

Published By  
**Sivas Cumhuriyet University**  
<http://cumfad.cumhuriyet.edu.tr>

**2(2):2024**

## **Sivas Cumhuriyet University Journal of Engineering Faculty**

Sivas Cumhuriyet University Journal of Engineering Faculty (CUMFAD) is the official publication of Cumhuriyet University Faculty of Engineering. CUMFAD is an international journal dedicated to the latest advancement of engineering. The aim of this journal is to provide a platform for scientists and academicians all over the world to promote, share, and discuss various new issues and developments in different areas of engineering. Sivas Cumhuriyet University Journal of Engineering Faculty publishes original research papers, reviews, and letters to the editor within all fields of Science, Technology, Engineering and Architecture. The journal is a scientific and peer-reviewed journal and is published online twice a year, in June and December.

**Sivas Cumhuriyet University Journal of Engineering  
Faculty-CUJEF**

**Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Dergisi-CUMFAD**

**Volume / Cilt 2 | Issue / Sayı 2  
Pages / Sayfa: 35-235**

**Aralık/December 2024**

**<https://dergipark.org.tr/tr/pub/cumfad>**

## Sivas Cumhuriyet University Journal of Engineering Faculty-CUJEF

## Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi-CUMFAD

II

### **Publisher/Yayıncı**

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi  
Prof. Dr. Hakan YEKBAŞ

### **Editor-in-Chief**

Assoc. Prof. Dr. Serdar KOÇKANAT

### **Editör**

Doç. Dr. Serdar KOÇKANAT

### **Co-Editors**

Prof. Dr. Hülya DOĞAN  
Assoc. Prof. Dr. Mustafa ŞEKER  
Asst. Prof. Dr. Derya Betül ÜNSAL ÇELİMLİ

### **Eş Editörler**

Prof. Dr. Hülya DOĞAN  
Doç. Dr. Mustafa ŞEKER  
Dr. Öğr. Üys. Derya Betül ÜNSAL ÇELİMLİ

### **Technical Editor**

Asst. Prof. Dr. Mikail PÜRLÜ

### **Teknik Editör**

Dr. Öğr. Üyesi Mikail PÜRLÜ

### **Technical Check and Layout Assistants**

Sivas Cumhuriyet University Electronic  
Journal Office

### **Teknik Kontrol ve Mizanpaj Sorumluları**

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Elektronik  
Dergi Ofisi

### Editorial Board/ Editör Kurulu

- Prof. Dr. Nevzat ASLAN – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Prof. Dr. Tarık TÜRK – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Prof. Dr. Ali UÇURUM – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Prof. Dr. Fuat ÖZYONAR – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Doç. Dr. Mehmet KONAR – Erciyes Üniversitesi/Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi  
Doç. Dr. Nuri KAPUCU – Hitit Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Doç. Dr. Yunis TORUN – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Doç. Dr. İlkey DEMİR – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Doç. Dr. Neşe KEKLİKÇİOĞLU ÇAKMAK – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Doç. Dr. Murat BOSTANCIOĞLU – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Prof. Dr. Hidayet TAKCI – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Doç. Dr. Ferhat KILINÇ – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Dr. Öğr. Üyesi Türker KOZA – Bozok Üniversitesi/ Yozgat Meslek Yüksekokulu  
Dr. Öğr. Üyesi Halil ARSLAN – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Dr. Öğr. Üyesi Vekil SARI – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Dr. Öğr. Üyesi Pınar BORA – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Dr. Öğr. Üyesi Yavuz TÜRKAY – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Öğr. Gör. Dr. Sinan KOŞAROĞLU – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

## Publication Board/ Yayın Kurulu

Prof. Dr. Nevzat ASLAN – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Ali UÇURUM – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Hülya KURŞUN – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Ayten ATEŞ – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ACAR – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Tarık TÜRK – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Özcan BEKTAŞ – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Meltem SARIOĞLU CEBECİ – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Fazlı SÖZMEN – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Hülya DOĞAN – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Mehmet Levent KOÇ – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Hidayet TAKCI – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

---

## Contents / İçindekiler

---

### Editorial

VIII

### Editörden

IX

Use of Fuzzy Logic Method To Create Risk Hierarchy: Concrete Sleeper Factory Example  
Bulanık Mantık Yönteminin Risk Hiyerarşisi Oluşturmak Üzere Kullanımı: Beton Travers Fabrikası Örneği

**Murat Bostancıoğlu, Esra Arslan Çakmak**

35-60

Harmonic Analysis of Accelerometer Signals Using Cheetah Optimization  
Algorithm

Çita Optimizasyon Algoritması Kullanarak İvmeölçer Sinyallerinin Harmonik Analizi

**Kadir Yasin Sunca, Serdar Koçkanat**

51-57

A Study on the Use of Vinegar and Carbonate Mixtures as Color Modifiers on Mulberry (Morus Alba) Wood  
Dut (Morus Alba) Ahşabında Renk Değiştirici Olarak Sirke Ve Karbonat Karışımlarından Hazırlanan Çözeltilerin  
Kullanılması Üzerine Bir Araştırma

**Ümit Ayata, Elif Hümeysra Bilginer, Osman Çamlıbel, Hüseyin Peker**

58-63

A Systematic Literature Review on Ransomware Detection by Evidence-Based Software Engineering Method  
Kanıtı Dayalı Yazılım Mühendisliği Yöntemi İle Fidyeye Yazılımı Tespiti Üzerine Sistematik Bir Literatür İncelemesi

**Engin Kuzu, Hakan Kekül, Halil Arslan**

64-77

Notch Filter Design with the Help of Modified Artificial Bee Colony (MABC) Algorithm to Eliminate Network  
Noise on the ECG Signal

EKG İşareti Üzerindeki Şebeke Gürültüsünün Yok Edilmesi İçin Modifiye Yapay Arı Kolonisi (MABC) Algoritması  
Yardımla Çentik Filtre Tasarımı

**Abdulkadir Çakır, Serdar Koçkanat**

78-84

Use of the Quality Function Deployment Method for Decision Making in Risk Assessment Processes  
Kalite Fonksiyon Yayılımı Yönteminin Risk Değerlendirme Süreçlerinde Karar Verme Amacıyla Kullanımı

**Murat Bostancıoğlu, Mustafa Keren**

85-94

Evaluation of Salt Tectonics Structures as Geological Storage Fields in the Sivas Basin  
Sivas Havzası'nda Jeolojik Depolama Alanları Olarak Tuz Tektoniği Yapılarının Değerlendirilmesi

