altında DBYBHY-2007 modelleri için MH hasar düzeyindeki kirişlerin oranı %17.08 iken, TBDY-2018 modellerinin tamamının SH hasar düzeyini aştığı görülmektedir. Benzer bir durum kolon elemanlar için de gözlemlenmektedir.

TBDY-2018 modelleri GB düzeyindeki kolon oranları %1.0, %1.5 ve %2.0 çatı katı ötelenme oranları için sırasıyla %1.11, %7.10 ve %16.28 olarak hesaplanmıştır. DBYBHY-2007 modelleri için aynı oranlar %0.0, %4.67 ve %10.44 bulunmuştur. Her iki yönetmelik için yalnız plastik mafsallı hasar oranları değil plastik mafsallı desenleri de farklılık göstermektedir. Çatlamış kesit rijitliği tanımlarındaki farklılığın bu duruma neden olduğu tahmin edilmektedir. DBYBHY-2007'ye göre tanımlanan kolon çatlamış kesit rijitlikleri üst katlara doğru gidildikçe eksenel yük oranına bağlı olarak azalmaktadır. TBDY-2018'de ise tüm katlar için kolon etkin kesit rijitliği çarpanı 0.70 alınmaktadır.

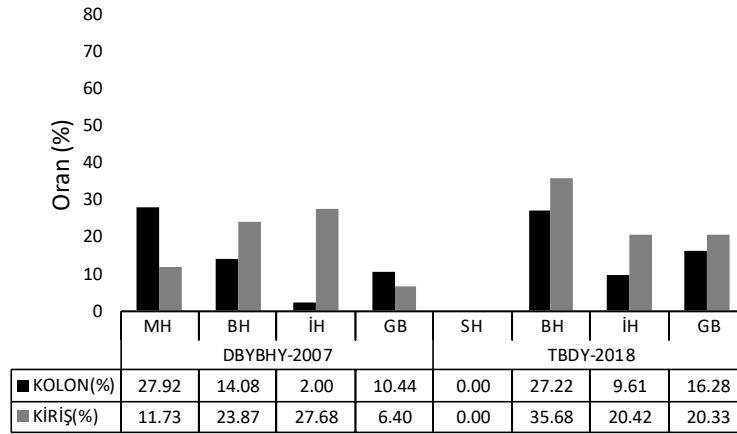
Şekil 12-14'te Model 2 binası plastik mafsallı dağılımları, %1.0, %1.5 ve %2.0 çatı katı ötelenme oranları için örnek olarak verilmiştir. %1.0 çatı ötelenme oranı altında TBDY-2018 binası son katında iki kiriş eleman Belirgin Hasar düzeyindeyken DBYBHY-2007 modelinde kiriş elemanlarda herhangi bir mafsallı oluşumu gözlemlenmemiştir. 3. ve 4. katta TBDY-2018 binası için 6 kolon elemanın 4'ü Belirgin Hasar düzeyindedir. DBYBHY-2007 binası içinse aynı katlarda 2 kolon elemanın Minimum Hasar düzeyinde olduğu görülmektedir. Her iki yönetmeliğe göre tasarlanan binalarda kesit hasar noktalarının farklılık göstermesinin yanı sıra taşıyıcı elemanların eğilme rijitliklerinin farklı olması hasar dağılımlarını da belirli ölçüde değiştirebilmektedir. Hasar mekanizması için gözlenen bu farklılıkların özellikle dinamik analiz yöntemleri için daha da artabileceği ön görülmektedir (Eldemir, 2019).



Şekil 9. %1 Çatı katı ötelenme oranı altında hasar oranları (Damage ratios for 1% roof drift)

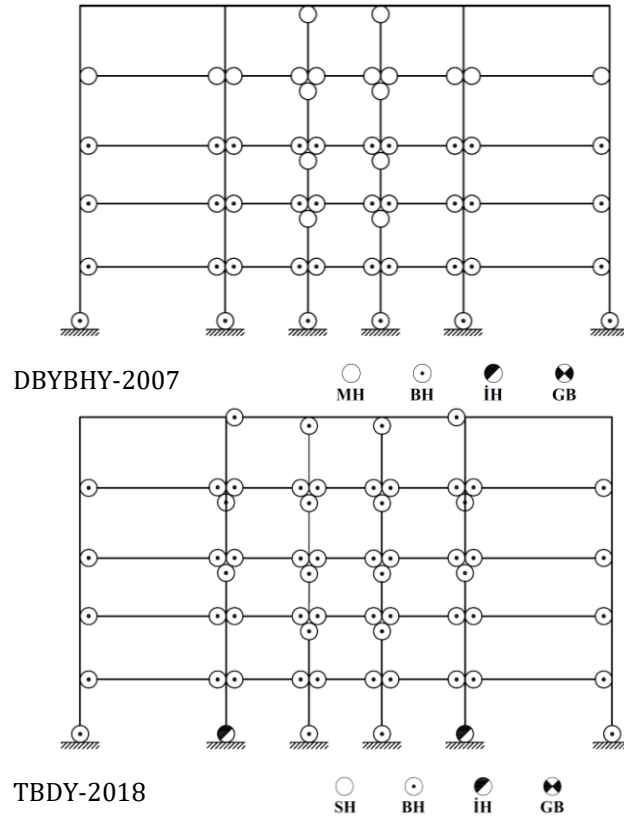


Şekil 10. %1.5 Çatı katı ötelenme oranı altında hasar oranları (Damage ratios for 1.5% roof drift)

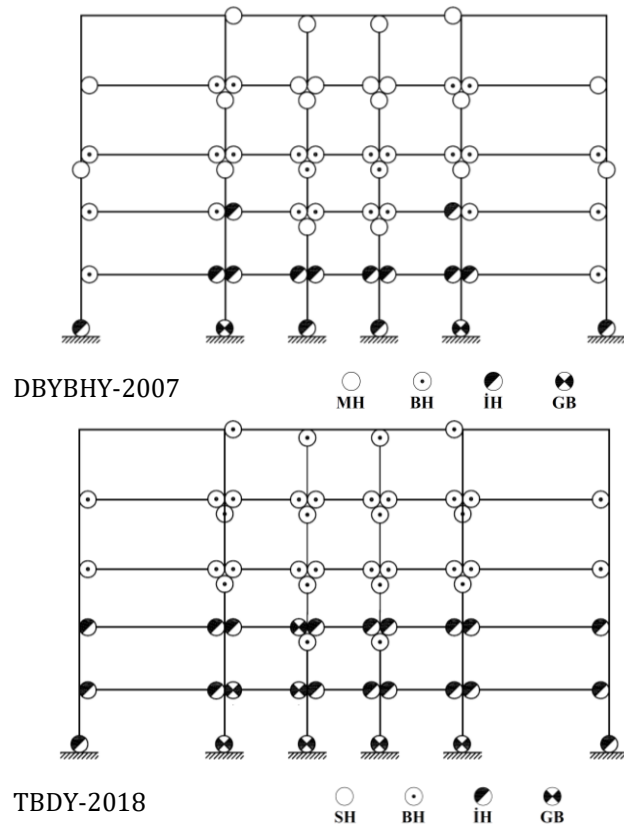


Şekil 11. %2.0 Çatı katı ötelenme oranı altında hasar oranları (Damage ratios for 2% roof drift)

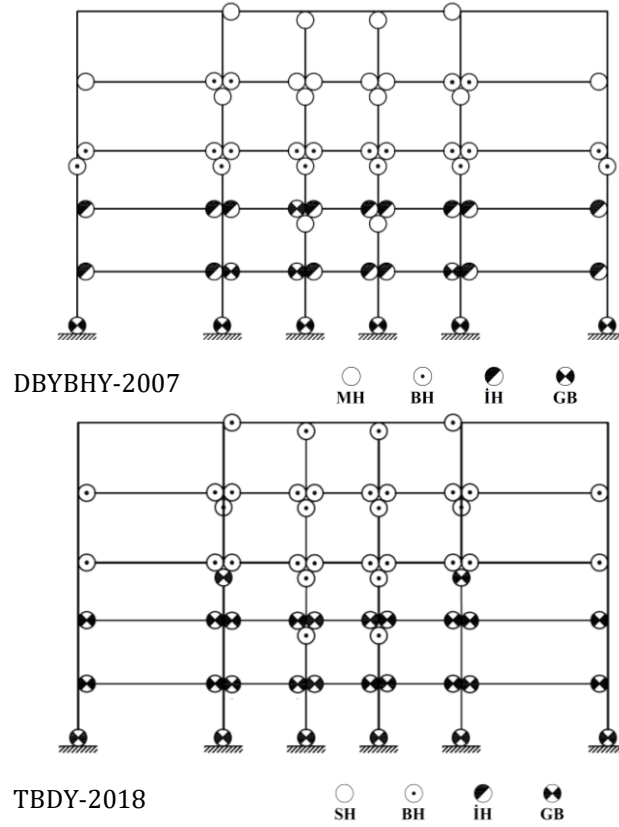




Şekil 12. Model 2 %1.0 çatı katı ötelenme oranı için plastik mafsall dağılımı (Distribution of plastic hinges for Model 2 at 1% roof drift)



Şekil 13. Model 2 %1.5 çatı katı ötelenme oranı için plastik mafsall dağılımı (Distribution of plastic hinges for Model 2 at 1.5% roof drift)



Şekil 14. Model 2 %2.0 çatı katı ötelenme oranı için plastik mafsalları dağılımı (Distribution of plastic hinges for Model 2 at 2.0% roof drift)

## 5. Sonuç ve tartışma (Result and discussion)

Gerçekleştirilen çalışmada DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmelikleri plastik mafsalları hasar sınırları karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda daha önce inşa edilmiş 5 adet betonarme bina bilgisayar ortamında modellenerek statik analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde her iki yönetmeliğin kesit hasar sınır tanımlarının büyük farklılıklar içerdiği görülmektedir. Hesaplanan performans sınır noktalarına daha erken ulaşılmış olması nedeniyle TBDY-2018'in daha tutucu sonuçlar verdiği söylenebilir. TBDY-2018 Sınırlı Hasar performans düzeyine karşılık gelen çatı katı deplasman değeri DBYBHY-2007 Hemen Kullanım performans düzeyine göre ortalama %100 daha düşük hesaplanmıştır. Kontrollü Hasar ve Göçme Öncesi performans düzeylerine de Can Güvenliği ve Göçmenin Önlenmesi performans düzeylerine göre sırasıyla %25 ve %33 daha düşük deplasman değerleri altında ulaşılmaktadır. Dikkat çeken bir diğer nokta da Sınırlı Hasar performans düzeyine sistemin akma noktasından önce ulaşılmış olmasıdır. DBYBHY-2007'de kolon çatlamış kesit rijitlik katsayıları eksenel yük oranına bağlı olarak hesaplanmaktayken TBDY-2018'de tüm kolon elemanları için 0.70 değeri kullanılmaktadır. Özellikle eksenel yük oranının azaldığı üst katlarda her iki yönetmelik için hesaplanan eğilme rijitlikleri arasında farklar artmaktadır. DBYBHY-2007 kriterlerine göre modellenen binalarda baskın mod titreşim periyotları ortalama %5.5 daha yüksek hesaplanmıştır. Eğilme rijitliğindeki değişime bağlı olarak kapasite eğrilerinin eğimi ve akma noktasına ulaşan eleman sayıları da farklılık göstermektedir. Hasar sınırlarına daha düşük deplasman düzeylerinde ulaşılması nedeniyle DBYBHY-2007 kriterlerine göre yeterli düzeyde olan bir yapının TBDY-2018 performans kriterlerini sağlamama ihtimali bulunmaktadır.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

### Kaynaklar (References)

- ABYBHY, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Balıkçı, İ., 2019. Mevcut Binaların Deprem Performanslarının 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

- Elçi, H., Göker, K.A., 2018. Deprem Yönetmeliklerinin (TDY 2007 ve TBDY 2018) Betonarme Kolonların Deprem Performansı Açısından Karşılaştırılması, *International Journal of Scientific and Technological Research (Online)*, 4(6), 9-21.
- Eldemir, O., 2019. DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 Yönetmeliklerinin Mevcut Yapıların Sismik Davranış Özellikleri Açısından Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Eurocode 8, 2004. Design of Structures for Earthquake Resistance-Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings, European Committee for Standardization, Brussels.
- Foroughi, S., Jamal, R., Yüksel, S.B., 2020. Şekil Değiştirme Esaslı Hasar Sınırlarının Belirlenmesinde Sargı Donatısının Ve Eksenel Yükün Etkisi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 1042-1052.
- İnel M., Özmen H.B., 2006. Effects Of Plastic Hinge Properties in Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Buildings, *Engineering Structures*, 28(11), 1494-1502.
- Korkmaz, K.A., Düzgün, M., 2006. Statik Artımsal İtme Analizinde Kullanılan Yük Dağılımlarının Değerlendirilmesi, *İMO Teknik Dergi*, 255, 3873-3878.
- Kumbasaroğlu, A., 2020. Effect of Anchor Bars on Seismic Behavior of Infilled Walled Frames. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(10), 2980-2992.
- Mander J.B., Priestley M.J.N., Park R., 1988. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *ASCE: Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804-1826.
- Özmen, H.B., 2011. Düşük Ve Orta Yükseklikteki Betonarme Yapıların Deprem Performanslarını Etkileyen Faktörlerin İrdelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Özmen, H.B., İnel, M., Şenel Ş.M., Kayhan A.H., 2015. Load carrying system characteristics of existing Turkish RC building stock, *International Journal of Civil Engineering*, 13(1), 76-91.
- Safkan, I., 2012. Comparison of Eurocode 8 and Turkish Earthquake Code 2007 for Residential RC Buildings in Cyprus, *Proceedings of the 15th Conference on Earthquake Engineering, Lizbon, Portekiz*.
- CSI, 2018. SAP2000 Ultimate, Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Version 20.0.0, Computers and Structures Inc., Berkeley, CA, USA.
- Semap, 2008. Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı; Tubitak Proje No:105M024.
- Sucuoğlu, H., 2006. 2007 Deprem Yönetmeliği Performans Esaslı Hesap Yöntemlerinin Karşılıklı Değerlendirilmesi, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 4(5), 24-36.
- Sümer, Y., Hamsici, M., 2020. Çok Katlı Betonarme Binalarda 2018 Deprem Yönetmeliği İle Tanımlanan Spektrum Eğrilerinin Etkisi, *Academic Platform Journal of Engineering and Science* 8(2), 349-354.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Ulutaş, H., 2019. DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) Deprem Yönetmeliklerinin Kesit Hasar Sınırları Açısından Kıyaslanması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17, 351-359.



## CLASSIFICATION OF USER COMMENTS IN A MOBILE APPLICATION USING DATA AUGMENTATION WITH MACHINE LEARNING TECHNIQUES

Özer ÇELİK, Gürkan KAPLAN\*

Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Science and Letter, Department of Mathematics and Computer Science, Eskişehir, Turkey

### Keywords

*Text Classification,  
Machine Learning,  
Artificial Intelligence,  
Natural Language  
Processing.*

### Abstract

With the increasing use of social media in recent years, there are too many comments to be followed on almost every issue. These comments contain both important and unimportant information. But, it is almost impossible to follow of so many comments nowadays. In this study, text classification of user comments made to the Anadolu University mobile application was made. It was estimated whether the comments made on the application were related to the content or the application. In addition, the effect of oversampling and undersampling on text classification performance was investigated. For this purpose, synthetic minority oversampling technique (Smote), condensed nearest neighbor undersampling technique (CNN) and random undersampling (RUS) technique were applied to the data set. 1008 user comments received from mobile application were classified by these techniques. In the Smote oversampling classification, ANN algorithm was found to have the best classification with 93.57% accuracy. In the undersampling classification, Random Forest algorithm was found to have the best classifications with 72.22% accuracy. In the random sampling classification, Extreme Gradient Boosting algorithm was found to have the best classification with 84.44% accuracy.

## MAKİNE ÖĞRENMESİ TEKNİKLERİ İLE VERİ ÇOĞALTMA KULLANARAK BİR MOBİL UYGULAMADA KULLANICI YORUMLARININ SINIFLANDIRILMASI

### Anahtar Kelimeler

*Metin Sınıflandırma,  
Makine Öğrenmesi,  
Yapay Zeka,  
Doğal Dil İşleme.*

### Öz

Son yıllarda sosyal medya kullanımının artması ile beraber neredeyse her konuda takip edilemeyecek kadar çok yorum bulunmaktadır. Bu yorumlar hem olumlu hem de olumsuz yorumlar içermektedir. Fakat günümüzde çok sayıda yorumu takip etmek neredeyse imkansızdır. Bu çalışmada açık erişimli Anadolu Üniversitesi'nin mobil uygulamasına yapılan kullanıcı yorumlarının çeşitli makine öğrenmesi teknikleri ile metin sınıflandırması yapıldı. Uygulamaya yapılan yorumların içerikle mi yoksa uygulama ile mi ilgili olduğu tahmin edilmeye çalışıldı. Buna ek olarak aşırı örnekleme ve az örneklemenin metin sınıflandırma performansına etkisi incelendi. Bu amaçla sentetik azınlık aşırı örnekleme tekniği (Smote), yoğun en yakın komşu az örnekleme tekniği (CNN) ve rasgele az örnekleme tekniği (RUS) veri setine uygulandı. Mobil uygulamadan alınan 1008 kullanıcı yorumu içerik ve uygulama açısından süreçlerden geçirilerek sınıflandırıldı. Smote aşırı örnekleme sınıflandırmasında ANN algoritması %93.57 doğrulukla en iyi sınıflandırma olarak bulundu. CNN algoritmasında Rassal Orman algoritması %72.22 doğrulukla en iyi sınıflandırmalar olarak bulundu. RUS tekniğinde ise Aşırı Gradient artırma %84.44 doğrulukla en iyi sınıflandırma olarak bulundu.

### Alıntı / Cite

Çelik, Ö., Kaplan, G., (2021). Classification of User Comments in A Mobile Application Using Data Augmentation with Machine Learning Techniques, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(4), 1398-1407.

\* Corresponding author: gkaplan@ogu.edu.tr, +90-222-239-3750

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process  |            |
|--|----------------------------------|------------|
| Ö. Çelik, 0000-0002-4409-3101            | Başvuru Tarihi / Submission Date | 30.03.2021 |
| G. Kaplan, 0000-0002-6393-5546           | Revizyon Tarihi / Revision Date  | 05.08.2021 |
|  | Kabul Tarihi / Accepted Date     | 10.08.2021 |
|  | Yayın Tarihi / Published Date    | 20.12.2021 |

## 1. Introduction

Text classification has many different application areas. For example, determining the subject of a new book in the library and determining the appropriate place among the books with a similar theme is a text classification problem. If this is done by computer instead of human labor, the process is called computerized text classification. Many applications such as filtering spam, determining the author or language of a text, document indexing, determining word meaning are examples of text classification applications. On the other hand, other types of classification applications can be realized with text classification solution methods. In the application of the classification of speeches, it can be ensured that speech is assigned to the appropriate class by performing text classification after speech recognition process.

## 2. Literature Survey

The problem of classification of multiple media such as video was solved by reducing the problem of classification of texts related to multiple media in the document (Tantuğ, 2016). With the advances in technology, text classification has become increasingly important with computer aided communication tools such as e-mail, forum and chat rooms. Since applications such as blog areas, which are constantly updated, are used by millions of people, tracking is very difficult. Although studies focused on content analysis in the past, the number of those focusing on classification of the contents were limited. The reason for this is that it is difficult to classify the mood of a text. With the advances in artificial intelligence studies, this difficulty has been eliminated. Natural language processing models require the use of prior knowledge for text classification. Machine learning approaches use supervised learning algorithms to create annotated models. For text classification, machine learning techniques tend to achieve better results than natural language processing techniques, as they can better adapt to different areas and conditions (Chaffar and Inkpen, 2011).

In literature, Tufekci et al., used the reduced feature vector to classify web-based news texts using Turkish grammar features. Results obtained from Naive Bayes, SVM, C4.5 and RF classification methods were generally higher, but the highest success was obtained from Naive Bayes algorithm with 92.73% accuracy (Tufekci et al., 2012). Unlike other languages, when the literature is searched, text classification has not been studied very much on Turkish texts. It is noteworthy that the number of Turkish text classification studies is small. Amasyalı and Yıldırım developed a system for text classification and achieved a success rate of 76% (Amasyalı et al., 2004). Amasyalı and Diri used the N-grams character and examined some classification algorithms to determine the author of the text, the type of text and the gender of the author. Success in these problems was 83%, 93% and 96%, respectively [Amasyalı et al., 2006]. Yıldız et al. achieved a 96.25% success rate with Naive Bayes algorithm by proposing a new feature extraction method for text classification (Yıldız et al., 2007). Güven et al. Applied Latent Semantic Analysis method in N-gram word documents (Güven et al., 2006). Özgür et al. developed anti-spam filtering methods for Turkish and agglutin languages in general and achieved 90% success with the help of ANN and Bayesian Networks algorithms (Özgür et al., 2004). Güran et al. applied a variety of classification methods to a Turkish dataset in which the words unigram, bigram and trigram were represented and generally achieved high classification rates. The best results were 95.83%, 93.17% and 52.83%, respectively (Güran et al., 2009). Twitter text classifications were made in some articles (Sriram et al., 2010; Jordan et al., 2019). Short text classification was made and semantic correlations were examined (Shi et al., 2018). Troll account detection was made and 93.93% success was achieved (Bengisu et al., 2021).

## 3. Material and Method

The purpose of machine learning is to identify complex problems with the help of computers and to present rational solutions to them. This shows that machine learning is closely related to areas such as statistics, artificial intelligence, data mining and computer science, and requires a interdisciplinary study. Regression methods are integral components of data analysis to explain the relationship between one or more explanatory variables and a result variable. One of the first studies with machine learning techniques was done by Vapnik (Vapnik, 1995). In this study, Vapnik used the Support Vector Machine for the solution of the regression problems. The method used in this study showed high success rates in many regression and time series prediction problems (Müller et al., 1997). Today, with the developments in technology, the use of machine learning techniques is increasing. The following part deals with machine learning techniques used in this study.

In the case of a large number of socio economic and medical research results consisting of two or multi-level categorical data, Logistic Regression (LR) Analysis is preferred to investigate cause-effect relationship between the dependent variable and the independent variables.

In the K-Nearest Neighborhood (KNN) classification method, data is assigned to the class most frequently represented among the closest data in the sample. The closest data is determined by calculating the Euclidean distance function. K, in this classification, is the nearest number of data to be considered (Schlögl et al., 2005). Parameters used in this study: n\_neighbors: 2, algorithm: ball tree, leaf\_size: 30, metric: minkowski.

Support vector machine (SVM) is a machine learning technique used in various text classification problems. SVMs follow the principle of structural risk minimization. The aim in viewing the data as points in a high-dimensional feature space is to fit a hyperplane between the positive and negative samples to maximize the distance between the data points and the plane. (Schwarm and Ostendorf, 2015). Parameters used in this study: leaf\_size: 30, metric: minkowski.

Naive Bayes (NB) is a simple model that works well on text. This method, commonly used for classification, is based on Bayes theorem, which is a fundamental theorem of probability. Naive Bayes classifiers suppose that an attribute value is independent of classes. This situation is called class conditional independence. Bayesian formula is as (1).

$$P(A | B) = \frac{P(B | A)P(A)}{P(B)} \tag{1}$$

A decision tree (DT) is defined as a classification that repeatedly divides a dataset into smaller subdivisions relative to a set of tests defined in each node of the tree. Decision trees are not parameterized and do not require a hypothesis about the input data. In addition, they handle nonlinear relationships between data, allow for missing data, and can handle both numerical and categorical inputs (Friedl and Brodley, 1997). Parameters used in this study: criterion: entropy, random\_state: 0, splitter: best, max\_depth: none, min\_samples\_split: 2, min\_samples\_leaf: 1, min\_weight\_fraction\_leaf: 0.0, max\_features: none, max\_leaf\_nodes: none, class\_weight: none.

Random Forest (RF) is a statistical learning algorithm that uses a large set of decision trees for both regression and classification tasks. Due to its high accuracy, robustness and ability to deliver information according to the order of its properties, RF is effectively applied to various machine learning applications including bioinformatics and medical imaging. The basic Random Forest classification describes: a descriptive evaluation of training data, the most accurate Random Forest values, and a set of predictive accuracy measures with evaluation of results (Petkovic et al., 2018). Parameters used in this study: criterion: entropy, n\_estimators: 100, random\_state: 0, max\_depth: none, min\_samples\_split: 2, min\_samples\_leaf: 1, max\_features: auto, bootstrap: true, oob\_score: false, verbose: 0, ccp\_alpha: 0.

The main purpose of Adaboost (ADB) classification is to combine the outputs of a series of weak learners. Each weak learner represents a decision tree and an artificial network. In each round, the weights of misclassified samples are increased, and the weights of the correctly classified samples are decreased. This process continues until changes in weights become insignificant. Parameters used in this study: base\_estimator: none, n\_estimators: 50, learning\_rate: 1, algorithm: Samme.r, random\_state: 0.

Gradient Boosting (GB) is a decision tree-based method and it is based on a gradient increase that differs from the random forest based on the boot stack. The approach is generally used as a basic learner with decision trees in a fixed size and in this context it is called gradient tree strengthening (Hu and Min, 2018). This machine learning method is widely used to provide the most advanced results in some challenging datasets. The main idea of this model is to create a strong classifier by improving weak classifiers through multiple iterations to achieve the desired final combination. Each iteration reduces the remains of the previous model. It is designed to improve the previous result by creating a new combination model in the direction of the remaining (Yang et al., 2018). Parameters used in this study: n\_estimators: 500, max\_depth: 4, min\_samples\_split: 5, learning\_rate: 0.01, loss: ls.

Extreme Gradient Boosting (XGBoost) is a supervised learning algorithm that helps to predict the result by combining the predictions of a simpler and weaker model. It is faster than Gradient boosting algorithm. It tries to minimize the error by learning iteratively from previously created weak models (Monisha et al., 2018). XGBoost has always been faster than other apps and really faster compared to other algorithms. XGBoost is well-versed in datasets in classification and regression predictive modelling.

Artificial neural networks (ANN) have been developed based on the human brain’s biological neural networks and are an information processing system designed to perform the functions of these networks (Celik and Osmanoglu, 2019). An ANN has hundreds of neurons interconnected. Inputs take various forms and structures of information based on a weighting and attempt to learn about the data to produce accurate output. ANNs use a learning rule called back propagation.

### 3. 1. Resampling Techniques

In resampling techniques, the imbalance is that the sample size of one class is much higher or lower than the other class or classes. Data samples belonging to small classes are misclassified more often than those belonging to common classes (Sun et al., 2007). Oversampling and inadequate sampling in data analysis are techniques used to adjust the class distribution of a data set.

Synthetic Minority Oversampling Technique(SMOTE) is a technique used to appropriately increase the number of samples in your data set. This technique creates new samples from the samples in the dataset. The technique does not change the number of majority samples. Newly created samples are not copies of existing ones. The technique takes the properties in that area for the treated class and its nearest neighbors and creates new samples by combining the characteristics with the neighbors. This approach enhances the properties of each class and generalizes the samples. Smote only changes the number of minorities. Synthetic samples generated from large and relatively few specific decision zones. The working algorithm of the technique is shown in Table 1 (Chawla et al., 2002):

**Table 1.** Algorithm of Smote

| <b>ALGORITHM 1: Smote’s code block</b> |   |
|--|---|
|  | <b>Input:</b> T ← Number of minority class samples  |
|  | <b>Input:</b> N ← Amount of Smote   |
|  | <b>Input:</b> k ← Number of nearest neighbour   |
|  | <b>If</b> N<100 <b>then</b><br>T ← (N/100) x T<br>N ← 100<br><b>end</b>   |
|  | N ← (int) (N/100)   |
|  | Numattrs ← 0  |
|  | Sample[] ← []   |
|  | Newindex ← 0  |
|  | Synthetic[] ← []  |
|  | <b>for</b> i=1 to T <b>do</b><br>nnarray ← Compute k nearest neighbours for I<br>Populate(N, i, nnarray)<br><b>end</b>  |
|  | <b>Populate</b> (N, i, nnarray)<br><b>while</b> N<>0 <b>do</b><br>nn ← rand(1)<br><b>for</b> attr=1 to matters <b>do</b><br>dif ← Sample[ nnarray[nn]][attr] - Sample[i][attr]<br>gap ← rand(1)<br>Synthetic[newindex][attr] ← Sample[i][attr] + gap x dif<br><b>end</b><br>newindex ← newindex +1<br>N ← N - 1<br><b>end</b> |

The Condensed Nearest Neighbor uses the nearest 1 neighbor to decide whether to use a sample. The algorithm is running as followed:

- Get all minority samples into a C set.
- Add a sample from the desired class to C and also add the other sample of that class to the S set.
- Go through the S set and classify each sample with the nearest 1 neighbour rule.
- If the selected sample is not correctly classified, add it to the C set.
- Repeat until there are no misclassified samples in the S set.

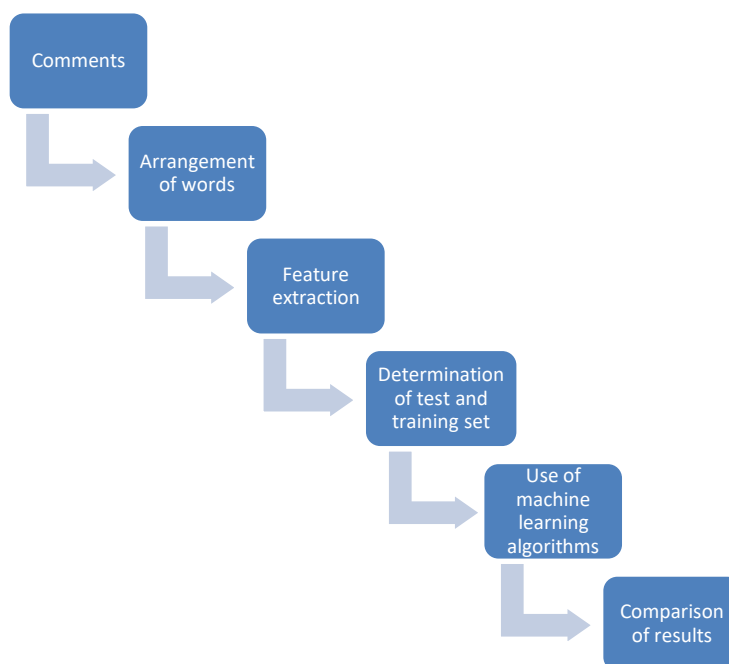
Random Undersampling Technique randomly removes samples that belong to the Majority class. You can modify the samples while performing these operations. This is to reduce the unbalanced of the data set. However, there

are some drawbacks of these operations, such as increasing variance and removing important instances from the class (Fernández et al., 2018).

### 3.2. Proposed Method

In this study, text classification was performed with various machine learning techniques of user comments made to the mobile application of Anadolu University. It was estimated whether the comments made on the application were related to the content or the application. In addition, the effect of oversampling and undersampling on text classification performance was investigated. 1008 user comments received from mobile application were classified following examination in terms of content or application. Before this classification process, dataset was pre-processed and the required scaling was made. After this stage, comments were passed through various machine learning techniques and it was determined which statistical classification gave better results in different situations. Python programming language was used for the machine learning techniques applied to the dataset used in the study.

In data Pre-Processing stage; before the machine learning techniques were applied, dataset was analyzed using the following steps. The flowchart of the process is as follows.



**Figure 1.** Data Pre-Processing State

1- user name, gender and playstore scoring sections were not included in the training because text classification will be made. Only people's comments were included.

2- By applying filtering according to Turkish alphabet, punctuation marks, numbers, etc. non-alphabet characters were deleted.

3- By getting token each word in a sentence:

- All uppercase letters converted to lowercase.

- The words called stopwords in the Turkish language were deleted by applying "stopwords" filter.

- The root of each word was determined using TurkishStemmer and the sentences were re-created with the root form.

4- The most used 1000 words for the processed matrix were determined by "CountVectorizer Max Features" method, and 1008x1000 dimensional matrix was formed (Application: 933, Content: 75).

5- The comments made to the dataset were divided into 933 and 77 comments as application and content respectively and an unbalanced dataset was obtained in the first phase. To get rid of this problem, the dataset was resampled. The unbalanced dataset creates difficulties for typical classifiers such as decision tree induction systems or multilayer sensors designed to optimize overall accuracy without taking into account the relative distribution of each class (Estabrooks, 2000). Resampling methods are commonly used to cope with the problem of class imbalance. Although it is very easy to implement these approaches, setting them in the most effective way



involves several challenges. In particular, it should be well established whether over-sampling is more effective than inadequate sampling and which sampling rate should be used (Estabrooks et al., 2004).

6- The test and training clusters used in the dataset were determined as 0.3 and 0.7, respectively.

7- Oversampling was performed using Smote technique.

- Before: Application: 933, Content: 75
- After: Application: 933, Content: 933
- CountVectorizer (1000 feature selected with Max Features parameter)
- 500 of 1000 features selected with Principal Component Analysis(PCA) technique (n=500)

8- Undersampling was performed using CNN technique.

- Before: Application: 933, Content: 75
- After: Application: 156, Content: 75

9- Random Resampling(RUS) was performed.

- Before: Application: 933, Content: 75
- After: Application: 75, Content: 75

10- Comparing to results of three technique.