**Yusuf Pençeçelik, Kaan Şevki Kavak**

95-106

Hybrid Use and Analysis of Solar and Wind Energy Systems for Hill Radio Station  
Tepe Radyo İstasyonu İçin Güneş Ve Rüzgar Enerji Sistemlerinin Hibrit Kullanım Ve Analizi

**İsa Karabulut, Serdar Koçkanat**

107-118

The Electromagnetic Field Intensity Map of Sivas Cumhuriyet University Campus at Different Frequencies  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsü'nün Farklı Frekanslardaki Elektromanyetik Alan Şiddeti Haritası

**Ayşe Demirkazık, Yavuz Türkay, Tarık Türk, Vekil Sarı, Anılcan Birdal, Gülistan Onocak, Furkan Yıldırım**

119-124

Uncovering the Complex Causal Mechanisms of Road Traffic Collisions at Intersections Using Piecewise  
Structural Equation Modelling

Parçalı Yapısal Eşitlik Modellemesi Kullanılarak Kavşaklardaki Yol Trafik Çarpışmalarının Karmaşık Nedensel  
Mekanizmalarının Açığa Çıkarılması

**Mustafa Ekmekçi, Nima Dadashzadeh, Lee Woods, Renan Sinanmis**

125-136

Student Success Prediction with Machine Learning: Modeling and Performance Analysis of Factors Affecting  
Academic Success

Makine Öğrenimi İle Öğrenci Başarı Tahmini: Akademik Başarıyı Etkileyen Faktörlerin Modellenmesi Ve  
Performans Analizi

**Volkan Göreke**

137-143

Investigation of the Usability of Manisa Province Livestock Potential for Energy Production  
Manisa İli Hayvan Potansiyelinin Enerji Üretimi Amacıyla Kullanılabilirliğinin Araştırılması

**İlknur Şentürk**

144-151

Sustainable Smart Lighting System Application: Sivas Cumhuriyet University  
Sürdürülebilir Akıllı Aydınlatma Sistemi Uygulaması: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

**Gülhan ŞAHİN ÖZYALÇIN, Derya Betül ÜNSAL**

152-165

The Distribution of Facies of Oligocene Aged Siliciclastic-Carbonated Lacustrine Sequence and its Depositional  
Processes, Sivas Basin

Sivas Havzası, Oligosen Yaşlı Silisiklastik-Karbonatlı Göl İstifindeki Fasiyelerin Dağılımı Ve Çökelim Süreçleri İ

**Özgen Kangal, Levent Karadenizli**

166-175

The Effect of the Coronavirus Pandemic on the Human Development Index of EU Countries: An Analysis Using Machine Learning Methods  
COVID-19 Pandemisinin AB Ülkelerinin İnsani Gelişmişlik Endeksi Üzerindeki Etkisi: Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle İnceleme  
**Yusuf Kahreman, Abdulkadir Şeker,**  
176-184

VII

Bekenbey AI: Innovative Solutions at the Intersection of Deep Learning and Law  
Bekenbey AI: Derin Öğrenme ve Hukuk Alanlarında Yenilikçi Çözümler  
**Mehmet Ali Erkan, Erdicem Yücesan, Ali Deveci, İhsan Tolga Medeni**  
185-192

Use of Artificial Intelligence and Big Data Management in Healthcare Institutions  
Sağlık Kurumlarında Yapay Zeka ve Büyük Veri Yönetiminin Kullanımı  
**İpek Eroğlu, Ulaş Başar Gezgin**  
193-196

Using the Random Forest Model to Improve Lung Cancer Diagnosis and Prognosis: A Pilot Study  
Akciğer Kanseri Tanısı ve Prognozunu İyileştirmek İçin Rastgele Orman Modelinin Kullanılması: Bir Pilot Çalışma  
**Esin Bilgin, Michelle M. Zhu**  
197-204

Predicting Bitcoin Price Direction Using Machine Learning Models  
Makine Öğrenimi Modelleri Kullanarak Bitcoin Fiyat Yönünü Tahmin Etme  
**Tanju Açı, Hakan Kekül**  
205-213

Multi-Class Classification of ISO/IEC 25010 Software Quality Metrics Using User Feedback  
ISO/IEC 25010 Yazılım Kalite Metriklerinin Kullanıcı Geri Bildirimlerini Kullanarak Çok Sınıflı Sınıflandırılması  
**Sedat Sönmez, Hakan Kekül**  
214-222

An investigation on usage of marble dust as an additive in concrete surrounding Sivas  
Sivas çevresinde mermer tozunun betonda katkı maddesi olarak kullanımı üzerine bir araştırma  
**Mehmet Bulut, Bedrettin Coşkun**  
223-227

Comparison of Energy Storage Capacities of Biochar/Phase Change Material Composites Produced at Different Pyrolysis Maximum Temperatures  
Farklı Piroлиз Maksimum Sıcaklıklarında Üretilen Biyokömür/Faz Değiştiren Malzeme Kompozitlerinin Enerji Depolama Kapasitelerinin Karşılaştırılması  
**Bedrettin Coşkun, Ümit Nazlı Temel**  
228-235



---

## Editorial

Dear Readers and Researchers,

Cumhuriyet University Journal of Engineering Faculty (CUMFAD) is an international, scientific, peer-reviewed and electronically accessible journal published twice a year by Sivas Cumhuriyet University Engineering Faculty. CUMFAD aims to deliver qualified studies in all engineering branches to its readers with an objective point of view. As the editorial board, we are happy to present the first issue of our magazine to our readers. We would like to express our deepest gratitude to our authors, reviewers and everyone who contributed to this issue of our journal, especially to our advisory board, co-editors, field editors, language editors, and staff responsible for review and typesetting. In addition, we are grateful to all our authors who have been patiently waiting for us, despite the negative impact of the earthquake disaster in our country and the disruptions due to the editorial office change process. Also, we would also like to thank everyone who has contributed and supported our magazine so far. Our next issue will hopefully be published in June 2025.

In this issue, there are 21 research and 1 review articles that have undergone a strict blind review and editorial process. Studies published in our journal go through three important stages: preliminary review, blind peer-review process and editorial process. During the peer-review process, each article was reviewed by at least two referees. In addition, every article that enters the review process is screened for plagiarism with the help of iThenticate software. We recommend our authors who want to submit their works to our journal for our upcoming issues, to pass their work through a plagiarism software before sending them to us.