In statistical statistical analysis, Accuracy ratios were calculated using confusion matrix after the machine learning techniques were applied to the dataset used in the study. The confusion matrix is the matrix that gives the numbers of correctly and incorrectly classified data groups in a dataset.

The Accuracy Rate (ACC), a commonly used success evaluation method, was used in our study. Accuracy rate is the ratio of samples determined by the systems as the correct result(True Positive (TP) and True Negative (TN)) to all sample number. And the error rate is the rate of the sample number calculated false (False Positive (FP) and False Negative (FN)) to all sample number. It is expected to have the accuracy rate is higher than the false rate at the end of the study [Celik and Osmanoglu, 2019]. Confusion matrix is shown in Table 2.

**Table 2.** Confusion matrix

| Data Set     | Actual(1)                 | Actual(0)   | Accuracy(%)                     |
|--------------|---------------------------|-------------|---------------------------------|
| Predict (1)  | TP                        | FP          | Precision Score                 |
| Predict (0)  | FN                        | TN          | Negative Predictive Value (NPV) |
| Accuracy (%) | Recall Score, Sensitivity | Specificity | ACC                             |

Success scores are calculated with the help of the confusion matrix. The success measures and formulas used in our study, which were calculated with the help of Confusion Matrix;

$$ACC = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN) \tag{2}$$

$$Precision = TP / (TP + FP) \tag{3}$$

$$NPV = TN / (TN + FN) \tag{4}$$

$$Recall = TP / (TP + FN) \tag{5}$$

$$Specificity = TN / (FP + TN) \tag{6}$$

There are several more accuracy scores calculated with the help of confusion matrix. In addition to, power of the study, type II error, type I error are calculated respectively via TP value, FN value and FP value. For all analysis and processing, a computer with Windows 10 64-bit operating system, quad-core Intel Skylake Core i5-6500 CPU with 3.2 GHz 6MB Cache and 8GB 2400MHz DDR4 Ram memory were used.

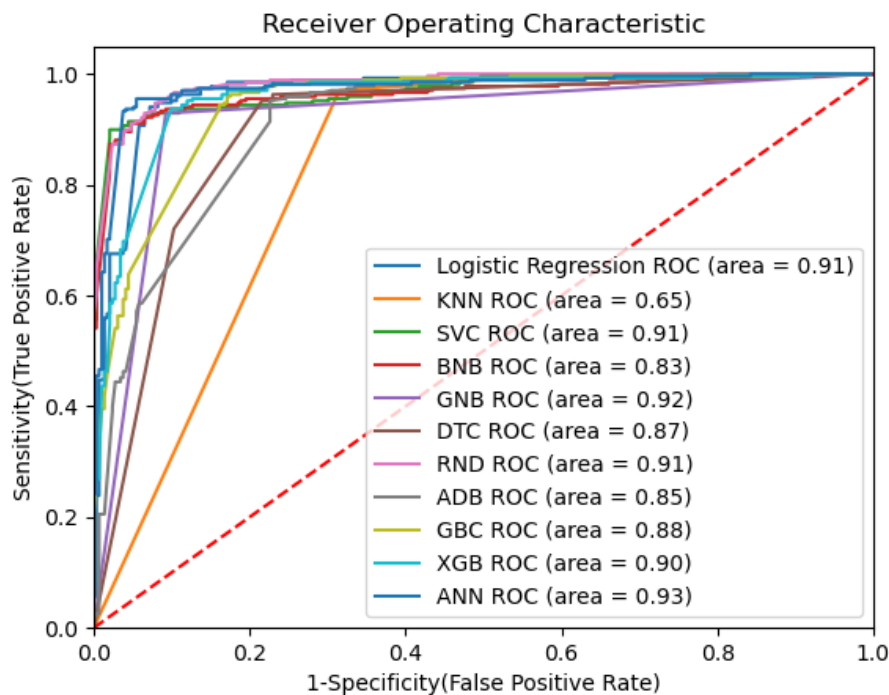
#### 4. Experimental Results

In this study, classification of the user comments made to the mobile application of Anadolu University was carried out by using machine learning techniques. Full results of the study is shown in Table 3 and ROC graphics of the study

are shown in Figure 2, Figure 3, Figure 4. The confusion matrixes of the methods that give the best results from the techniques are shown in Table4, Table5 and Table 6.

**Table 3.** Results of the study

|             | (%)   | LR    | KNN       | SVM   | BNB   | GNB       | DT    | RF           | ADB   | GB    | XGB          | ANN          |
|-------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|--------------|-------|-------|--------------|--------------|
| Specificity | RUS   | 90,48 | 81,82     | 93,33 | 77,78 | 66,67     | 78,57 | 92,86        | 77,78 | 90,91 | 95,24        | 84,21        |
|             | CNN   | 50,00 | 39,29     | 0,00  | 25,00 | 46,43     | 44,00 | 58,33        | 50,00 | 53,33 | 50,00        | 40,00        |
|             | SMOTE | 86,91 | 58,26     | 87,76 | 75,07 | 90,15     | 83,44 | 86,09        | 77,85 | 82,33 | 84,36        | 91,43        |
| Sensitivity | RUS   | 70,83 | 50,00     | 60,00 | 47,22 | 50,00     | 76,47 | 58,06        | 72,22 | 73,91 | 75,00        | 61,54        |
|             | CNN   | 72,58 | 75,00     | 69,44 | 69,12 | 79,55     | 76,60 | 75,00        | 76,92 | 75,44 | 75,93        | 74,47        |
|             | SMOTE | 96,56 | 100,0     | 93,80 | 95,81 | 92,66     | 95,63 | 96,90        | 93,62 | 97,12 | 96,44        | 95,71        |
| NPV         | RUS   | 73,08 | 34,62     | 53,85 | 26,92 | 53,85     | 84,62 | 50,00        | 80,77 | 76,92 | 76,92        | 61,54        |
|             | CNN   | 22,73 | 50,00     | 0,00  | 4,55  | 59,09     | 50,00 | 31,82        | 45,45 | 36,36 | 40,91        | 45,45        |
|             | SMOTE | 96,64 | 100,0     | 93,66 | 96,64 | 92,16     | 95,90 | 97,01        | 94,40 | 97,39 | 96,64        | 95,52        |
| Precision   | RUS   | 89,47 | 89,47     | 94,74 | 89,47 | 63,16     | 68,42 | 94,74        | 68,42 | 89,47 | 94,74        | 84,21        |
|             | CNN   | 90,00 | 66,00     | 100,0 | 94,00 | 70,00     | 72,00 | 90,00        | 80,00 | 86,00 | 82,00        | 70,00        |
|             | SMOTE | 86,64 | 34,25     | 88,01 | 70,55 | 90,75     | 82,53 | 85,62        | 75,34 | 80,82 | 83,56        | 91,78        |
| ROC AUC     | RUS   | 71    | <b>78</b> | 76    | 67    | 60        | 67    | 75           | 73    | 75    | <b>78</b>    | 64           |
|             | CNN   | 60    | 50        | 54    | 50    | <b>65</b> | 47    | 56           | 51    | 64    | 63           | 59           |
|             | SMOTE | 91    | 65        | 91    | 83    | 92        | 87    | 91           | 85    | 88    | 90           | <b>93</b>    |
| ACC         | RUS   | 80,00 | 57,78     | 71,11 | 53,33 | 57,78     | 77,78 | 68,89        | 75,56 | 82,22 | <b>84,44</b> | 71,11        |
|             | CNN   | 69,44 | 61,11     | 69,44 | 66,67 | 66,67     | 65,28 | <b>72,22</b> | 69,44 | 70,83 | 69,44        | 62,50        |
|             | SMOTE | 91,42 | 65,71     | 90,71 | 83,04 | 91,43     | 88,93 | 91,07        | 84,46 | 88,75 | 89,82        | <b>93,57</b> |



**Figure 2.** ROC graphs of oversampling technique (SMOTE)

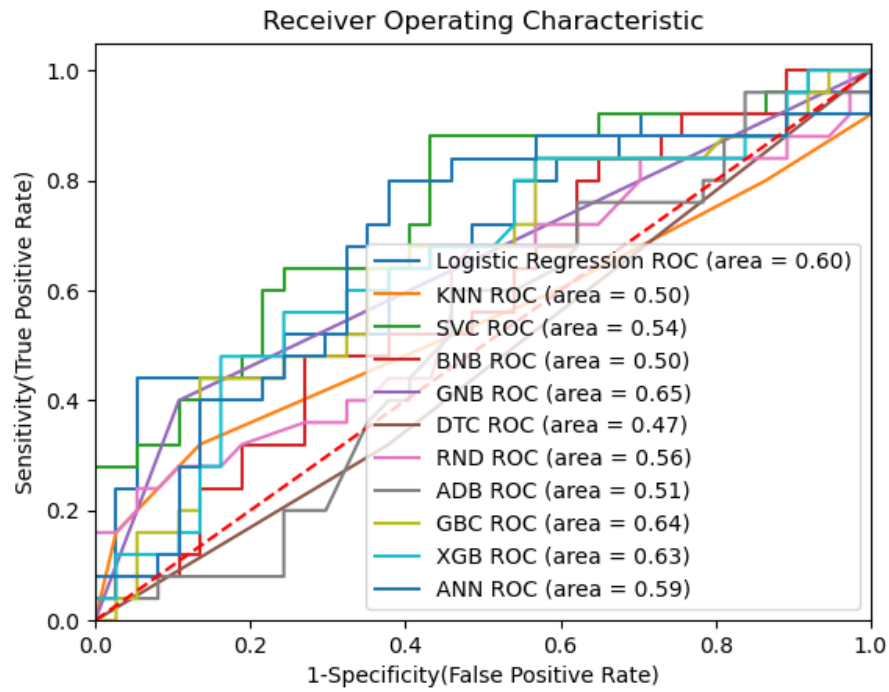


Figure 3. ROC graphs of undersampling technique (CNN)

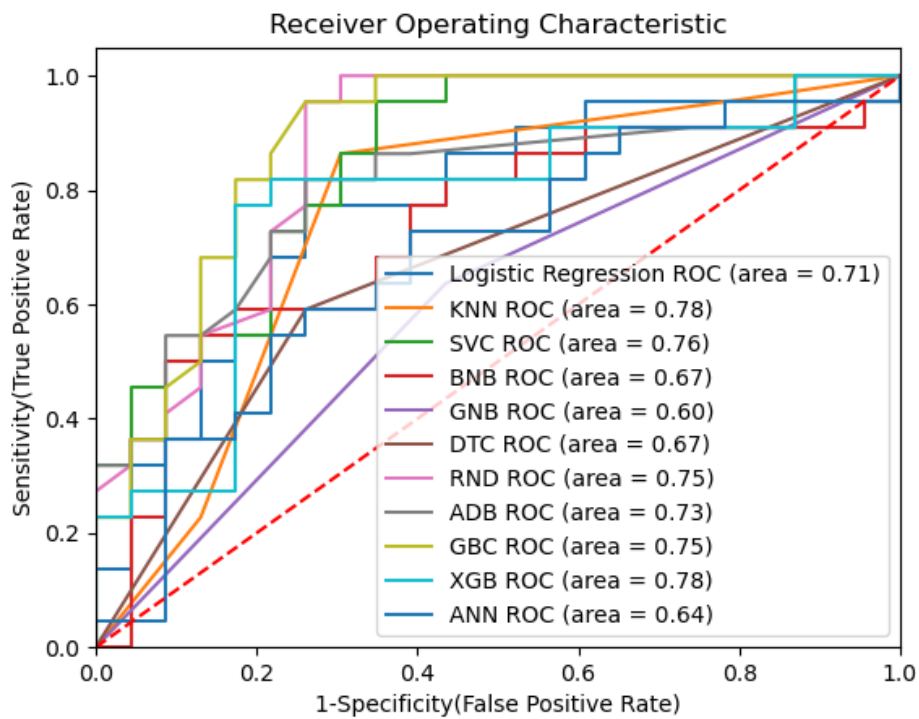


Figure 4. ROC graphs of random undersampling technique (RUS)

Table 4. Confusion matrix of artificial neural network algorithm for smote

| Data Set         | Actual (App) | Actual (Content) | Accuracy (%) |
|------------------|--------------|------------------|--------------|
| Predict (App)    | 268          | 24               | 91,78        |
| Actual (Content) | 12           | 256              | 95,52        |
| Accuracy (%)     | 95,71        | 91,43            | 93,57        |

**Table 5.** Confusion matrix of logistic regression algorithm for CNN

| Data Set         | Actual (App) | Actual (Content) | Accuracy (%) |
|------------------|--------------|------------------|--------------|
| Predict (App)    | 35           | 15               | 70,00        |
| Actual (Content) | 9            | 13               | 59,09        |
| Accuracy (%)     | 79,55        | 46,43            | 84,44        |

**Table 6.** Confusion matrix of gradient boosting algorithm for RUS

| Data Set         | Actual (App) | Actual (Content) | Accuracy (%) |
|------------------|--------------|------------------|--------------|
| Predict (App)    | 18           | 1                | 75,00        |
| Actual (Content) | 6            | 20               | 95,24        |
| Accuracy (%)     | 94,74        | 76,92            | 84,44        |

As the number of units in the random resampling classification ( $n = 150$ ) was low, the success rate was lower than the other two techniques. In addition, the low number of units in the data set applied to random resampling affected the decrease in the number of variables. For this reason, 980 variables (words) were included in this data set.

## 5. Results and Discussion

With this study, 1008 user comments received from mobile application were classified following examination in terms of content or application. 3 different techniques were used in the examination phase and the results were compared. In the oversampling classification, ANN algorithm was found to have the best classification with 93.57% accuracy. In the undersampling classification, Random Forest algorithm was found to have the best classification with 72.22% accuracy. In the random sampling classification, XGBoost algorithm was found to have the best classification with 84.44% accuracy.

We seen that Smote technique which is one of oversampling techniques makes better text classification than undersampling techniques. We think that this result is due to the following features of the Smote technique: This technique creates new samples from existing samples. It does not change the number of majority samples. Newly created samples are not the same as old samples. Therefore prevents overfitting. The technique takes the features in that field for the operand class and its nearest neighbors and creates new samples by combining the features with the neighbors. Due to similar situations, it develops the properties of each class and generalizes the samples. In addition, some algorithms were observed to be overfitting when applying undersampling and random undersampling techniques.

We realized how important data normalization is in this study process. So, we plan to work on dataset normalization in the future.

## Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

## References

- Amasyalı, M.F., Yıldırım, T., 2004. Otomatik haber metinleri sınıflandırma, 224-226 pp, (in Turkish).
- Amasyalı, M.F., Diri, B., 2006. Automatic Turkish text categorization in terms of author, genre and gender, In International Conference on Application of Natural Language to Information Systems, 221-226 pp.
- Bengisu, E. R. D. İ., Şahin, E. A., Toydemir, M. S., Dokeroglu, T. Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Trol Hesapların Tespiti. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(1), 430-442 pp, (in Turkish).
- Celik, O., Osmanoglu, U.O., 2019. Comparing to Techniques Used in Customer Churn Analysis, Journal of Multidisciplinary Developments, 4(1):30-38 pp.
- Chaffar S., Inkpen D., 2011. Using a heterogeneous dataset for emotion analysis in text, Butz C., Lingras P. (eds) Advances in Artificial Intelligence. Lecture Notes in Computer Science, vol 6657. Springer, Berlin, Heidelberg, 62-71 pp.
- Chawla, N.V., Bowyer, K.W., Hall, L.O., Kegelmeyer, W. P., 2002. SMOTE: synthetic minority over-sampling technique, Journal of artificial intelligence research, 16, 321-357 pp.
- Estabrooks A., 2000. A combination scheme for inductive learning from imbalanced data sets, Diss. DalTech.
- Estabrooks A., Jo T., Japkowicz N., 2004. A multiple resampling method for learning from imbalanced datasets, Computational intelligence, 20(1): 18-36 pp.
- Fernández, A., Garcia, S., Herrera, F., Chawla, N.V., 2018. SMOTE for learning from imbalanced data: progress and challenges, marking the 15-year anniversary, Journal of artificial intelligence research, 61, 863-905 pp.

- Friedl M.A., Brodley C.E., 1997. Decision tree classification of land cover from remotely sensed data, *Remote sensing of environment*, 61(3):399-409 pp.
- Güran, A., Akyokuş, S., Bayazit, N.G., Gürbüz, M.Z., 2009. Turkish text categorization using n-gram words, In *Proceedings of the International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, 369-373 pp.
- Güven, A., Bozkurt, Ö.Ö., Kalıpsız, O., 2006. Advanced Information Extraction with n-gram based LSI, In *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 17:13-18 pp.
- Hu J., Min J., 2018. Automated detection of driver fatigue based on EEG signals using gradient boosting decision tree model, *Cognitive Neurodynamics*, 431-440 pp.
- Jordan, S. E., Hovet, S. E., Fung, I. C. H., Liang, H., Fu, K. W., & Tse, Z. T. H. (2019). Using Twitter for public health surveillance from monitoring and prediction to public response. *Data*, 4(1), 6.
- Monisha A., Christina S.S., Santiago N., 2018. Decision Support System for a Chronic Disease- Diabetes, *International Journal of Computer & Mathematical Sciences(IJCMS)*, 7(3):126-131 pp.
- Müller K.R., Smola A., Ratsch G., Scholkopf B., Kohlmorgen J., Vapnik V., 1997. Predicting time series with support vector machines, *International Conference on Artificial Neural Networks Springer, Berlin, Heidelberg*, 999-1004 pp.
- Özgür, L., Güngör, T., Gürgen, F., 2004. Adaptive anti-spam filtering for agglutinative languages: a special case for Turkish.", *Pattern Recognition Letters*, 25(16):1819-1831 pp.
- Petkovic D., Altman R., Wong M., Vigil A., 2018. Improving the explainability of Random Forest classifier? user centered approach, *Pacific Symposium on Biocomputing*, 23:204-215 pp.
- Schlögl A., Lee F., Bischof H., Pfurtscheller G., 2005. Characterization of four-class motor imagery EEG data for the BCI-competition, *Journal of neural engineering*, 2(4): L14.
- Schwarm S.E., Ostendorf M., 2015. Reading level assessment using support vector machines and statistical language models, *Proceedings of the 43rd Annual Meeting on Association for Computational Linguistics, Association for Computational Linguistics*, 523-530 pp.
- Shi, T., Kang, K., Choo, J., & Reddy, C. K. (2018, April). Short-text topic modeling via non-negative matrix factorization enriched with local word-context correlations. In *Proceedings of the 2018 World Wide Web Conference* (pp. 1105-1114).
- Sriram, B., Fuhry, D., Demir, E., Ferhatosmanoglu, H., & Demirbas, M. (2010, July). Short text classification in twitter to improve information filtering. In *Proceedings of the 33rd international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval* (pp. 841-842).
- Sun, Y., Kamel, M.S., Wong, A.K., Wang, Y., 2007. Cost-sensitive boosting for classification of imbalanced data, *Pattern Recognition*, 40(12): 3358-3378 pp.
- Tantuğ, A. C. , 2016. Metin Sınıflandırma, *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 5(2) (in Turkish).
- Tüfekci, P., Uzun, E., Sevinç, B, 2012. Text classification of web based news articles by using Turkish grammatical features, *20th Signal Processing and Communications Applications Conference*, 1-4 pp.
- Vapnik V., 1995 *The nature of statistical learning theory*, Springer, 2nd edition, New York, USA, 32-40 pp.
- Yang L., Zhang X., Liang S., Yao Y., Jia K., Jia A., 2018. Estimating Surface Downward Shortwave Radiation over China Based on the Gradient Boosting Decision Tree Method, *Remote Sensing*, 10(2): 185.
- Yildiz, H.K., Gençtav, M., Usta, N., Diri, B., Amasyali, M. F., 2007. A new feature extraction method for text classification, *IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications*, 1-4 pp.



## BİR DEMİRYOLU HATTININ BİRİM ESNEME DİRENCİ ÜZERİNDE ETKİSİ OLAN MEKANİK VE GEOMETRİK NİTELİKLERİN İNCELENMESİ

Erdem BALCI<sup>1\*</sup>, Ertan YALÇIN<sup>2</sup>, Tunay Uzbay YELCE<sup>2</sup>, Niyazi Özgür BEZGİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bülent Ecevit Üniversitesi, Alaplı Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Zonguldak, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Hat Esneme Direnci,  
Hat Modülü,  
Yatak Modülü,  
Hat Üstyapısı,  
Araç-Hat Etkileşimi.*

### Öz

Bir demiryolu hattının esneme direnci, hat tasarımında göz önünde bulundurulması gereken en önemli parametrelerden biridir. Bu değer optimum değerinden düşük olması hattaki oturmaları artırırken, yüksek olması zaman içerisinde hat elemanlarında yıpranmalara neden olur. Bununla birlikte, hat esneme direncinin hat boyunca değişmesiyle dinamik darbe kuvvetleri artarak hattın bozulma sürecini hızlandırır. Hat esneme direnci; hattı oluşturan malzeme özelliklerine, zemin tabakasındaki yerel farklılıklara, hattaki bazı özel durumlara ve hat bileşenlerinin geometrisine bağlı olarak değişmektedir. Aynı zamanda araç-hat etkileşimi de hattın teker kuvvetine karşı gösterdiği tepkiyi etkilemektedir. Bu çalışma, demiryolu hat tasarımlarında esas alınacak olan hat esneme direncini tartışan temel bir kaynak olmayı hedeflemektedir. Bu anlamda yapı-zemin etkileşimini inceleyerek, taşıyıcı zeminin yanı sıra hat üstyapısına ait mekanik ve geometrik özelliklerin, hat ve zeminin bir bütün olarak düşey yükler altındaki tepkisini etkilediğini elastisite teorisine dayalı modeller üzerinden göstermektedir. Daha sonra, araç-hat etkileşimi ele alınmış ve hatta ait tüm parametreler aynı kalsa dahi sadece dingil mesafesindeki değişim nedeniyle hat tepkisinin değiştiği gösterilmiştir. Son olarak, hatta ait mekanik ve geometrik niteliklerin eşdeğer hat esneme direnci üzerindeki etkileri açıklanmıştır.

## INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND GEOMETRIC PROPERTIES AFFECTING THE RAILWAY TRACK STIFFNESS

### Keywords

*Track Stiffness,  
Track Modulus,  
Subgrade Reaction,  
Track Superstructure,  
Train-Track Interaction.*

### Abstract

Track stiffness is one of the most important parameters to be considered in track design. While track stiffness is lower than an optimum value, excessive track displacement occurs, and while it is higher than the optimum, it can cause the deterioration of the track and the components of the track in time. Variation of the track stiffness can increase dynamic impact forces and thus, accelerates the track deterioration. Track stiffness depends on the material properties that constitute track, the local differences in the soil layer, some special conditions, and the geometry of the track components. Also, the track-train interaction affects the reaction of the track against the wheel force. This study aims to be a fundamental resource discussing the track stiffness that will be taken as a basis in railway track design. In this sense, the study shows that the mechanical and geometric properties of the track superstructure affect the common response of the track and soil under the wheel forces by examining soil-structure interaction through elasticity theory-based models. Later, the train-track interaction is discussed and it is shown that even if all parameters of the track remain the same, the track response can change with the axle spacing. Finally, the effects of the mechanical and geometric properties of the track on the equivalent track stiffness are explained.

### Alıntı / Cite

Balci, E., Yalçın E., Yelce, T.U., Bezgin, N.Ö., (2021). Bir Demiryolu Hattının Birim Esneme Direnci Üzerinde Etkisi Olan Mekanik ve Geometrik Niteliklerin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1408-1423.

\* İlgili yazar / Corresponding author: erdembalci@outlook.com, +90-531-202-7692

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process         |            |
|--|---|------------|
| E. Balcı, 0000-0003-1759-1946            | <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 29.05.2021 |
| E. Yalçın, 0000-0001-5925-3131           | <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 05.08.2021 |
| T.U. Yelce, 0000-0001-9965-4271          | <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 06.08.2021 |
| N.Ö. Bezgın, 0000-0002-6518-0378         | <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.12.2021 |

## 1. Giriş (Introduction)

Bir demiryolu hattında raylar, zemin üzerinde yer alan üstyapı tarafından taşınır. Tren tarafından raya etkiyen düşey teker kuvvetleri önce traverslere, daha sonra balast, altbalast ve nihayetinde zemin tabakasına kadar aktarılır. Bu nedenle hat üstyapısı ve taşıyıcı zemin bir etkileşim halindedir ve üzerlerine etki eden statik ve dinamik yüklere karşı birlikte tepki gösterirler (Kuasel, 2010). Yapı ile zemin arasındaki ilişkiyi açıklamak için çeşitli teoriler geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi, yapı-zemin ikilisi arasındaki bağıntıyı nispeten daha basit bir şekilde ifade edebilen ve taşıyıcı elemanların statik tepkisini anlamak için günümüzde hala büyük bir pratiklik sağlayan Winkler Modeli'dir. Özünde, "esnek taşıyıcı zemin tarafından desteklenmiş kiriş" yaklaşımını içeren modelde taşıyıcı elemanlar yaylarla temsil edilmiş ve ortak deformasyon davranışını anlamak için "yatak modülü" kavramı tanıtılmıştır. Bu modül, zeminin deformasyon karakterine bağlı olduğu gibi yükleme koşullarına ve yüklenen alana bağlı olarak da değişmektedir. Demiryolu mühendisliğindeki karşılığı ise "hat modülü" dür. Demiryolu hatlarında Winkler modelinin demiryolu hatlarına uygulanmasının mümkün olduğu, Arthur Newell Talbot'un 1914' te başlattığı ve önderlik ettiği grubun çalışmaları ile gösterilmiştir. Hat üstyapısının en son bileşeni olan raylar ile rayları destekleyen diğer üst yapı unsurları ile altyapı unsurlarının oluşturduğu yapı-zemin birlikteliğinin, "esnek altyapı üzerinde yer alan kiriş yaklaşımı" ile tasvir edilebilmiştir. Bu tasvir sonucu türetilen "hat esneme direnci" ray rijitliğini ve hat modülünü içeren ve hattın, üzerinde bir noktaya uygulanan yük altında göstereceği sehim değerini tahmin etmemize yardımcı olan bir değerdir.

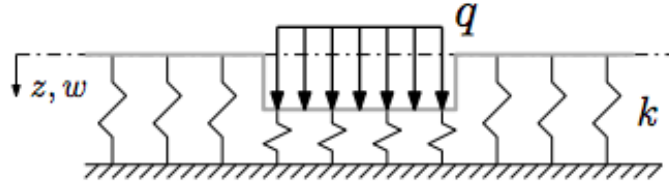
Hat esneme direncinin hat boyunca değişiklik göstermesinin yanı sıra belirli bir optimum değerden çok düşük veya çok yüksek olması, hat performansında azalmaya ve ilerleyen boyutlarda güvenliği tehdit edebilecek durumlara yol açabilir. Hat esneme direnci; hattaki deformasyonları, basıncı, dinamik darbe kuvvetlerini, enerji ve yük dağıtımını, momentleri ve kesme kuvvetlerini etkileyen bir parametredir. Hat üstyapısında bulunan malzeme özellikleri, elemanlardaki yorulmalar, balast koşulları (Berggren, 2009) hat tipi (Michas, 2012), zemindeki yerel değişimler (Wehbi vd., 2013), ped kullanımı (Witt, 2008) ve asılı traversler (Lundqvist, 2005) gibi durumlar hattın esneme direnci üzerinde etkilidir. Bunun yanı sıra, ray bitiş noktaları (Zhu vd., 2017) ve makaslar (Xu vd., 2016) gibi ray üst noktasında geometrik değişimlerin yaşandığı yerler de hat esneme direncinin değişmesine neden olur. Bunun yanı sıra, hat esneme direnci sadece hat üstyapısı ile zemine ait ortak mekanik ve geometrik özelliklerin bir sonucu değil, aynı zamanda hat üzerinden geçen araç ile hattın etkileşiminin de bir sonucudur. Tüm hat ve zemin parametreleri aynı olsa dahi, tren bojisindeki tekerler arasındaki dingil mesafesi değiştiğinde bojinin deneyimlediği hat esneme direnci değişir. Yapı-zemin etkileşimine hat-arac etkileşiminin de dahil edilmesiyle hat tepkisini temsil etmek için "etkin hat esneme direnci" kavramı ortaya konmuştur (Balcı, Bezgın ve Wehbi, 2021).

Bu çalışmada önce yapı-zemin etkileşimi açıklanarak taşıyıcı zemin üzerinde yer alan bir yapıya etki eden yüklerin taşınmasında sadece zemin parametrelerinin değil, aynı zamanda üstyapıya ait mekanik ve geometrik niteliklerin de etkili olduğu gösterilmiştir. Daha sonra, demiryolu hatlarının analizi için kullanılan modeller, hat modülü ve hat esneme direnci kavramları açıklanmıştır. Bunun yanı sıra, yapı-zemin etkileşimine ek olarak araç-hat etkileşiminin de hat tasarımına dahil edilmesini sağlayan "etkin esneme direnci" kavramına yer verilmiştir. Son olarak, hat esneme direncine etki eden zemin ve hatta ait geometrik ve mekanik parametreler incelenmiştir.

## 2. Yapı-Zemin Etkileşimi (Soil-Structure Interaction)

Yapı ile zeminin iç içe bulunduğu derin temeller veya yapının doğrudan zemin üzerinde yer aldığı karayolu ve demiryolu hatları gibi uygulamalarda, yapı ve zemin yüklere karşı ortak bir etkileşim içerisinde tepki verir. Bir diğer deyişle, yüke karşı tepkileri birbirine bağlıdır ve mekanik ve geometrik özellikleri de bu tepkiye etkiler. Yapı-zemin etkileşimine ait ortak deformasyon karakteri, malzeme üzerindeki gerilme ve birim şekil değiştirme arasındaki oranı gösteren elastisite modülüne benzer bir şekilde "yatak modülü" kavramıyla ifade edilebilir. Bu kavram ilk olarak zeminin, birbirine çok yakın konumlandırılmış, ayrık, bağımsız, elastik ve lineer yaylarla idealize edildiği Winkler (1867) modeli ile tanıtılmıştır. Yatak modülü, son derece önemli bir yapı-zemin etkileşim değeridir. Her ne kadar, altyapıya yük aktaran üst yapı rijitliğinden bağımsız bir değer olarak düşünülse de özünde, üst yapı rijitliği ile birlikte etkileşim içinde bulunarak ortaya çıkan bir altyapı tepki değeridir. Bir başka deyişle, aynı zemin üzerine serili farklı eğilme rijitlik değerlerine sahip üst yapı kirişlerinin etkisi altında, altyapının "yatak modülü" değerleri de farklı olacaktır.

Düsey ve yatay zemin tepkisi için geliştirilen teoriler, zeminin tamamen elastik olduğunu ve dolayısıyla Hooke yasasına göre davrandığını kabul etmiştir. Winkler teorisine (Winkler, 1867; Winkler, 1875) göre, zemin yüzeyi üzerinde yer alan merkezi yüklenmiş rijit bir plaka tabanındaki yatak modülü, tabana ait her noktada sabittir. Buna göre, zeminin herhangi bir noktasına etki eden basınç ( $p$ ) ile o noktada meydana gelen deformasyon ( $w$ ) doğrudan orantılıdır ve bu oran yatak modülünü ( $n_v$ ) verir. Modelin kısıtlı yönü ise deformasyonun sadece yüklü alan altında meydana geldiğini, yüklü alan dışında deformasyon olmadığını ve yüklenen alanın her yerinde eşit deformasyon olduğunu varsaymasıdır. Ayrıca zemini temsil eden yaylar lineerdir. Gerçekte ise zemin, düşeyde doğrusal olmayan bir şekilde değişebilmektedir. Bu teorideki varsayım gerçekte tamamen doğru olmasa da yapı-zemin etkileşiminin anlaşılabilmesi için sade bir çözüm sunar. Mütemedi veya kazıklı temellerdeki gerilmelerin pratik bir şekilde hesaplanması açısından yaklaşık bir sonuç sunabilir. Daha gerçekçi sonuçlar için yatak modülü, zeminin deformasyon davranışına göre belirlenmelidir.



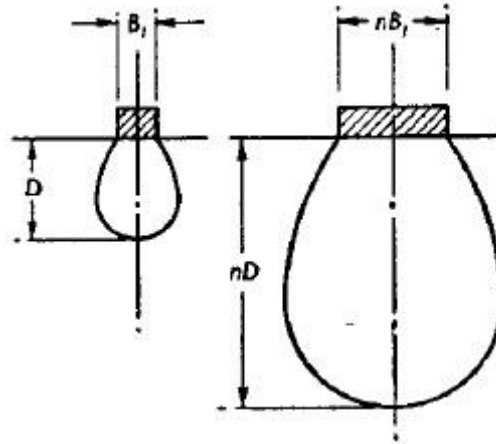
Şekil 1. Zeminin Winkler Modeli ile temsili (Representation of the soil with the Winkler Model) (Skar vd., 2019)

$$n_v = -\frac{p(x)}{w(x)} \quad (1)$$

Denklem 1’de belirtilen yatak modülü, taşıyıcı katmanların birim esneme direncinin, taşıyıcı katmanlar tarafından desteklenen yapı üzerindeki kısmi etkisinin bir ölçüsüdür. Bir zemine ait yatak modülü, sahada yapılan plaka yükleme deneyiyle belirlenir. Bu durumda yatak modülü; plaka boyutlarına, plaka şekline, plakanın gömülü derinliğine ve yükleme koşullarına bağlı olarak elde edilir. Plaka yükleme deneyinin kısıtlaması, oldukça sığ bir alandaki zemin etkilerini ölçebilmesidir. Bu nedenle bu yöntem homojen zeminler için iyi sonuç verebilirken belirli bir derinlikte yer alabilecek olası bir zayıf zemin tabakasının etkileri bu deney modeliyle görülemez. Ayrıca bu yöntem ile plakanın temsil edeceği geometride ve rijitlikte üst yapı unsurları için yatak modülü tahmin edilebilmektedir.