For our new issues, you can upload your works to <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cumfad>. In addition, our journal aims to expand the academic advisory board and the referee pool. In this context, valuable researchers who want to be on the advisory board of our journal or who want to contribute to our journal as a referee can send their CVs to [skockanat@cumhuriyet.edu.tr](mailto:skockanat@cumhuriyet.edu.tr) via e-mail. Referee certification processes are carried out through Dergipark. For this reason, our referees who want to obtain a referee certificate should apply through Dergipark.

See you in the next issue with qualified and original works...

**Assoc. Prof. Dr. Serdar KOÇKANAT**  
**Editor**  
**December, 2024**

---

---

## Editör'den

Değerli okuyucular, kıymetli araştırmacılar,

IX

Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi (CUMFAD) Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi tarafından yılda iki defa çıkarılan uluslararası, bilimsel, hakemli ve elektronik ortamda okuyucuların erişimine açık bir dergidir. CUMFAD, tüm mühendislik dallarında nitelikli çalışmalarını nesnel bir bakış açısı ile okuyucusuna ulaştırmayı hedeflemektedir. Yayın kurulu olarak dergimizin ilk sayısını okuyucularımızla buluşturmanın mutluluğu içerisindeyiz. Özellikle danışma kurulumuza, eş editörlerimize, alan editörlerimize, dil editörlerimize ve ön inceleme ve dizgiden sorumlu çalışanlarımıza olmak üzere, yazarlarımıza, hakemlerimize ve dergimizin bu sayısına katkıda bulunan herkese verdikleri emekten ötürü en derin şükranlarımızı sunarız. Ayrıca ülkemizde meydana gelen deprem felaketinin tüm süreçleri olumsuz etkilemesine ve editöryal ofis değişim süreci nedeniyle yaşanan aksamalara rağmen bizleri sabırla bekleyen tüm yazarlarımıza minnettarız. Bununla birlikte şimdiye kadar dergimize katkıda bulunan ve destek sağlayan herkese teşekkür ediyoruz. Bir sonraki sayımız Haziran 2025'de yayımlanacaktır.

Bu sayımızda sıkı bir kör hakemlik ve editörlük sürecinden geçmiş 21 araştırma ve 1 inceleme makalesi bulunmaktadır. Dergimizde yayımlanmakta olan çalışmalar ön inceleme, kör hakemlik süreci ve editöryal süreç olmak üzere üç önemli aşamadan geçmektedir. Hakemlik sürecinde her makale en az iki hakem tarafından incelenmiştir. Ayrıca, inceleme sürecine giren her makale iThenticate yazılımı yardımıyla intihal taramasından geçmektedir. Önümüzdeki sayılarımız için çalışmalarını dergimize göndermek isteyen yazarlarımıza çalışmalarını bize göndermeden önce mutlaka intihal yazılımından geçirmelerini öneriyoruz.

Yeni sayılarımız için çalışmalarınızı <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cumfad> adresine yükleyebilirsiniz. Ayrıca, dergimiz akademik danışma kurulunu ve hakem havuzunu genişletmeyi hedeflemektedir. Bu bağlamda dergimizin danışma kurulunda yer almak isteyen veya hakem olarak dergimize katkıda bulunmak isteyen değerli araştırmacılar özgeçmişlerini [skockanat@cumhuriyet.edu.tr](mailto:skockanat@cumhuriyet.edu.tr) adresine e-posta ile gönderebilirler. Hakem sertifikası işlemleri Dergipark üzerinden yürütülmektedir. Bu nedenle hakem sertifikası almak isteyen hakemlerimizin Dergipark üzerinden başvuruda bulunmaları gerekmektedir.

Nitelikli ve özgün çalışmalarla bir sonraki sayıda buluşmak üzere...

**Doç. Dr. Serdar KOÇKANAT**  
**Editör**  
**Aralık, 2024**



## Use of fuzzy logic method to create risk hierarchy: concrete sleeper factory example

Murat Bostancıoğlu<sup>1,a,\*</sup>, Esra Arslan Çakmak<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

<sup>2</sup>Sivas Merkez 1. Organize Sanayi Bölge Müdürlüğü, Sivas, Türkiye

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 01/08/2024

Accepted: 04/09/2024

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

The increase in occupational accidents that have occurred in our country in recent years has increased the importance of occupational health and safety (OHS) related practices. Occupational Health and Safety Law No. 6331 and the regulations related to this law have made certain practices such as risk assessment mandatory. Risk assessment can be defined as all the procedures carried out to determine the causes of occupational accidents and to reduce or completely eliminate these causes. While performing a risk assessment, all risks in the workplace are identified and these risks are ranked according to their degree of importance. Precautions to be taken for all risks are determined, starting with the risk with the highest risk score. There are many methods used for risk assessment in the literature. In this study, 109 risks belonging to TCDD Sivas Concrete Sleeper Factory were evaluated with traditional L matrix, Fine-Kinney and failure modes and effects analysis (FMEA) methods. 109 risks were clustered into 8 different scores in the L matrix method, 28 in the Fine-Kinney method, and 33 different scores in the FMEA method. In order to represent the risks with a larger number of scores and to reveal the risk hierarchy more clearly, the study also conducted a risk assessment using the fuzzy logic method. Analyzes made using the fuzzy logic method and different membership functions have revealed that the fuzzy logic method can be used successfully for risk assessment.

**Keywords:** Risk assessment; L matrix method; Fine-Kinney; failure modes and effects analysis; fuzzy logic

## Bulanık Mantık Yönteminin Risk Hiyerarşisi Oluşturmak Üzere Kullanımı: Beton Travers Fabrikası Örneği

### Süreç

Geliş: 01/08/2024

Kabul: 04/09/2024

### ÖZ

Son yıllarda ülkemizde meydana gelen iş kazalarındaki artışlar iş sağlığı ve güvenliği (İSG) ile ilgili uygulamaların önemini artırmıştır. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve bu kanuna bağlı yönetmelikler, risk değerlendirmesi yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Risk değerlendirmesi, iş kazalarının sebeplerini belirlemek ve bu sebepleri tamamen ortadan kaldırmak veya azaltmak amacıyla yapılan işlemler olarak tanımlanabilir. Risk skoru en yüksek olan riskten başlamak üzere tüm riskler için alınması gereken önlemler belirlenir. Literatürde risk değerlendirmesinde kullanılan çok sayıda yöntem söz konusudur. Bu çalışmada Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) Sivas Beton Travers Fabrikasına ait 109 adet risk, geleneksel L tipi matris, Fine-Kinney ve hata türleri ve etkileri analizi (HTEA) yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Tespit edilen 109 adet risk L tipi matris yönteminde 8, Fine-Kinney yönteminde 28, HTEA yönteminde ise 33 farklı skor içerisinde kümelenebilir. Risklerin daha fazla sayıda skor ile temsil edilebilmesi ve risk hiyerarşisinin daha net ortaya koyulabilmesi amacıyla çalışmada ayrıca bulanık mantık yöntemi ile risk değerlendirmesi yapılmıştır. Bulanık mantık yöntemi ile farklı üyelik fonksiyonları kullanılarak yapılan analizler bulanık mantık yönteminin risk değerlendirmesi amacıyla başarılı bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Risk değerlendirmesi; L tipi matris yöntemi; Fine-Kinney; hata türleri ve etkileri analizi; bulanık mantık

<sup>a</sup> bostancioglu@cumhuriyet.edu.tr

<sup>b</sup> 0000-0001-6820-2213

<sup>b</sup> esra\_arslan@hotmail.com

<sup>b</sup> 0009-0000-7206-0887

**How to Cite:** Bostancıoğlu M, Arslan Çakmak E (2024) Use of fuzzy logic method to create risk hierarchy: concrete sleeper factory example, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 35-50

## Giriş

İş sağlığı ve güvenliği çalışma hayatının sürdürüldüğü tüm sektörlerde, iş sağlığı ve güvenliğini tehdit eden riskleri ortadan kaldırmak ve güvenli bir çalışma ortamı oluşturmak için yapılan sistemli ve bilimsel çalışmaların bütünü olarak tanımlanabilir.

İSG'nin amacı sadece çalışan sağlığının değil tüm işletmenin ve üretimin emniyetinin korunması, çalışma ortamının bütünlüğünün sürdürülmesi ve üretimin sürekliliğinin sağlanmasıdır. İSG bir bütün olarak, risklerin öngörülmesini, değerlendirilmesini ve öngörülen bu risklerin tamamen ortadan kaldırılabilmesi ya da zararlarının en aza indirilebilmesi için yapılacak çalışmaların tamamını içermektedir [1].

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nda [2], İSG'de en iyi koşulları hedefleyerek, işyerlerinin mevcut durumunun sürekli iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kanunda, iş kazası veya buna bağlı zararlar ortaya çıktıktan sonra neler yapılacağı değil (reaktif yaklaşım), iş kazası ve meslek hastalığının önlenmesi için atılacak adımlar (proaktif yaklaşımlarla) esas alınmıştır [3].

Bu esasa uygun bir çalışma ortamının sağlanması için, yapılan işin türüne göre değişen tehlikeler ve bu tehlikelere bağlı ortaya çıkan riskler belirlenmeli ve bu risklerin ortadan kaldırılması amaçlanmalıdır.

Risk değerlendirmesinin amacı nedir sorusunun cevabı hükümetler, işverenler ve çalışanlar tarafından farklı biçimlerde verilebilir. Hükümetler ülkede her alanda güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamının sağlanmasını ve çalışanların refahını amaçlarken, işverenler, işyerinde olan veya dışarıdan gelebilecek tehlikelerin işçiye zarar vermemesi, işçinin ruh ve beden bütünlüğünün bozulmadan korunabilmesi, işçinin ve işyerinin maddi ve manevi kayıplara uğramamasını amaç edinir. Çalışanlar ise işverenler ile benzer şekilde maddi ve manevi kayıplara uğramadıkları, ruh sağlıklarının ve beden bütünlüklerinin korunduğu bir çalışma ortamını amaçlarlar [4,5].

Risk değerlendirmesi, herhangi bir sistemde, tehlikelerden kaynaklanan risklerin büyüklüğünü tahmin edebilme ve mevcut kontrollerin yeterliliğini dikkate alarak bu risklerin kabul edilebilir olup olmadığına karar verebilme sürecini kapsar [6].

Risk değerlendirmesi işyerinin kuruluşundan itibaren başlar ve çeşitli aşamalar takip edilerek devam eder. Risk değerlendirme aşamasında yapılan çalışmalar Şekil 1'de verilmiştir.

Risk değerlendirme amacıyla literatürde tanımlanmış pek çok yöntem bulunmaktadır. Risk değerlendirme yöntemleri genel olarak kalitatif (nitel) ve kantitatif (nicel) olarak iki ana gruba ayrılmaktadır [7,8]. Kalitatif risk analizinde numerik değerler ve matematiksel bağıntılar yerine çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek vb. tanımlayıcı sözel ifadeler kullanılırken, kantitatif risk analizinde riskin meydana gelme olasılığı, şiddeti gibi parametrelere sayısal değerler verilerek risk skoru hesaplanmaktadır [3]. Bir işyerinde bulunan birden fazla risk, skorlarına göre sıralanarak riskler hiyerarşisi oluşturulur

ve skoru en yüksek riskten başlamak üzere çözümlenme, azaltma veya ortadan kaldırma süreçleri başlatılır.

Risk değerlendirme süreçlerinde sıklıkla kullanılan bazı risk değerlendirme yöntemleri ve yöntemle özgü karakteristik özellikler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

HTEA, ürünlerde veya yapılan işyeri çalışmalarında mevcut bulunan veya olası hataları, kullanıcılara ulaşmadan belirlemek ve bu hataları yok etmek için kullanılan bir mühendislik yöntemidir [9].

HTEA, sistemdeki tüm hata türleri için iyileştirme çalışmaları yapılmasının planlanmasından ziyade, tüm sistem elemanları üzerinde en büyük katkıyı sağlayacak hata türlerini önceliklendiren bir yöntemdir. Hata türlerinin bütünü için, veri derleme ve veri çözümlenme fazlasıyla zaman ve işgücü gerektirmektedir. HTEA metodunun, sürecin başında ön seçim yapması ve yalnızca önemli olduğu belirlenen parçalar için veri derlemesi, yöntemin etkinliğini artırmaktadır [10]. HTEA yöntemi kantitatif bir yöntem olup, olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik gibi sayısal verilere ihtiyaç duyar. Çoğu zaman sıralanan bu parametreler için hazır sayısal veriler elde etmek zordur veya mevcut veriler yeterli seviyede ve güvenilir değildir. Bu durumda, sayısal veriler uzman yargısına başvurularak tahmin edilmektedir [10].