Bir yapı-zemin etkileşimi örneği olan demiryolu hatlarının tasarımı için de taşıyıcı granüler tabakalar ile hat üst yapısı arasındaki etkileşimin iyi analiz edilmesi gerekir. Demiryolu hattında trenin aktardığı yükler, plaka deneyine oranla çok daha derin zemin tabakalarına kadar yayılabilmektedir. Aynı zemin koşullarına sahip iki hat üzerinde eşit eğilme direncine sahip fakat farklı boyutlarda olan iki plaka kullanılarak plaka yükleme deneyi yapıldığını varsayalım. Bu iki plakaya etkileyen yükün kapsayabildiği basınç alanı; taşıyıcı katmandaki normal düşey gerilmelerin, yükün etki ettiği yüzeydeki normal basıncın dörtte birinden daha fazla olduğu alan olarak tanımlanır. Kabul edilebilir derecede homojen bir taşıyıcı zemin üzerinde yer alan yüklü plakanın neden olduğu oturumların büyük bir kısmı, bu basınç alanındaki zeminde meydana gelen basınç ve deformasyon nedeniyledir. Aynı zemin koşullarına sahip iki hat üzerinde yer alan iki eşdeğer plakaya etki eden basınçlar eşit dahi olsa, alanı büyük olan plaka altındaki gerilmeler daha derin katmanlara ulaşabilir. Şekil 2’de, genişliği “B” olan dar bir plaka ile “n” kat daha geniş bir plaka altında oluşan basınç alanları gösterilmiştir. Dar plaka altındaki basınç alanının derinliği “D” kadarken, geniş plaka altındaki basınç “n.D” derinliğine ulaşabilmektedir. Daha büyük taşıma alanına sahip olan plaka altında, bu gerilim alanındaki artış nedeniyle daha fazla deformasyon gerçekleşir. Her iki plaka üzerindeki basınç eşit olmasına rağmen yükleme alanındaki farklılık nedeniyle deformasyonlar farklıdır. Dolayısıyla bu iki plaka ile yapılan deneylerde elde edilen yatak modülü değerleri de farklıdır. Diğer yandan, bu iki planın boyutları aynı kalsa ancak mekanik özellikleri farklı olsa, yine elde edilen yatak modülü değerleri farklı olabilir. Aynı zemin üzerinde yer alan eşit alanlı iki plaka olduğunu varsayalım. Bunlardan bir tanesinin düşey esneme direnci değeri diğerine göre daha yüksek olsun. Bu durumda, esneme direnci fazla olan plaka üzerine gelen gerilmeler daha küçük bir alana odaklı bir şekilde dağıtılırken, düşük esneme direncine sahip olan plaka altındaki gerilmeler daha uniform bir şekilde dağıtılır. Bu nedenle, zemin tarafından desteklenen bir yapıdan aktarılan gerilmelerin genişliği ve derinliği yalnızca zemin tabakasının mekanik özelliklerine bağlı değil, aynı zamanda zeminin desteklediği üst yapı tabakasının geometrik ve mekanik niteliklerine bağlı olarak değişmektedir.

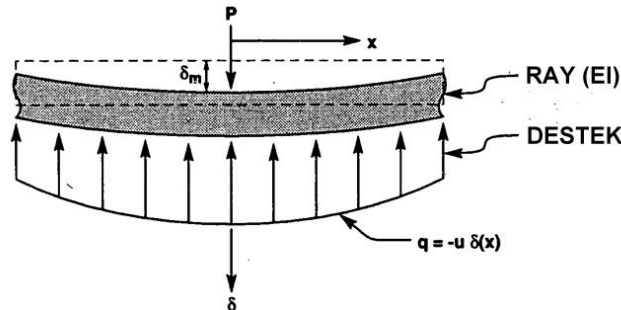




Şekil 2. Farklı alanlara sahip iki plaka altındaki basınç alanları  
(Pressure areas under two plates with different base areas) (Terzaghi, 1955)

### 3. Hat Modülü (Track Modulus)

Demiryolu hatlarının analizi için, Winkler'in elastisite ve dayanım teorisini esas alan ve rayların sürekli destekli kirişler olarak varsayan bir model Zimmermann (1888) tarafından geliştirilmiştir. Bu modelde raylar, belirli aralıklarla traversler tarafından kısıtlanan birbirine paralel iki sürekli kiriş olarak modellenmiştir. Demiryolu hattında taşınan eleman raylar, taşıyıcı elemanlar ise rayın bağlı olduğu traversler veya beton döşeme ve bu iki taşıyıcı eleman altında yer alan taşıyıcı tabakalardır. Hetenyi, "Beam on Elastic Foundations" adlı kitabında düşey tekerlek yükleri altındaki hat tepkisini temsil etmek amacıyla çeşitli sınır koşullar için teorik denklemler geliştirmiştir. Bu modelde hat, iki boyutlu bir yapı olarak temsil edilmektedir. Hattın tamamı, iki ray üzerinde yer alan bir bojiye bağlı iki tekerin yükünü taşımaktadır. Bu nedenle bir ray üzerindeki yük, hat genişliğinin yarısı tarafından taşınır. Modelin yatay uzunluğu, tekerlek yükleri altındaki yarı hat genişliği boyunca birim uzunluk başına düşen düşey hat tepkisini ifade eder. Düşey derinlik teker yükü altında hatta oluşan deformasyon, moment, basınç ve kesme gibi tepkileri göstermektedir. Şekil 3'te gösterilen zemin üzerindeki plaka betimlemesi, hattın yarısı tarafından taşınan tek bir rayı göstermek için kullanılabilir.

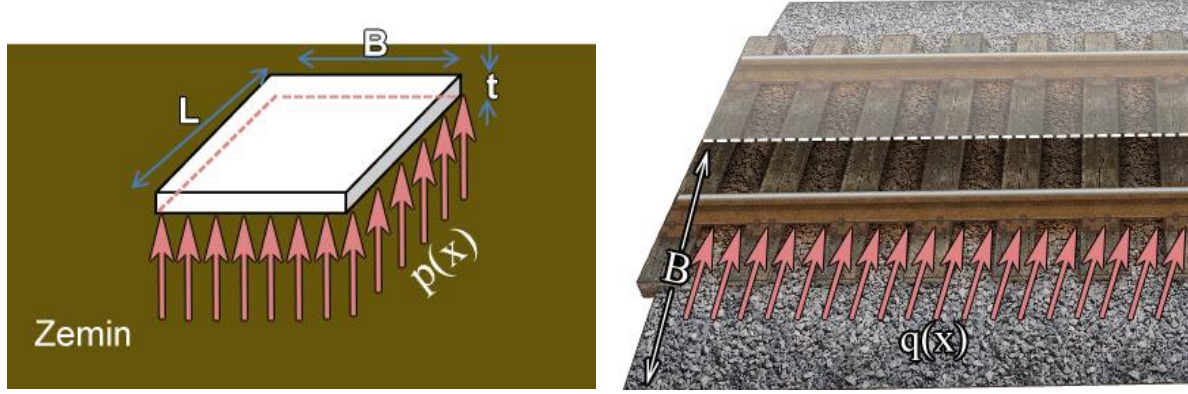


Şekil 3. Taşıyıcı zemin üzerinde yer alan ve konsantre bir düşey yük altındaki dikdörtgen plaka  
(Rectangle plate on the supporting floor that is under a concentrated vertical load) (Selig vd., 1994)

Denklem 1 ile formülü verilen yatak katsayısı, "L" uzunluğunda ve "B" genişliğindeki bir plakaya "Q" yükü etki ettiğinde oluşan  $q(x)$  basıncı ile, yüklenen alan altındaki deformasyonun oranıdır. Bu değer, taşıyıcı elemanların birim esneme direncini temsil eden bir ölçüdür. Birimi kuvvet/uzunluk<sup>3</sup> şeklindedir. Diğer yandan, demiryolu hatlarında taşıyıcı elemanların birim esneme direncini temsil etmek için kullanılan temel mekanik parametre hat modülüdür. Denklem 2'de "q", plaka yükleme deneyinde kullanılan dikdörtgen plakanın birim uzunluğu başına düşen kuvvet ve "y", bu kuvvet altında meydana gelen deformasyon olmak üzere hat modülünün (u) formülü verilmiştir. Hat modülünün birimi kuvvet/uzunluk<sup>2</sup>'dir. Tek bir raya etki eden birim kuvvet, plaka yükleme deneyinde zemine aktarılan basınç (p) ile hat genişliğinin yarısının (B) çarpımıyla bulunabilir. Şekil 4(a)'da bir plaka yükleme deneyinde ve Şekil 4(b)'de bir demiryolu hattında yükleme altında oluşan "p" ve "q" gerilmeleri gösterilmiştir.

$$u = -\frac{q(x)}{y(x)} = -\frac{p(x) \cdot B}{y(x)} \quad (2)$$

$$u = n_v \cdot B \quad (3)$$



**Şekil 4.** a) Plaka yükleme deneyinde ve b) demiryolu hattında yükleme altında oluşan gerilmelerin gösterimi  
(Representation of stresses occurring in a) plate loading test and b) railway track under loading)

Birim uzunluk başına düşen kuvvet ile deformasyonlar arasındaki bağıntı sayesinde geri hesaplamalar yapılarak yapısal tepkiye ait diğer parametreler bulunabilir. Elastik eğilme teorisine göre eğilme momenti de aşağıdaki diferansiyel denklem ile ifade edilir.

$$M(x) = EI \frac{d^2y(x)}{dx^2} \quad (4)$$

Bir yapı boyunca etki eden kesme kuvvetleri, o yapıdaki eğilme momentlerinin değişimidir.

$$\frac{dM(x)}{dx} = V(x) \quad (5)$$

Bu nedenle kesme kuvveti şu şekilde ifade edilebilir:

$$V(x) = EI \frac{d^3y(x)}{dx^3} \quad (6)$$

Kesme kuvvetinin türevi ise birim uzunluk başına düşen kuvveti verir. Denklem 7, hattın eğilme rijitliği ve hat boyunca meydana gelen deformasyon değişiminin dördüncü dereceden türevi ile hat modülünü ilişkilendirmektedir.

$$\frac{dV(x)}{dx} = q(x) = -u \cdot y(x) \quad (7)$$

Bu bakımdan hat modülü, rayı destekleyen taşıyıcı elemanların esneme direncinin bir temsilidir.

#### 4. Hat Esneme Direnci (Track Stiffness)

Hat modülü ve hat esneme direnci parametreleri, hat performansı üzerinde etkilidir. Çünkü hat üzerinden araç geçişi sırasında meydana gelen basınç, deformasyon, moment, kesme ve gerilmeler hattın esneme direnci ile yakından ilgilidir. Ayrıca dinamik darbe kuvvetlerinin şiddetinde (Bezgin, 2017) ve teker yüklerinin hatta aktarılış biçimi üzerinde de etkili bir parametredir. Hat esneme direnci deformasyonların büyüklüğünü belirlediği gibi, hat uzunluğu boyunca hat esneme direncinin değişiklik göstermesi durumunda farklı oturmalar da söz konusu hale gelir. Bölüm 6'da incelenecek olan mekanik niteliklerin hat uzunluğu boyunca değişkenlik göstermesi veya Bölüm 7'de yer alan geometrik düzensizliklerin varlığı hat esneme direncinde değişikliklere yol açabilir. Bunun yanı sıra hat esneme direnci değerinin çok düşük olması; raydaki eğilmenin artması, büyük deformasyonlar oluşması ve ani geometrik kayıplar gibi sorunlara neden olabilir. Hat esneme direncinin çok yüksek olması ise ray bağlantı elemanlarında hasar, ray yüzeyinde aşınma ve balast parçacıklarında kırılmalar gibi olumsuz etkiler doğurabilir (Berggren, 2009). Hat esneme direncinin önemi ve hattın performansı üzerindeki etkileri başka bir çalışmada daha detaylı bir şekilde incelenmiştir (Balci ve Bezgin, 2020).

Hat modülü birim ray uzunluğu başına düşen kuvvetin birim deformasyona oranıyken, hat esneme direnci birim deformasyon başına düşen toplam hat direncini ifade eder. Hat esneme direnci, bir raya etki eden "Q" teker kuvvetinin, hatta meydana gelen maksimum deformasyona oranıdır. Maksimum deformasyon  $y_{max}=y(0)$ , teker kuvvetinin hemen altındaki  $x=0$  noktasında meydana gelir.

$$k = \frac{Q}{y_{\max}} \quad (8)$$

Teker yükünün etki ettiği noktaya herhangi bir “x” mesafesinde meydana gelen deformasyonlar (y); teker yükü “Q”, hat modülü “u” ve karakteristik hat uzunluğu “L”nin tersi olan karakteristik bir parametre “β” cinsinden şu formül ile ifade edilebilir:

$$y(x) = \frac{Q\beta}{2u} \cdot e^{-\beta x} \cdot [\cos\beta x + \sin\beta x] \quad (9)$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{u}{4EI}} \quad (10)$$

Maksimum deformasyon x=0 noktasında meydana geleceğinden, Denklem 9 şu şekilde düzenlenebilir:

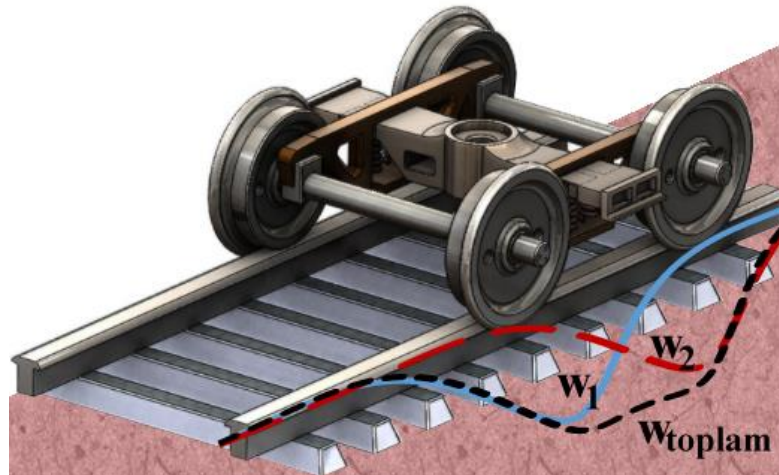
$$y(0) = y_{\max} = \frac{Q\beta}{2u} \quad (11)$$

Denklem 8 ve Denklem 11 bir araya getirildiğinde hatta ait esneme direnci (k) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$k = \frac{2u}{\beta} = \sqrt[4]{64 \cdot E \cdot I \cdot u^3} \quad (12)$$

### 5. Araç-Hat Etkileşimi ve Etkin Hat Esneme Direnci (Train-Track Interaction and Efficient Track Stiffness)

Hat esneme direnci sadece hat üstyapısına ve zemine ait mekanik özellikleri içeren bir zemin-yapı etkileşimi parametresi değil, aynı zamanda dingil mesafesine bağlı olarak hattın sınır koşullarındaki ve dolayısıyla hat tepkisindeki değişimi yansıtan bir hat-araç etkileşimi parametresidir. Bir önceki bölümde bahsedilen hat esneme direnci değeri, ray üzerinde “Q” yüküne sahip tek bir teker bulunduğu varsayılarak hesaplanmaktadır. Ancak günümüz trenlerinde, tekerlerin bir arada bulunduğu bojilerde iki veya üç dingil bir arada bulunabilmektedir. Ray üzerinde birbirine yakın bir konumda etki eden iki teker kuvvetinin hatta oluşturdukları deformasyon eğrileri birbiriyle kesişir. Bu durumda tek bir teker altında meydana gelen maksimum deformasyon değeri, komşu tekerin etkisi nedeniyle artar veya azalır. Komşu tekerlerin etkileşimi sonucunda ortaya çıkan yeni etkin hat tepkisini hesaplamak için “etkin esneme direnci (k\*)” kavramı ortaya konmuştur (Balci, Bezgin ve Wehbi, 2021). İki tekere ait deformasyonların birbirleriyle ne derecede kesişeceği dingiller arasındaki mesafe ile ilgilidir. Şekil 5’te aynı bojiye bağlı iki dingil altında meydana gelen w<sub>1</sub> ve w<sub>2</sub> deformasyonlarının kesişimi sonucunda daha büyük bir w<sub>toplam</sub> deformasyonunun meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 5. Komşu tekerlere ait deformasyon eğrilerinin girişimi (Interference of deformation bowls of adjacent wheels)

Tek bir “Q” teker yükü altındaki hat esneme direncini ifade eden formül Denklem 8 ile verilmiştir. Eğer aynı boji içerisinde komşu tekerler birbirlerinden oldukça uzak bir mesafedeyse, tek bir teker altındaki maksimum deformasyon komşu tekere ait deformasyon eğrisinden etkilenmez. Bu durumda teker yükü “Q” ve meydana gelen maksimum deformasyon “w<sub>max</sub>” olmak üzere, bir teker altındaki etkin hat esneme direnci k\* = Q/w<sub>max</sub> = k’dır. Boji içerisinde iki teker olduğundan, toplam teker yükü “2Q” ve boji altındaki maksimum deformasyon yine w<sub>max</sub>’tır. Bu durumda boji tarafından deneyimlenen etkin hat esneme direnci 2Q / w<sub>max</sub> = 2k\* = 2k’dır. Diğer yandan, dingil mesafesinin 0 olduğu ve bu iki tekerin hat üzerinde aynı noktaya etki ettiği varsayılsaydı, bojideki toplam teker yükü “2Q” ancak maksimum deformasyon 2w<sub>max</sub> kadardır. Bu durumda bojinin deneyimlediği etkin esneme

direnci  $k^* = 2Q / 2w_{\max} = k'$ 'dir. Görüldüğü üzere, teker yükü de dahil olmak üzere hiçbir parametre değişmediği halde, sadece dingil mesafesinin değişmesi nedeniyle hattın tepkisi değişmektedir. Belirli bir dingil mesafesi, (tek teker altındaki) hat esneme direnci ve ray tipi için deneyimlenen etkin esneme direnci değeri Balcı-Bezgin Fonksiyonları ile elde edilebilmektedir (Balcı, Bezgin ve Wehbi, 2021).