Bir riskin ortaya çıkabilme olasılığı (1 ile 5 arasında) ile riskin gerçekleşmesi durumunda meydana gelecek hasarın şiddetinin (1 ile 5 arasında) çarpılarak risk skorunun elde edildiği L tipi matris yöntemi, sadeliği ve kolay uygulanabilirliği sayesinde en çok kullanılan kantitatif yöntemlerin başında gelmektedir [1]. Bu yöntemde hesaplanan risk skoru 20'den büyük ise devam eden iş, risk kabul edilebilir bir seviyeye düşürülünceye kadar durdurulur, henüz başlamamış bir iş ise başlatılmaz. Riskin düşürülmesi olası değilse faaliyet engellenir [11].

L tipi matris yöntemi gibi kullanımı kolay olan Fine-Kinney yönteminde risk skoru hesabında kullanılan üç bileşen, olasılık, frekans (tehlikeye maruz kalma sıklığı) ve şiddettir [12]. Bu yöntemde parametre skala aralıkları daha geniştir.

Bulanık mantık veya diğer adıyla puslu mantık, 1961 yılında Lutfi A.Zadeh tarafından ortaya koyulan bir mantık yapısıdır [13]. 1965 yılında bulanık küme kavramı ve 1968 yılında bulanık algoritmalar Zadeh tarafından, 1970 yılında ise bulanık karar verme yöntemleri Bellman ve Zadeh tarafından ortaya atılmıştır [14]. Bulanık kümelerinin en bariz özelliği belirsizlik içeren sayısal ve sözel bilgilerle verileri eş zamanlı süreçte insan mantığına en uygun şekilde modelleyebilmesidir. Günümüz teknolojisinde sık şekilde rastlanılan akıllı ve uzman sistemlerle otomasyonda, belirsizlik ortamında en uygun karar verebilme ve modellemenin esasında bulanık mantık önerme ve çıkarımları bulunur [15].

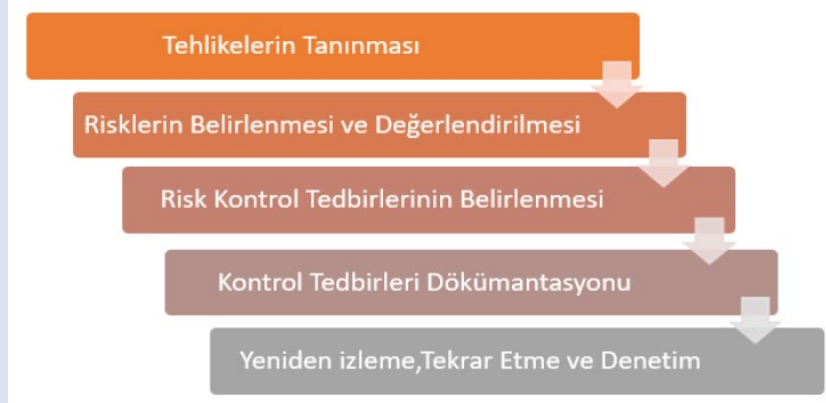
Klasik Aristo mantığına göre varlık ya kümenin elemanıdır veyahut değildir. Aristo yaklaşımında sonuçlar iki kesin hükümden birini içerir yani sonuçlar nettir. Fakat bulanık varlık kümesinde bu iki sonuçtan başka sonuçlar olduğu da görülür. Aslında her varlığın bir üyelik derecesi vardır ve bu derecelerin [0,1] arasında olması mümkündür [16].

Risk analizi yaparken pek çok değişkeni dikkate almak zorunludur. Fakat her değişkenin hesaplanabilmesi zor olmakta bazı durumlarda ise değişkenlerin hesaplanabilmesi mümkün olamamaktadır. Kesin sınırlar içermeyen ve kesin biçimde ifade edilemeyen değişkenler bulanık mantık kuramı

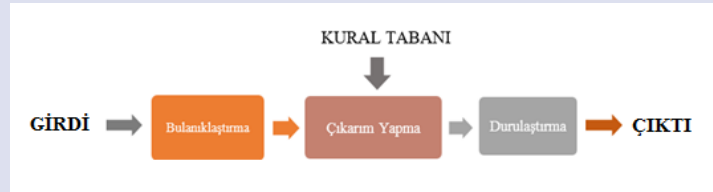
ile sayısal olarak ifade edilebilir ve risk analizinde kullanılabilir [1].

Bulanık mantık kontrol adımları üç ana aşamadan oluşur (Şekil 2). Bunlar;  
Bulanıklaştırma (Fuzzification),

Çıkarım ve bilgi tabanı (Inference and knowledge base),  
Durulaştırma (Defuzzification) [17].



Resim 1. Risk değerlendirme aşamaları [6]  
Figure 1. Risk assessment stages [6]



Resim 2. Bulanık kontrol sistemi  
Figure 2. Fuzzy control system

Bulanıklaştırma ham haldeki girdileri aralıklara bölerek üyelik fonksiyonları ile ifade etmektedir. Her üyelik fonksiyonuna, kontrol amacına uygun sözsözsel bir ifade atanır. Belirlenen üyelik fonksiyonları uygun geometrik şekil ile ifade edilir [16]. Literatürde üçgen üyelik fonksiyonu, yamuk üyelik fonksiyonu, Gauss üyelik fonksiyonu, çan eğrisi üyelik fonksiyonu, sigmodial üyelik fonksiyonu, S ve  $\pi$  gibi farklı üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır [18].

Bulanık sonuçların çıkarım yapıldığı basamakta bulanık girdi değerleri elde etmek amacıyla üyelik fonksiyonları biriktirilip gruplandırılır ve ilgili kümeler arasında bağlantı kurulur. Bu bilgiler, bulanık küme adı altında dönüştürülür [1].

Durulaştırma, bulanık sonuç çıkarımlarının bulanık küme çıktılarının ölçek değerleri üzerinde oynayıp farklılıklar yapılarak reel sayılara dönüştürüldüğü bölümdür. Yani durulaştırma, bulunan sonuç kısmından bir değer bulunması demektir. Durulaştırma işleminin amacı tek durum elde edebilmektir [19].