## 6. Hat Esneme Direncine Etki Eden Mekanik Faktörler (Mechanical Factors Affecting the Track Stiffness)

Demiryolu yapıları uzun kilometreler boyunca inşa edilmiş bir ulaştırma yapısı olduğu için, hatta ait esneme direnci değeri çeşitli nedenlerle hat boyunca değişebilmektedir. Örneğin hattın üzerinden geçtiği zemin tabakalarındaki değişimler, zemindeki yerel boşluklar veya balast koşullarının değişmesi gibi unsurlar hat esneme direncini değiştirmektedir. Hattın balastlı veya balastsız olması, toprak destekli olması veya tünel içinden veya köprü üzerinden geçen bir hat olması gibi faktörler hattın eşdeğer birim direnci üzerinde etkilidir. Ayrıca, özellikle kurba geçişlerinde, yalıtım derzlerinde, traverslerin asılı olduğu yerlerde ve makaslarda birim esneme direnci çok hızlı değişebilir. Hat boyunca gerçekleşen bu değişimler, hatta aktarılan dinamik darbe kuvvetlerini artırır (Bezgin ve Wehbi, 2019). Hat esneme direnci değişimine neden olan mekanik özellikler bu bölümde incelenecektir.

### 6.1. Malzeme Özellikleri (Material Properties)

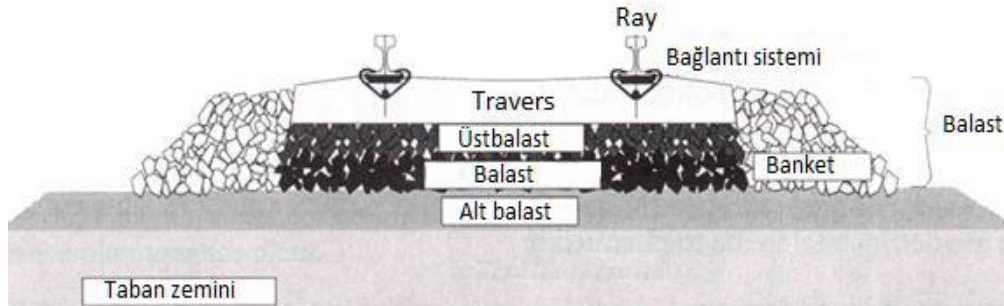
Balast yapımında kullanılan malzemelerin boyutunun ve sıkıştırılabilirlik oranının hattın esneme direnci üzerinde etkisi vardır. Poisson oranı yüklemeye zıt yöndeki deformasyonun yüklemeye yönündeki deformasyona oranının mutlak değeridir. Demiryolu yapımında kullanılan malzemelerin poisson oranı elastisite modülü üzerinde, dolayısıyla da o katmana ait esneme direnci değeri üzerinde etkilidir. Demiryolu hattında kullanılan malzemelerin poisson oranı mutlak değerleri küçüldükçe eşdeğer hat esneme direnci artar (Burrow vd., 2009).

### 6.2. Malzemelerin Tekrarlanan Yükler Altındaki Performansı (The Performance of Material Under the Repeated Loads)

Demiryolu yapımında kullanılan malzemelerin tekrarlı yükler altındaki dayanıklılığı ve yapacağı deformasyonlar hat esneme direnci üzerinde etkilidir. Demiryolu yapımında kullanılan malzemeler, kullanılmadan önce laboratuvar ortamında analitik bir tasarım sürecinden geçerek farklı sıcaklıklar altında uygulanan tekrarlı yükler karşısında performansı ölçülür. Demiryolu hattı için uygun standartlardaki malzemelerin üstünde dayanıma sahip malzeme kullanılırsa hat esneme direnci artar. Maksimum performansla uzun ömürlü bir şekilde hattı kullanabilmek için en uygun performanslı malzeme seçilmelidir.

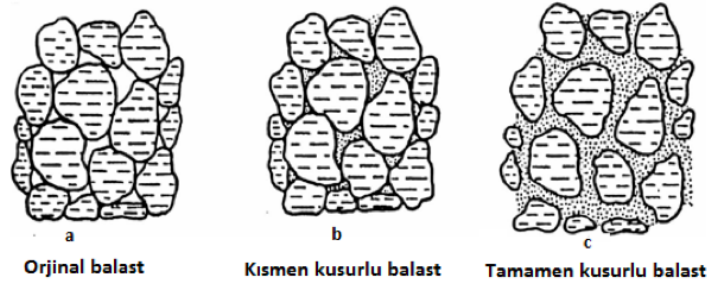
### 6.3. Balast Koşulları (Ballast Conditions)

Demiryolu hattının güvenli bir şekilde faydalı ömrü boyunca çalışmasında balast tabakası çok önemlidir. Genel görevi üzerine gelen yükleri zemine ileterek deformasyonları minimize etmek ve ray üst kotunu sabit tutmak ve ray ile traversi taşımak olan balast tabakası aynı zamanda yağmur sularını uzaklaştırmak için iyi bir drenaj özelliğine sahip olmalıdır.

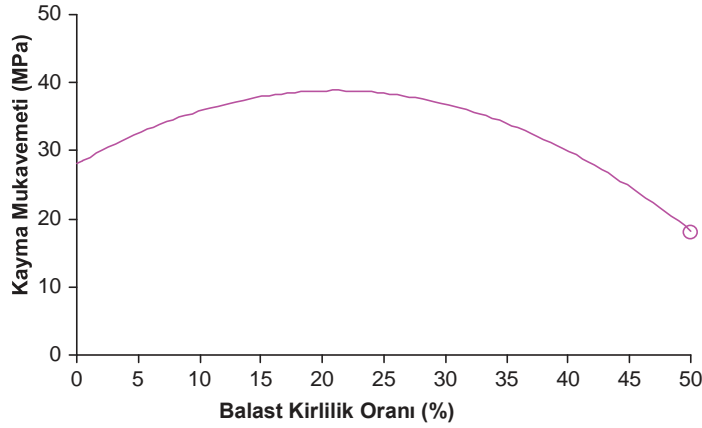


Şekil 6. Balastlı demiryolu kesiti (Ballasted track section) (Selig ve Waters, 1994)

Balast tabakasında büyük çaplı agregalar bulunmaktadır. Büyük agregaların içerisine zamanla çeşitli etkilerle ince parçalı atıklar dolmasıyla balast kirliliği oluşur. Demiryolu hattının güvenli bir şekilde hizmet verebilmesi için balastın hesaplanmış tasarım kapasitesinde olması durumu dışında balastın ana görevlerini yerine getirebilmesi için temiz olması da çok önemlidir. Balastın kirliliği doğrudan kirliliği olan bölgelerdeki birim hat esneme direnci üzerinde etkilidir.



**Şekil 7.** Balast tabakasında kirlilik kusuru oluşum mekanizması  
(The mechanism of ballast fouling formation in the ballast layer) (Yılmaz, 2015)



**Şekil 8.** Balast kirliliği ile balastın kayma mukavemeti değişimi  
(Variation of ballast shear strength with ballast contamination) (Anbazhagan vd., 2010)

Balast kirliliğiyle oluşan diğer sebep ise balastın kayma mukavemet değerinin düşmesi ile hattın ilgili bölgesindeki birim esneme direncinin düşmesine sebebiyet verebilir (Anbazhagan vd., 2010).

Oluşan balast kirliliği ile birlikte balast tabakası temel görevleri olan yükü zemine aktarıp hattı güvenle taşıma ve drenaj özelliklerini yitirebilir. Temel işlevlerini bir balast tabakasında, trenin neden olduğu tekrarlı yükler nedeniyle aşınma ve ufaklanma ile ortaya çıkan ince parçaların balasta doğru ilerlemesi ardından ıslak noktaların oluşması, ray destek sisteminin sertliğinde bir azalmaya ve dolayısıyla ray geometrisinde bir kayba yol açabilir. Bu da temiz olmayan kısımlarında hattın esneme direncinin hat dizayn edilirken uygun görülen esneme direnci aralığından daha aşağıya düşmesine sebep olabilir. Sonucunda hattın esneme direnci düşük olan kısmında deformasyonlar ve deplasmanlar oluşabilir ve tekerleğin raydan çıkmasına varan sonuçları olabilir (Burrow vd., 2009).

#### 6.4. Zemindeki Değişim (Variation in the Subgrade)

Dikkatli tasarım ve yapım prosedürlerine rağmen, bir demiryolu hattı üst yapısı nadiren homojen bir alt yapı üzerine inşa edilir ve bu da kısa mesafelerde hat esneme direncinde önemli değişikliklere yol açar.

Demiryolu hattını taşımak için inşa edilecek zemin tabakası her ne kadar planlı ve hesaplı bir şekilde yapılsa da zamanla hattın zemin kısımlarında çeşitli sebeplerle kalıcı oturmaların meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bununla beraber hattın üzerine oturduğu zemin yapısında bulunan farklı katmanlara ait tabaka kalınlıklarının hat boyunca değişmesi de hattın farklı noktalarda farklı tepki göstermesine neden olur. Zemin yapısındaki en ufak bir değişim bile hattın ilgili bölümündeki birim esneme direnci üzerine etkilidir. Zemin yapısında meydana gelen farklılık sonucunda hat üzerine etkileyen gerilmelerin efektif bir şekilde dağıtılamaması hattın ilgili bölümündeki birim esneme direncini düşürür (Moderon, 2010).

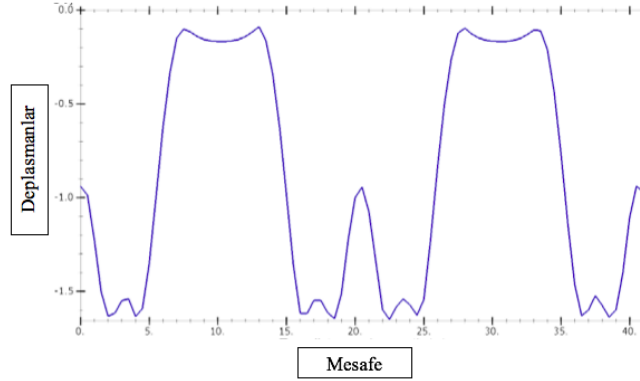
#### 6.5. Üstyapı Tipi (Type of the Superstructure)

Balast tabakası, tren tarafından raya aktarılan gerilmeyi yayarak temele aktaran tabakadır. Kum, çakıl gibi tane boyutlarından ve farklı özelliklerdeki malzemelerden meydana gelen balast tabakasının inşası pratik ve az maliyetlidir. Ancak balast tabakası periyodik bir bakım süreci gerektirdiğinden yüksek işletme maliyetine neden olur. Bu yüksek maliyetli sisteme alternatif olarak balastsız üstyapı tipi geliştirilmiştir. Balastsız üstyapı; zemin

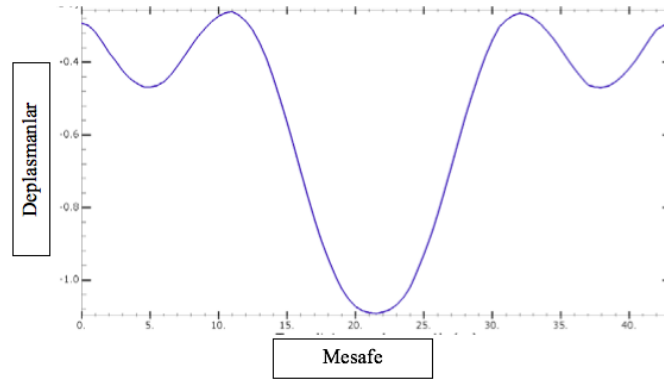
(elastik yatak) üzerine oturmuş betonarme plak, ray ve elastik altlıktan (selet) meydana gelen rijit bir sistemdir (Moderen, 2010). Bu bölümde balastlı ve balastsız sistemler arasındaki birim esneme direnci farkından bahsedilecektir.

Kullanım amaçlarına ve kullanım yerlerine göre birbirlerine avantajları ve dezavantajları olan bu iki üst yapı tipi, demiryolu hattının birim esneme direnci üzerine doğrudan etki etmektedir. Genellikle köprü, tünel ve hızlı tren hatları için kullanılan balastsız taşıyıcı üstyapı tipinin yüksek kalitede betondan yapılması ile son derece rijit olması demiryolu hattının birim esneme direncini balastlı hatta göre daha yüksek yapar (Michas, 2012).

Şekil 9 ve Şekil 10'da sırasıyla balastlı ve balastsız demiryolundaki yol boyunca deplasman mesafeleri analiz ölçümleri verilmiştir. Sonuç olarak, balastsız beton kullanılarak yapılan üst yapı sisteminin rijitliğinden ötürü oturmalar az, balastlı yapının esnek olmasından dolayı oturmaları çok olmuştur. Bu da balastsız yapıdaki hat esneme direncinin balastlı yapıya göre daha yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 9. Balastlı yol boyunca deplasmanlar (Displacements along the ballasted track) (Michas, 2012)

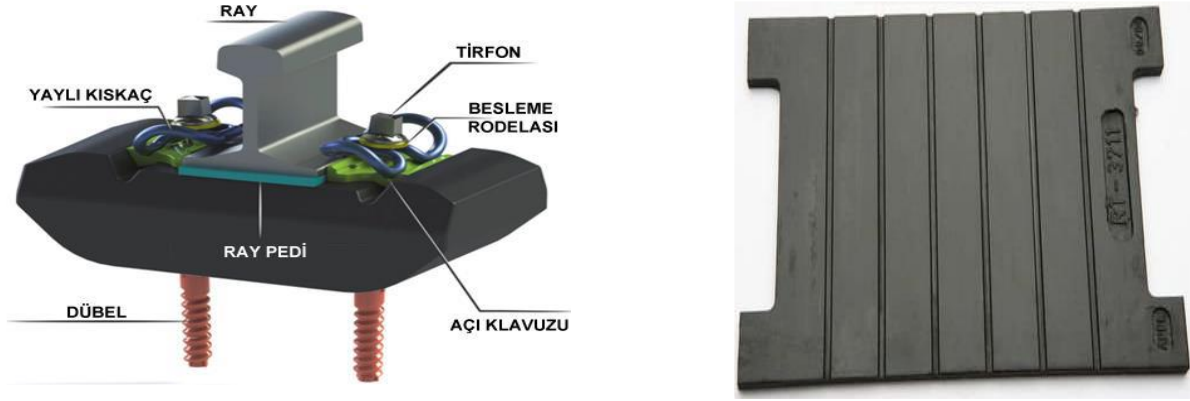


Şekil 10. Balastsız yol boyunca deplasmanlar (Displacements along the ballastless track) (Michas, 2012)

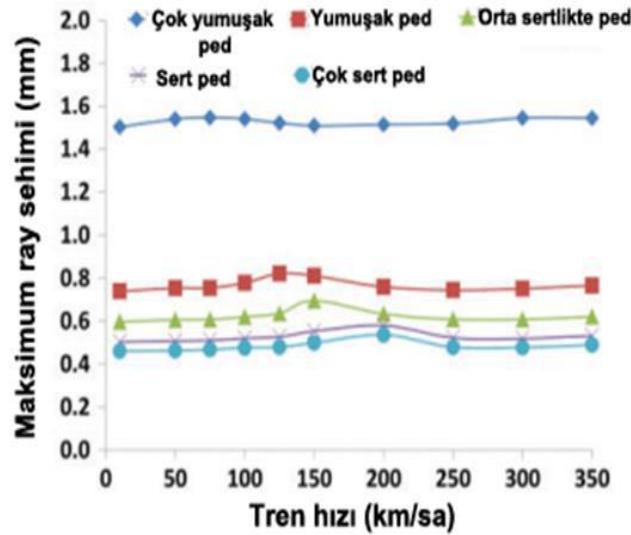
## 6.6. Ray Pedleri ve Travers Altı Pedlerinin Kullanımı (Use of Rail Pads and Under Sleeper Pads)

Demiryolu hatlarında hem tekerleklerin traverslerle temasını yumuşatmak hem de traversin ve tekerliğin kullanım ömrünü uzatmak ile demiryolu hattında oluşabilecek ondülasyonları engellemek için ray pedleri kullanılır. Travers altı pedler ise traverslerle balast tabakası arasındaki aşınmayı azaltarak gerilme aktarımını optimum hale getirmek için kullanılır. Hatta uygulanabilecek farklı sertliklerde pedler vardır. Yumuşak ped kullanımı hatta daha eşit bir yük dağılımı sağlarken bir diğer yandan da hat sehimlerini artırır. Bu nedenle, kullanılan pedlerin, maksimum hat performansını sağlayacak şekilde optimum esneme direncine sahip olması gerekir (Balci, 2021).