Bu çalışmada TCDD Sivas Beton Travers Fabrikası çalışma alanlarının risk değerlendirmesi geleneksel üç yöntem (L Tipi Matris, HTEA ve Fine-Kinney) ve bulanık mantık yöntemi ile yapılmıştır. Çalışma alanına ait 109 adet risk tanımlanmış ve her bir riskin skoru ilgili yöntem ile belirlenmiştir. Geleneksel risk değerlendirme yöntemlerinde bir iş yerindeki risklerden bir çoğu aynı risk skoruna sahip olmakta ve aynı skora sahip

riskler arasında bir öncelik sıralaması yapılamamaktadır. Bu çalışmanın amacı bulanık mantık yöntemi kullanarak aynı skorlara sahip risk sayısını azaltmak ve riskler hiyerarşisinde daha net bir ayırım ortaya koyabilmektir.

### Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada TCDD Sivas Beton Travers Fabrikasına ait farklı çalışma alanlarında risk değerlendirme çalışması yapılmıştır. Risk değerlendirme amacıyla geleneksel 3 risk değerlendirme yöntemi (L Tipi Matris, HTEA ve Fine-Kinney) ve bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Çalışma alanları, genel bölüm, iş makineleri, bakım atölyesi, kalıplama ve gerdirme, dış istif, elektrik, kaynak, ısı santrali, su arıtma ve agrega laboratuvar bölümleri ile lojman bölümü olarak belirlenmiştir. Her bir bölüm için ayrı ayrı tanımlanmış 109 adet risk için risk değerlendirme çalışmaları yapılmıştır (EK 1).

Bulanık mantık yönteminin risk değerlendirme amacıyla kullanımı aşağıda verilen altı aşamada gerçekleştirilmiştir,

1. Fabrikadaki tehlike kaynaklarının ve risklerin tanımlanması
2. Risk skorlarının geleneksel 3 yöntem ile belirlenmesi (Skor A)
3. Geleneksel yöntemler ile 2. aşamada elde edilen risk skorlarının bulanık mantık yönteminde girdi olarak tanımlanması ve bulanık risk skorlarının elde edilmesi (Skor B)

4. L tipi matris, HTEA ve Fine-Kinney yöntemlerine ait olasılık, şiddet, fark edilebilirlik ve frekans parametrelerinin bulanık mantık yönteminde girdi olarak tanımlanması ve geleneksel yöntem skorlarının bulanık risk skoru olarak elde edilmesi (Skor C)
5. Dördüncü aşamada elde edilen skorların (Skor C) bulanık mantık yönteminde girdi olarak tanımlanması ve bulanık risk skorlarının elde edilmesi (Skor D)
6. Skor A, B ve D'nin kıyaslanması ve bulanık mantık yönteminin risk hiyerarşisi oluşturmak için kullanımının ve etkinliğinin irdelenmesi.

Çalışmanın ilk aşaması için TCDD Sivas Beton Travers Fabrikasına ait tüm çalışma alanları fabrikada görevli İş Sağlığı ve Güvenliği uzmanı ile detaylı olarak incelenmiş ve hem İSG uzmanı hem de çalışanlar ile yapılan değerlendirmeler ve görüşmeler sonucunda fabrikaya ait 109 adet risk belirlenmiştir. İkinci aşamada fabrikada İSG uzmanı tarafından daha önce Fine-Kinney yöntemi ile hazırlanmış olan risk değerlendirme raporları ve çalışanlar ile yapılan görüşmeler dikkate alınarak her bir risk için olasılık, şiddet, fark edilebilirlik ve frekans parametrelerine ait numerik değerler hassas bir şekilde ortaya konulmuş ve tüm riskler için, L tipi matris, Fine-Kinney ve HTEA yöntemleri ile risk değerlendirme işlemleri yapılmıştır. Belirtilen yöntemlere ait risk skoru

(RS) eşitlikleri ve skora bağlı kabul edilebilirlik değerleri sırasıyla Eşitlik 1-3'te ve Tablo 1-3'te verilmiştir.

$$RS = OxŞ \quad (1)$$

$$RS = OxŞxF \quad (2)$$

$$RS = OxŞxFE \quad (3)$$

Eşitliklerde O, riskin oluşma olasılığını, Ş, şiddetini, F frekansını ve FE, fark edilebilirliğini temsil etmektedir [10,11,12,16,20,21].

Çalışmada bulanık mantık yöntemi ile risk değerlendirmesi MATLAB paket programında bulunan "fuzzy logic" araç kutusu ile yapılmıştır. Çalışmanın üçüncü aşamasında her bir risk için geleneksel yöntemler ile elde edilen 3 farklı risk skoru bulanık mantık araç kutusunda girdi (input) olarak tanımlanmış ve 3 farklı risk skoru değeri tek bir risk skoruna dönüştürülmüştür. Bulanık mantık çıktısı (output) olarak elde edilen risk skorları 1 ile 5 puan arasında değerlendirilmiştir (1 minimum risk, 5 maksimum risk). 109 adet riskin daha çok kümeye (risk skoruna) ayrılması ve risklerin birbirlerinden daha belirgin ayrılabilmesi için farklı üyelik fonksiyonları ile analizler yapılmıştır. 3. aşamada kullanılan 4 farklı analize ait L tipi matris, Fine-Kinney ve HTEA girdi üyelik fonksiyonları ile çıktı üyelik fonksiyonları Şekil 3-6'da verilmiştir.

Çizelge 1. L Tipi matris yöntemi kabul edilebilirlik değerleri  
Table 1. L Type matrix method acceptability values

Zararın Olasılığı	Zararın Şiddeti				
	[1]Çok Hafif	[2]Hafif	[3]Orta	[4]Ciddi	[5]Çok Ciddi
[1]Çok Düşük	Önemsiz 1	Düşük 2	Düşük 3	Düşük 4	Düşük 5
[2]Düşük	Düşük 2	Düşük 4	Düşük 6	Orta 8	Orta 10
[3]Orta	Düşük 3	Düşük 6	Orta 9	Orta 12	Yüksek 15
[4]Yüksek	Düşük 4	Orta 8	Orta 12	Yüksek 16	Yüksek 20
[5]Çok Yüksek	Düşük 5	Orta 10	Yüksek 15	Yüksek 20	Durdur 25

Çizelge 2. Fine-Kinney yöntemi kabul edilebilirlik değerleri  
Table 2. Fine-Kinney method acceptability values

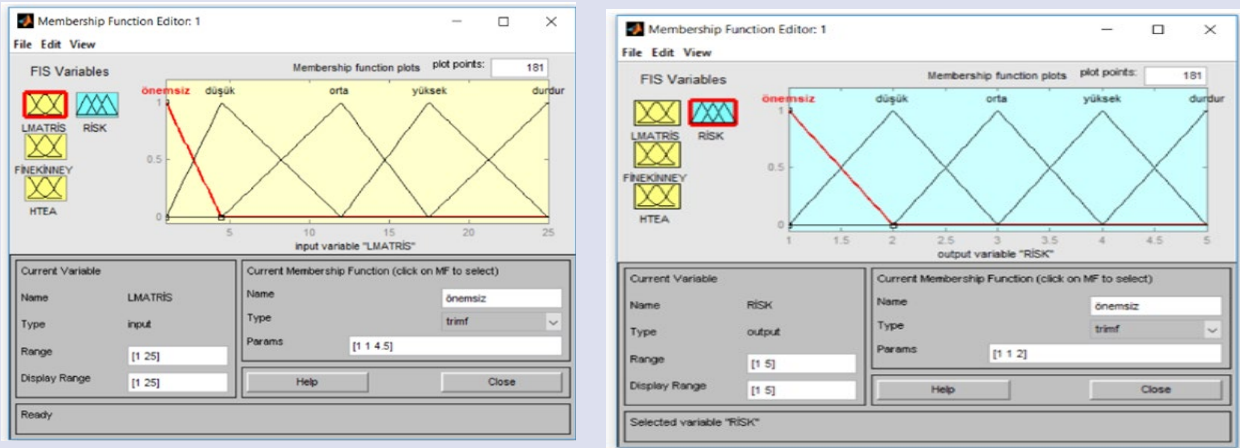
Risk önem derecesi	Risk skoru	Eylem
Tolere Gösterilemez Risk (Durdur)	400<R	Hemen gerekli tedbirler alınmalı ve çalışmaya ara verilmelidir.
Esaslı(Yüksek)	200<R≤400	Kısa vadeli eylem planı alınmalı ve iyileştirme yapılmalıdır.
Önemli(Orta)	70<R≤200	Dikkatli izlenmeli ve uzun sürede iyileştirme yapılmalıdır.
Olası(Düşük)	20<R≤70	Eylem planı denetim ve gözetim altında alınmalıdır.
Önemsiz	R≤ 20	Öncelikli tedbir gerekemeyebilir.

Çizelge 3. HTEA yöntemi kabul edilebilirlik değerleri  
Table 3. FMEA method acceptability values

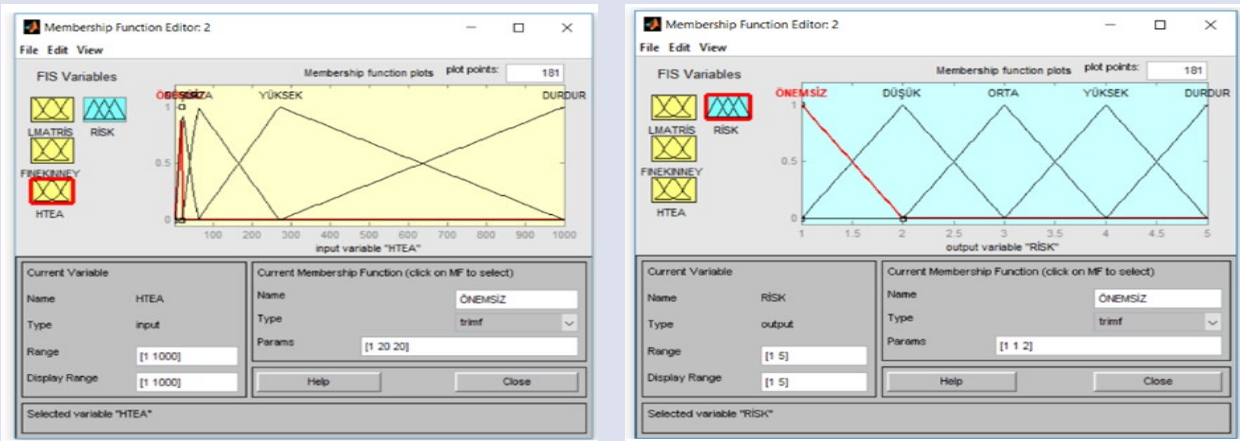
Risk önlem derecesi	Risk skoru	Düzenleyici önleyici faaliyet
Katlanılamaz Riskler [durdur]	RÖS >400	Risk kabul edilebilir bir seviyeye düşürülür. Devam eden bir iş varsa durdurulur, Herhangi bir iş başlatılmaz. Riskin düşürülmesi olası değilse faaliyet engellenir.
Önemli Riskler [yüksek]	100≤ RÖS< 400	Risk azaltılincaya kadar iş başlatılmaz. Devam eden işler durdurulur. Risk için önlemler alınmalı ve önlemler sonucu faaliyetin devamın karar verilmelidir.
Orta Düzeydeki Riskler [orta]	40≤ RÖS<100	Risk değerlerini düşürmek için risk azaltma önlemleri alınır.
Katlanılabilir Riskler [düşük]	10≤RÖS< 40	Mevcut kontroller sürdürülmeli ve kontrollerinde sürdürüldüğü denetlenmelidir. Ek kontrol proseslerine ihtiyaç duyulmayabilir.
Önemsiz Riskler	RÖS≤ 10	Riskleri yok etmek amacıyla kontrol prosesleri planlamaya ve gerçekleştirilecek

[önemsiz]

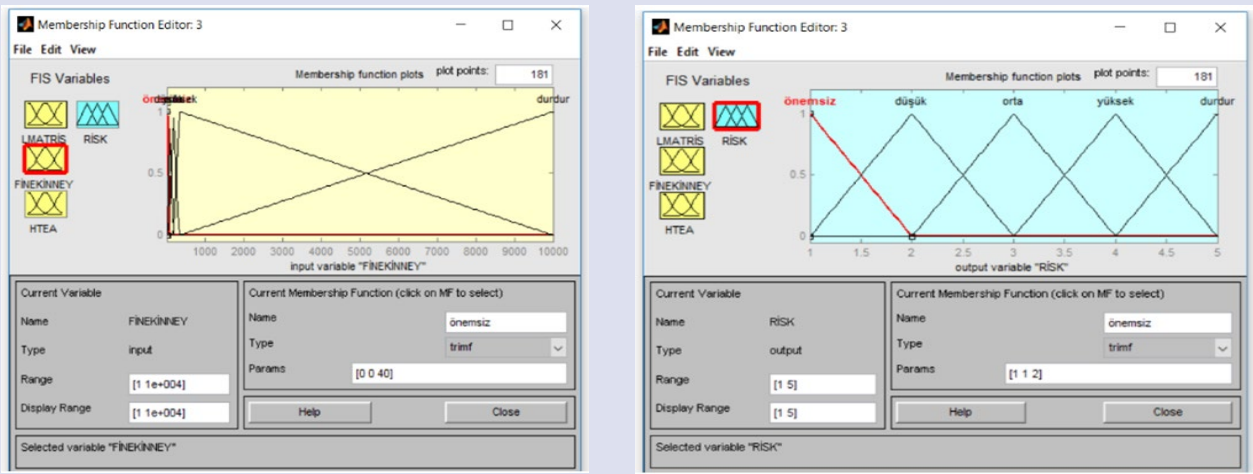
faaliyet kayıtlarını biriktirmeye gerek yoktur.