Ray pedi, teker/ray etkileşiminden gelen yüklerin yapı üzerindeki tahribatını azaltmak amacıyla ray tabanı ile travers arasına yerleştirilir. Metro ve bazı diğer ulaştırma sistemlerinde raylar doğrudan hatta tespitlenir. Bu durumda teker/ray etkileşiminden doğan titreşimler ray pedi ile sönmülmeye çalışıldığı için ray pedi sistemin oldukça önemli bir parçasıdır. Ray pedi esneme direncindeki değişimler balastsız hattın mekanik tepkileri üzerinde önemli bir rol oynar (Song vd., 2020). Şekil 11(a)'da ray pedinin, W21 ray bağlantı sistemi içerisinde kullanımı ve Şekil 11(b)'de kauçuk bir ray pedi örneği gösterilmiştir.



Yumuşak ray pedleri kullanmak teker ile ray teması sırasında teker üzerinden trene aktarılan yükleri sönümleyerek raya yükleri etkili bir şekilde yaydığı için tekerin ve rayın birbirleri üzerindeki tahrip edici etkisini azaltarak kullanım ömürlerini uzatmıştır (Song vd., 2020). Yapılan nümerik analizde ray pedinin teker/ray temas kuvvetlerini etkileyen en önemli parametre olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Song vd., 2020). Ayrıca yumuşak ray pedi kullanımı, eşdeğer hat esneme direncini azaltarak ray sehimlerinin artmasına neden olur. Khajehdezfuly'nin (2019) balastsız bir hat üzerindeki çalışmasından farklı sertlikteki pedler için elde edilen ray sehimleri Şekil 12'deki gibidir.

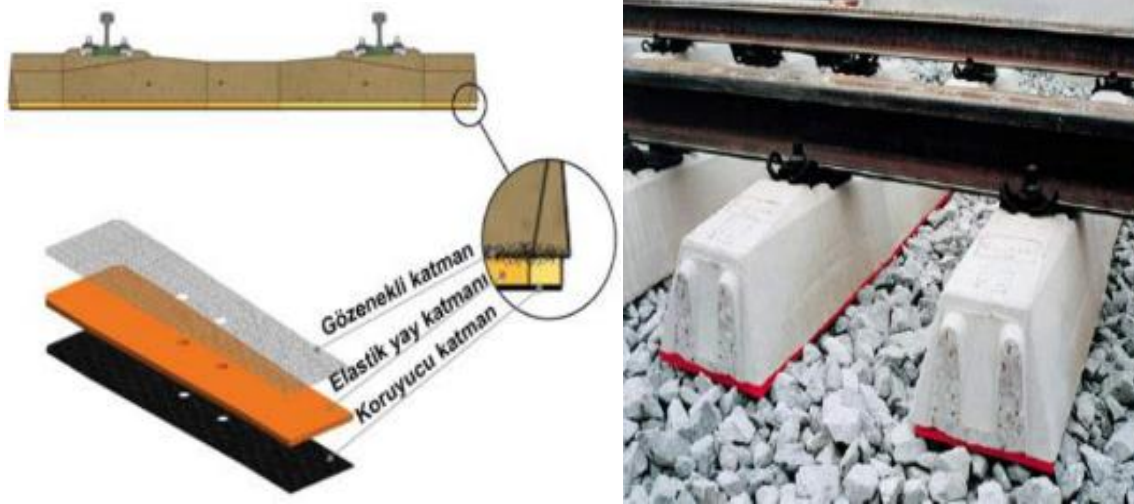


Şekil 12. Farklı tren hızları için çeşitli pedlerin kullanımında oluşan ray sehimleri (Rail deflections while using various pads for different train speeds) (Khajehdezfuly, 2019)

Bunlarla birlikte yumuşak ray pedi kullanmak tekerden gelen yükleri balasta homojen olarak dağıtır. Böylelikle balastın ve alt balastın servis ömrü uzamış olur. Ancak optimum değerlere bakmadan çok yumuşak ray pedi kullanımı farklı sehimlere yol açabilir.

Sert ray pedi kullanımında ise tekerden gelen yükler homojen olarak balast tabakasına dağıtılamaz bu durumda balastın aşınmasına ve optimum kullanım ömrüne ulaşmadan göçmesine sebep olabilir. Ancak sert ray pedi kullanımı demiryolunun kullanılan bölgesindeki birim esneme direncini yükseltir.

Travers altı pedler ise hattın düşey elastisitesini artırmak ve ray ve traversler aracılığıyla balast, alt balast ve zemine aktarılan kuvvetleri en düzgün şekilde yaymak amacıyla travers tabanına yerleştirilen elastik pedlerdir. Hat bileşenlerinin servis ömrünü artırmak ve titreşimleri azaltmak için 1980'lerden beri kullanılmaktadır. Özellikle hat geometrik kalitesini artırmak amacıyla makas bölgelerinde kullanımı yaygındır. Travers altı pedler genellikle 2 veya 3 katmandan oluşur: Traverse yerleştirilen sönümleme özelliğine sahip gözenekli katman, elastik yay katmanı ve opsiyonel olarak kullanılan koruyucu tabaka. Travers altı pedi kalınlığı, 10 mm ile 20 mm arasında değişir ve genellikle 1 m uzunluktadır. Şekil 13(a)'da ped katmanları ve Şekil 13(b)'de saha uygulaması gösterilmiştir.



**Şekil 13.** a) Travers altı ped katmanları (Lakusic vd., 2010), b) Saha uygulaması (Loy, 2008)  
(a) Under-sleeper pad layers, b) Field application)

Travers altı pedlerin de farklı sertlikte üretimleri mevcuttur. Sert travers altı ped kullanımı hattın birim esneme direncini artırır. Ped kullanılan kısımda hattın birim esneme direnci artar ve o bölgede sehimin azalmasına sağlar fakat tekerin traverse raya rayında traverse aktardığı gerilmeleri homojen bir şekilde balasta yaymadan hemen altındaki balasta aktarır. Bu durumun sonucunda da sert travers altı ped kullanılan kısmın balast tabakasında hasarlar olmasına sebebiyet verebilir. Yumuşak travers altı ped kullanımında ise traversten balasta aktarılan gerilmeler homojen yayılır, böylelikle balast tabakasından maksimum yarar sağlanabilir fakat kullanılan ped yumuşak olduğu için hat birim esneme direnci düşer. Düşen hat birim esneme direnci de bu bölgelerde hesaplanan optimum deformasyonun üstünde bir deformasyon oluşmasına sebebiyet verebilir (Balci, 2021).

Sonuç olarak, ray altı pedlerin ve travers altı pedlerin farklı sertlik ve kalınlıkta üretimleri mevcuttur. Yumuşak ve ince pedlerin hattın birim esneme direncini düşürdüğü sert ve kalın pedlerin ise hattın birim esneme direncini yükselttiği görülmüştür. Kullanılan pedler ince ve yumuşak ise hat esneme direncini düşürerek tekerlikten hatta gelen gerilmeyi etkin bir şekilde dağıtarak hatta ve tekerlikte oluşacak deformasyonu azaltır ama fazlası hattın bu bölgede sehim yapmasına sebep olabilir. Aynı şekilde kullanılan pedler kalın ve sert olursa hatta oluşacak birim esneme direnci artar ve o bölgede sehim minimumuna iner fakat bu bölgedeki tekerlikten hatta gelen gerilmelerin etkin bir şekilde yayılamayacağı için balast tabakasına zarar verebilir. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında hat yapısına ve hattın hangi bölgesine ped uygulanacağına tüm parametreler hesaba katılarak karar verilmelidir.

### 6.7. Asılı Traversler (Hanging Sleepers)

Askıda veya boşta traversler, çoğunlukla balast sertliğindeki değişiklikler ve değişen malzeme yerleşimi nedeniyle meydana gelir. Bu, balast tabakasıyla temas halinde olması gereken traverslerin tam desteklenememesi ve belirli bir alanda yüzey temasının yitirilmesine neden olur. Bu bölümde demiryolu hattının asılı travers olan bölümlerinde olan değişimlerin hat birim esneme direnci üzerine etkisinden bahsedilmiştir.

Yapılan deformasyon deneylerinde asılı traverslerin meydana geldiği yerlerde traversle bağlantısı kesilen balast tabakasına yük aktarımının çift taraflı olarak efektif bir şekilde dağıtılamadığı, tek taraflı yük bindiği ve bu bölgelerde düşey deplasmanın diğer bölgelere göre yüksek olduğu görülmüştür. Hat esneme direnci, asılı travers bölgelerinde oldukça azalır ve bu da yüksek tren/ray etkileşim kuvvetlerine neden olur. Bunun sonucu olarak uzun vadede ray oturmaları artar. Traverslerin görevlerinden bir tanesi, trenin hatta aktardığı yükleri balast katmanı üzerinde dağıtmaktır. Ancak, balast ile teması azalmış olan asılı traversler, üzerlerine gelen yükü etkin bir şekilde dağıtmadığından bu yük genellikle komşu traversler tarafından dağıtılır. Kendi üzerine gelen yüke ek bir yük aktaran komşu traversler altındaki balast, aşırı gerilmeler sonucu zorlanabilir ve bu da asılı travers bulunan hatlarda farklı oturmaların oluşmasına neden olabilir (Witt, 2008).

Dalhberg'in (2010) yaptığı çalışmada demiryolu hattında esneme direnci ölçümleri yapılmıştır ve 3 asılı traversin bulunduğu bölgede esneme dirençlerinin 200-240 kN/mm'den 140-160 kN/mm'lere düştüğü gözlenmiştir. Benzer şekilde köprü, tünel ve bazı kurp noktalarında travers ile teması azalan/kesilen balast tabakasının olduğu bölümlerde hattın birim esneme direncinin düştüğü gözlemlenmiştir. Farkı bir durum olarak ise balast



tabakasındaki hasar veya deformasyonlar sonrası balast takasının düzeyde deformasyon yapmasıyla ortaya çıkan asılı travers durumunda hattın birim esneme direncinin düştüğü görülmüştür (Dahlberg, 2010).

Sonuç olarak hattın birim esneme direncine etki eden pek çok farklı mekanik etmen vardır. Demiryolu hattının güvenli bir şekilde servis ömrünü sağlaması ve servis ömrü boyunca hattan maksimum verimin alınması için hattın birim esneme direncine etki eden mekanik etmenler dikkatlice incelenmelidir ve bu doğrultuda hattın güvenle, ekonomik ve sürdürülebilir bir şekilde işletilebilmesi için doğru kararlar alınmalıdır.

## 7. Hat Esneme Direncine Etki Eden Geometrik Faktörler (Geometric Factors Affecting the Track Stiffness)

Hattın birim esneme direnci, sadece içerisinde yer alan bileşenler mekanik özelliklerinden kaynaklı olarak değil, aynı zamanda hat geometrisinden de etkilenmektedir. Belirli bir hat mesafesi boyunca ray üst profilinde gerçekleşen geometrik düzensizlikler hattın esneme direncini değiştirir. Bu da dinamik darbe kuvvetlerini artırarak bileşenlerin hasar görmesine neden olur. Ray bitiş noktaları ve makaslar, geometrik düzensizliklerin yaşandığı kısımlara örnek olarak verilebilir.

### 7.1. Ray Uçları (Rail Ends)

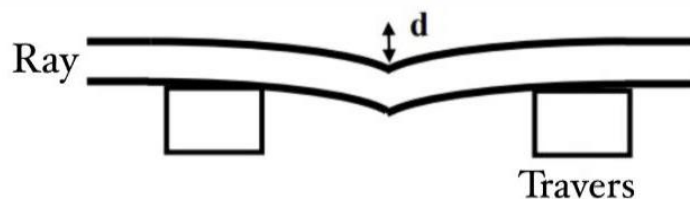
Ray uçlarında geometrik olarak düzensizlik bulunmaktadır. Hat boyunca konforu ve güvenli bir araç geçişini sağlamak için pürüzsüz bir ray yüzeyi elde edilmelidir. Bu yüzden ray uçları yatay ve dikey olarak birbirleri ile doğru bir şekilde hizalanmalıdır (Kerr ve Cox, 1999). Birleşim noktalarında esneme direnci farklılıkları bulunmaktadır ve bu farklılığın olabildiğince azaltılması gerekmektedir.

Kaynaklanmamış raylar, bağlantı noktalarında ray gövdesine oturan ve özel olarak şekil verilmiş levhalar (cebire) ve civatalar ile birbirlerine bağlanmaktadır. Cebirelerin boyutlarının küçük olmaması ve civataların sıkı bağlanması ihtiyacı bulunmaktadır. Fakat civataların aşırı sıkı sıkılması da ısı etkileri altında gerçekleşen genleşmelerden ve büzülmelerden kaynaklı gerilmelere bağlı olarak sorunlar yaratabilmektedir (Kerr ve Cox, 1999). Bu iki olay içinde uygun olacak bir ölçü belirlenmelidir.



Şekil 14. Cebireli birleşim noktası (Fished joint)

Cebirelerin esneme direnci ve atalet momentleri ile rayların esneme direnci ve atalet moment değerleri birbirlerinden farklıdır. Raylar daha büyük esneme direnci ve atalet değerlerine sahiptir. AREMA Manual'e göre Rayların atalet momenti  $3658.67 \text{ cm}^4$  iken cebirelerin  $1344.42 \text{ cm}^4$ 'tür (Kerr ve Cox, 1999). Ayrıca Japonya demiryollarının kullandıkları ray ile birleşim noktalarının ataletleri arasında da 3 kat fark bulunmaktadır (Steffen vd., 2005). Birleşim noktalarındaki esneme direnci farkı ve ray uçlarındaki geometrik düzensizlik nedeniyle ray profilinde ideal yuvarlanma yüzeyinden kalıcı olarak geometrik sapmalar meydana gelebilir. Bu durumda raylara etkiyen eğilme sonucu ray profilinde çukurda kalan bir kesim (dipped rail joint) meydana gelir. Bu çukurlu hat kesiminde birinci ray üzerinden geçen teker, belirli bir mesafe boyunca geçici olarak ray mantarı ile temasını kaybeder ve daha sonra ikinci ray üzerine düşer. Bu da  $P_1$  ve  $P_2$  dinamik kuvvetlerinin hatta aktarılmasına ve bu bölgedeki titreşimlerin artmasına neden olur.



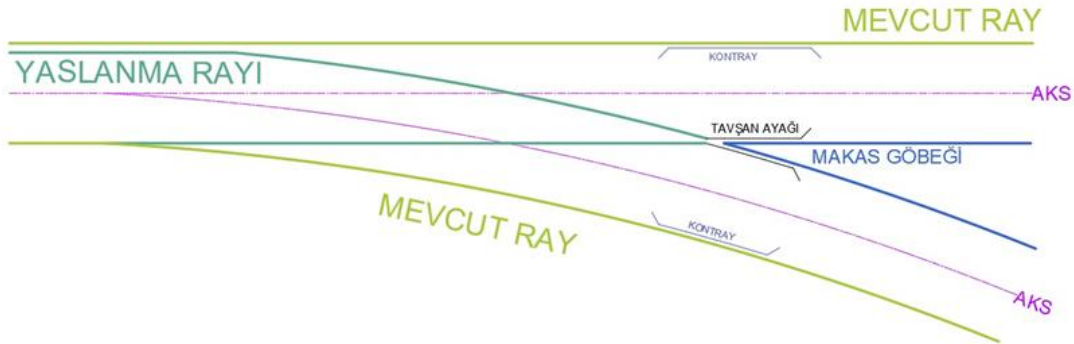
Şekil 15. Eğilmiş birleşim noktası (Bent junction) (Steffens vd., 2005)

Birleşim noktalarında oluşan dinamik darbe kuvvetleri ve titreşimlerin artması sonucu temelde bozulmalar ve ray mantarında hasarlar meydana gelebilmektedir. Hatta meydana gelen bu hasarlar, ray bitiş noktasındaki çukurun daha kısa bir mesafede daha derin bir şekilde meydana gelmesine neden olur ve bu da ortaya çıkan dinamik kuvvetleri daha da artırır. Dinamik tekerlek kuvveti, ray boşluğundan önceki rayda, ray uç noktasına yaklaştıkça artmaktadır. Ray boşluğunun merkezi ve civarında azalma gösterir ve bir sonraki raya geçildiğinde tekrar artar. Ray bitiş merkezinden uzaklaşırken düşük hızlarda dinamik darbe kuvvetleri artar (Koro vd., 2004).

Suzuki ve diğerlerinin (2005) yaptığı çalışmaya göre, iki ray arasındaki boşluğun mesafesi de önemlidir. Ancak 11 mm gibi bir ray boşluğunun etkisi, raydaki eğilme nedeniyle oluşan çukur bölgenin (dipped joint) neden olduğu zararlı etkiden daha düşüktür (Suzuki vd., 2005). Çalışmada ele alınan boşluklar 3, 9 ve 11 mm'dir. 0-50 km/h arasında 9 ve 11 mm boşluklar yaklaşık olarak 2 katlık bir dinamik kuvvete yol açar. Yüksek hızlara çıkıldıklarında ise yavaş yavaş azalır. Fakat ciddi azalışlar görülmez. Fakat 9 veya 11 mm'lik raylar arası boşluğa ek olarak ray uç noktalarında çukur bölge oluştuğunda, hız arttıkça dinamik darbe faktörü 4 seviyelerine çıkmaktadır. Bu dinamik darbe faktörünün artışların sonucunda, raylara etki eden kuvvetler artmaktadır. Kuvvetlerin artması ise ray bitiş noktalarında oluşan deformasyon değerlerinin, rayın diğer bölgelerinde oluşan deformasyon değerlerine göre daha fazla olmasına neden olur. Ayrıca bu bölgelerde hattaki bozulmalar hızlanmakta, balast katmanında normalde olması gerekenden daha fazla oturmalar meydana gelmekte, rayda aşınmalar oluşabilmekte ve ray bağlantı bileşenlerinde bozulmalar oluşmaktadır. Hatta meydana gelen bu hasarlar, ray uç noktalarında gerçekleşen çukurun derinliğinin artmasına neden olabilmektedir. Bu da ray uç noktalarının hassas noktalar olduğunu gösterir (Koro vd., 2004). Bu sebeple bu bölgeler demiryolu hatlarında en çok bakım ve parça değişimleri gerektiren bölgelerdir.

## 7.2. Makaslar (Turnouts)

Bir demiryolu güzergahında birden fazla hat olabilir. Bir hattan diğer bir hatta geçmek için bu hatların belirli bir açı ile kesişmesi gerekmektedir. Kesişen bölgelerde bulunan makaslar, trene rehberlik edip trenin hangi hattan devam edeceğine karar veren mekanik sistemlerdir. Makaslarda birçok bileşen bulunmaktadır. Bunlar mevcut ray (stock rail), yaslanma rayı (switch rail), kontray (check rail), tavşan ayağı (wing rail) ve makas göbeği (crossing nose). Mevcut ray, hareketsiz olan hattın dış tarafında bulunan raylardır. Yaslanma rayı gelen trenin hangi hattan devam edeceğine göre hareket edebilen raylardır. Tren hangi hattan devam ederse etsin makas göbeklerinin karşısında, mevcut rayın yanında kontraylar bulunmaktadır. Kontrayların amacı treni rayların üzerinde tutmaktır. Tavşan ayağı denilen kısım yaslanma rayı ile makas göbeği arasındaki geçiş raylarıdır. Makas göbekleri ise, tavşan ayaklarından sonra bulunan ufak bir boşluktan sonra tren tekerleklerinin devam ettiği kısma denir.



Şekil 16. Makas ve ray değişim bölgesi temsili (Representation of the switch and rail change zone)

Demiryolunda bulunan makaslar hat arızalanmalarının en çok olduğu bölgelerdir. Rapor edilen hat arızalanmalarının büyük bir kısmı makaslarda meydana gelir (Grossoni vd., 2020). Bunun nedeni ise bu bölgelerde raylar arasında farklılıklar olmasıdır. Bu bölgelerde bulunan çeşitli rayların birim esneme dirençleri ve atalet momentleri birbirinden farklıdır. Ayrıca tavşan ayağı ile makas göbeği arasında bulunan boşluk, rayda süreksizliğe neden olmaktadır. Bu bölgedeki sorunların geneli makas göbeği etrafında şekillenmektedir. Makas göbeklerinde etrafındaki raylara göre daha büyük esneme direncine sahiptir ve kütleleri diğer bölgelere göre daha fazladır (Burrow vd., 2009). Ayrıca mevcut ray ile yaslanma rayı arasında da esneme direnci farklılıkları bulunmaktadır (Burrow vd. 2009, Zhu, 2005). Bu farklılıklar dolayısıyla buralarda ani birim esneme direnci farkları oluşmaktadır. Bu da bu bölgelerde normalden fazla sehim olmasına ve hattın geometrisinin bozulmasına neden olur.

Zhu'nun (2004) yaptığı çalışmaya göre hat üzerinde hareket halinde bulunan tren makas göbeğine geçerken ciddi hasarlar vermektedir (Zhu, 2005). Bunun nedeni, burada bulunan ray süreksizliğinden dolayı tren tekerlerinin bu bölgeden geçerken yüksek dinamik darbe etkilerine neden olmasıdır. Dinamik kuvvetlerin artması sonucunda oluşan titreşimler, makas göbeğinde aşınma ve çatlamaya, deformasyonların normalden daha fazla olmasına neden olabilmektedir.



Şekil 17. Zamanla zarar görmüş makas göbeği (Turnout damaged over time) (Markine ve Shevtsov, 2012)

Bu sebeple bu bölgelerde sürüş konforunu azalmasının ve bakım maliyetlerini artmasının yanı sıra, gerekli önlemler alınmazsa ilerleyen boyutlarda sürüş güvenliği açısından da risk barındırır. Buradaki esneme direnci farklarını ortadan kaldırmak için ray altlarına elastomer pedler konulabilir. Bu pedler sürüş güvenliğini ve konforunu artırır. Ayrıca bakım maliyetlerini de önemli ölçüde azaltır. Fakat tekerin farklı raylar arasındaki geçişinden dolayı oluşan zararlar ancak düzenli bakımlar ile giderilebilmektedir.

## 8. Sonuç (Result)

Zemin üzerinde yer alan bir yapıda, yapı üzerinden aktarılan gerilme alanının genişliği ve derinliği zeminin özelliklerine bağlı olduğu gibi aynı zamanda üstyapıya ait mekanik ve geometrik niteliklerin de bir sonucudur. Zemin üzerine yerleştirilen plakanın yüklenmesiyle elde edilen ve zemin davranışının plaka kesiminde yarattığı etkiyi temsil eden yatak modülüne benzer bir şekilde, demiryolu hatlarında da hat üstyapısı ve zeminin rayları destekleyen taşıyıcı elemanlar olarak modellenmesiyle üstyapı-zemin ortak etkileşiminin bir temsili olan hat modülü kavramından bahsedilebilir. Hat modülü, ray desteğinin birim esneme direncinin bir ölçüsüdür.

Bir demiryolu hattında oluşan deformasyon, ray altı basınç, moment, dinamik darbe kuvveti ve kesme kuvveti değerlerinin belirli bir eşik değerinin altında tutulması ve aynı zamanda etkin bir enerji ve yük dağıtımı sağlanması için hat tasarımında düşey esneme direnci değeri göz önünde bulundurulmalıdır. Hat esneme direnci değeri, yapı-zemin etkileşimine bağlı olduğu gibi hat üzerinden geçen araç ile hat arasındaki etkileşime de bağlıdır. Hat üstyapısına ve taşıyıcı zemine ait tüm parametreler aynı kalsa dahi, sadece tren bojisine ait dingil mesafesinin değişmesiyle, hattan tren geçişinde deneyimlenecek olan hat esneme direnci değeri değişmektedir.

Bu çalışmada taşıyıcı zemin, hat üstyapısı ve araca ait bazı özelliklerin, hat esneme direnci değeri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Hatta kullanılan malzeme özellikleri, bu malzemelerin tekrarlı yükler altındaki performansı, balast koşulları, belirli bir mesafe boyunca veya yerel olarak zeminde meydana gelen değişimler, üstyapı tipi, elastik pedlerin kullanımı ve asılı traverslerin varlığı gibi bazı özellikler ile hat esneme direnci arasındaki bağıntı incelenmiştir. Ancak hat esneme direnci mekanik bazı özelliklerin yanı sıra, ray üst profilinde meydana gelen geometrik düzensizliklerden de etkilenmektedir. Buna istinaden, ray bitiş noktaları ve makasların hat esneme direnci üzerindeki etkilerine yer verilmiştir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

## Kaynaklar (References)

Anbazhagan, P., Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., Su, L. 2010. Using a seismic survey to measure the shear modulus of clean and fouled ballast. *Geomechanics and Geoengineering: An International Journal*, 5(2), 117-126.

- Balci, E., 2021. Ray Pedi ve Travers Altı Pedlerin Hat Bileşenleri ve Hat Performansı Üzerindeki Etkileri. *Demiryolu Mühendisliği*, 13, 14-28.
- Balci, E., Bezgin, N. Ö., 2020. Hat esneme direncinin hat performansı üzerindeki etkileri. *Demiryolu Mühendisliği*, 11, pp. 75-85.
- Balci, E., Bezgin, N. Ö., Wehbi, M., 2021. Investigation of Variation of Track Response to Wheel Forces with Bogie Axle Spacing and Introduction of the Concept of Effective Track Stiffness. *Transportation Research Record (In-Review)*.
- Berggren, E., 2009. Railway track stiffness. Dynamic measurements and evaluation for efficient maintenance. Ph.D. dissertation, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm
- Bezgin, N. Ö. 2017. Development of a New and an Explicit Analytical Equation that Estimates the Vertical Dynamic Impact Loads of a Moving Train. *Procedia Engineering*, 189, 2-10.
- Bezgin, N. Ö., & Wehbi, M. 2019. Advancement and Application of the Bezgin Method to Estimate Effects of Stiffness Variations along Railways on Wheel Forces. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 036119811983580.
- Burrow, M., Teixeira, P.F., Dahlberg, T., Berggren, E. 2009. Track stiffness considerations for high speed railway lines. *Railway transportation: policies, technology and perspectives*, pp. 303-354.
- Dahlberg, T., 2010. Railway Track Stiffness Variations Consequences and Countermeasures. *International Journal of Civil Engineering*, Vol 8, No 1.
- Grossoni, I., Bezin, Y., Neves, S. 2018. Optimisation of support stiffness at railway crossings. *Vehicle System Dynamics*, 56(7), 1072-1096.
- Grossoni, I., Hughes, P., Bezin, Y., Bevan, A., Jaiswal, J., 2020. Observed Failures at Railway Turnouts: Failure Analysis, Possible Causes and Links to Current and Future Research. *Engineering Failure Analysis* Vol. 119.
- Gürmak Demiryolu, "W21 Ray Bağlantı Sistemi" [Online]. Available: <https://www.gurmakdemiryolu.com.tr/tr/urunlerimiz/w21-ray-baglanti-sistemi/>. [Accessed July 7, 2020].
- Indiamart, "Grooved rubber sole plates rail pad" [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/grooved-rubber-sole-plates-rail-pad-20756032791.html>. [Accessed July 7, 2020].
- Kausel, E. 2010. Early history of soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(9), pp. 822-832.
- Kerr, A. D., Cox, J. E., 1999. Analysis and Tests of Bonded Insulated Rail Joints Subjected to Vertical Wheel Loads. *International Journal of Mechanical Sciences* 41, p.1253-1272
- Khajehdezfuly, A. 2019. Effect of rail pad stiffness on the wheel/rail force intensity in a railway slab track with short-wave irregularity. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 233(10):1038-1049.
- Koro, K., Abe, K., Ishida, M., Suzuki, T., 2004. Timoshenko beam finite element for vehicle-track vibration analysis and its application to jointed railway track. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit* 218(2):159-172
- Lakusic, S., Ahac, M., Haladin, I., 2010. Experimental investigation of railway track with under sleeper pad. 10th Slovenian road and transportation congress, Ljubljana, Slovenia, 2010, pp. 20-22.
- Loy, H., 2008. Under Sleeper Pads: Improving Track Quality while Reducing Operational Costs. *European Railway Review*, vol. 4, pp. 46-51.
- Lundqvist, A., Dahlberg, T. 2005. Load impact on railway track due to unsupported sleepers. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 219(2), pp. 67-77.
- Markine, V. L., Shevtsov, I., 2012. Experimental Analysis of the Dynamic Behaviour of Railway Turnouts, Civil-Comp Press, *Proceedings of the Eleventh International Conference on Computational Structures Technology*.
- Michas, G., 2012. Slab track systems for high-speed railways. Master Degree Project, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Moderen, O., 2010. Balastsız demiryolu üstyapısının yapısal modellenmesi ve analizi. Doctoral dissertation, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Selig, E. T., and Li, Di., 1994. Track Modulus: Its Meaning and Factors Influencing It. *Transportation Research Record* 1470, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 47-54.
- Selig, E. T., Waters, J. M., 1994. *Track geotechnology and substructure management*. London: Thomas Telford.
- Skar, A., Klar, A., Levenberg, E. 2019. Load-Independent Characterization of Plate Foundation Support Using High-Resolution Distributed Fiber-Optic Sensing. *Sensors*, 19(16), 3518.
- Song, X., Qian, Y., Wang, K., Liu, P., 2020. Effect of rail pad stiffness on vehicle-track dynamic interaction excited by rail corrugation in metro. *Transportation Research Record*, vol. 2674, no. 6, pp. 225-243.
- Steffens, D., Murray, M. H., 2005. Establishing meaningful results from models of railway track dynamic behaviour. 8<sup>th</sup> International Heavy Haul Conference.
- Suzuki, T., Iahida, M., Abe, K., Koro, K., 2005. Measurement on Dynamic Behaviour of Track near Rail Joints and Prediction of Track Settlement. *QR of RTRI*, Vol.46, No.2.
- Terzaghi, K. 1955. Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction. *Geotechnique*, 5(4), 297-326.
- Wehbi, Mohamed., Burrow, M., Shi, J., Ghatoara, G., 2013. Investigating the Effects of Soft Spots on the Functional and Structural Condition of a Railway Track. 4<sup>th</sup> Bear Post Graduate Conference in High Performance Computing, Birmingham, the UK.
- Winkler, E. 1867. *Die Lehre von der Elasticitat und Fastigkeit*, Verlag von H. Dominicus, Prague.
- Winkler, E. 1875. *Der Eisenbahnoberbau*, Verlag von H. Dominicus, Prague.
- Witt, S., 2008. The Influence of Under-Sleeper Pads on Railway Track Dynamics. Report LiU-IEIA-08/00442-SE, Linköping University, Division of Solid Mechanics/IEI, Linköping, Sweden.
- Xu, J., Wang, P., Ma, X., Gao, Y., Chen, R. 2016. Stiffness Characteristics of High-Speed Railway Turnout and the Effect on the Dynamic Train-Turnout Interaction. *Shock and Vibration*, pp. 1-14.

- Yılmaz, A. 2015, Demiryolu Üstyapısında Balast Kirliliği. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(1), 11-17.
- Zhu, J. Y., 2005. On the effect of varying stiffness under the switch rail on the Wheel-rail dynamic characteristics of a high-speed turnout. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 220(1): 69-75.
- Zhu, K., Qian, Y., Edwards, J. R., Andrawes, B. O. 2017. Finite Element Analysis of Rail-End Bolt Hole and Fillet Stress on Bolted Rail Joints. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2607(1), pp. 33-42.
- Zimmermann, H. 1888, Die Berechnung des Eisenbahnoberbaues, Verlag W. Ernst and Sohn, Berlin.