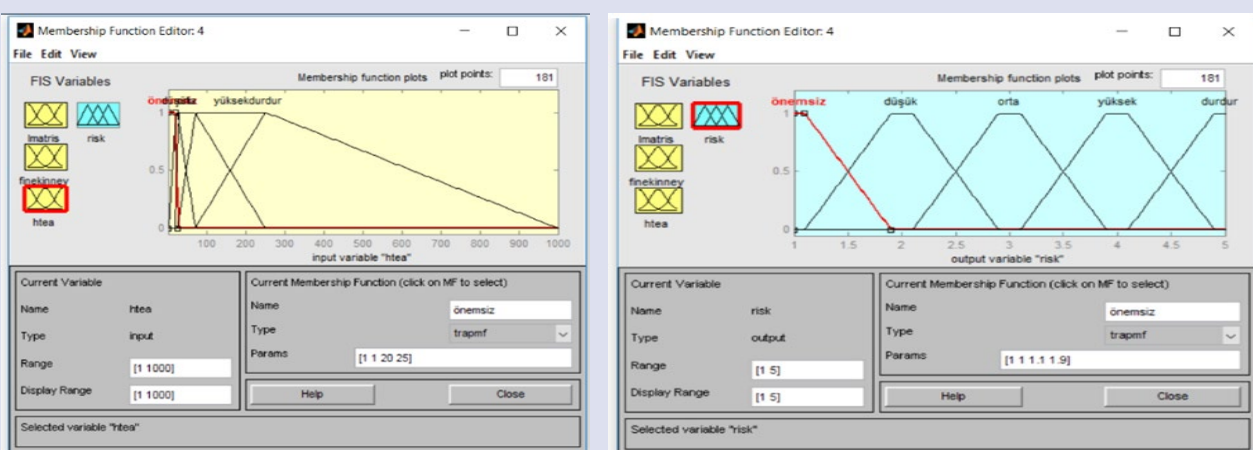
Resim 3. 1. analiz için girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları gösterimi  
Figure 3. Input and output membership functions for 1<sup>st</sup> analysis



Resim 4. 2. analiz için girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları gösterimi  
Figure 4. Input and output membership functions for 2<sup>nd</sup> analysis



Resim 5. 3. analiz için girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları gösterimi  
Figure 5. Input and output membership functions for 3<sup>rd</sup> analysis



Resim 6. 4. analiz için girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları gösterimi  
Figure 6. Input and output membership functions for 4<sup>th</sup> analysis

Çizelge 4. L tipi matris yöntemi için yapılan 4 analize ait örnek gösterim

Table 4. Examples of 4 analyses performed for the L-type matrix method

Risk No	Geleneksel Risk Skoru	1.Analiz Risk Skoru	2. Analiz Risk Skoru	3.Analiz Risk Skoru	4.Analiz Risk Skoru
1	10	13	13	13	13
2	3	5.95	5.45	5.61	7.4
3	3	5.95	5.45	5.61	7.4

Çizelge 5. Fine-Kinney yöntemi için yapılan 7 analize ait örnek gösterim

Table 5. Examples of 7 analyses performed for the Fine-Kinney method

Risk No	Geleneksel Risk Skoru	1.Analiz Risk Skoru	2.Analiz Risk Skoru	3.Analiz Risk Skoru	4.Analiz Risk Skoru	5.Analiz Risk Skoru	6.Analiz Risk Skoru	7.Analiz Risk Skoru
1	50	96.2	177	96.2	94.5	94.5	96.4	413
2	45	95.2	85.1	294	323	94.5	96.4	340
3	45	95.2	85.1	294	323	94.5	96.4	340

Çizelge 6. HTEA yöntemi için yapılan 4 analize ait örnek gösterim

Table 6. Examples of 4 analyses performed for the FMEA method

Risk No	Geleneksel Risk Skoru	1.Analiz Risk Skoru	2.Analiz Risk Skoru	3.Analiz Risk Skoru	4.Analiz Risk Skoru
1	270	122	118	132	485



2	56	440	35.5	31	40.2
3	36	32.2	35.5	31	36

Çalışmanın 4. Aşamasında geleneksel risk değerlendirme yöntemlerine ait olasılık, şiddet, frekans ve fark edilebilirlik değerleri bulanık mantık yönteminde farklı üyelik fonksiyonları ile tanımlanarak her bir geleneksel yöntemin bulanık mantık risk skorları elde edilmiştir. Üyelik fonksiyonu belirlenirken yöntemlere ait olasılık, şiddet, frekans ve fark edilebilirlik değerlerinin sayısal aralıkları dikkate alınmıştır. L matris yönteminde olasılık ve frekans değerleri 1-5 aralığında, HTEA yönteminde olasılık, şiddet ve fark edilebilirlik değerleri 1-10 aralığındadır. Fine-Kinney yönteminde ise olasılık 0.2-10 aralığında, şiddet 1-100 aralığında ve frekans 1-10 aralığındadır. Bu değer aralıkları dikkate alındığında L tipi matris ve HTEA yöntemlerinde 4 üyelik fonksiyonu ile

çalışılırken, Fine-Kinney yönteminde özellikle şiddet aralığının geniş olması (1-100) 7 farklı üyelik fonksiyonu tanımlanmasına olanak vermiştir. Her bir yöntemin farklı üyelik fonksiyonları ile elde edilen sonuçlarından 3 adet örnek Tablo 4-6'da verilmiştir.

Geleneksel risk skorları bulanık mantık yöntemi ile yeni skorlara dönüştürüldükten sonra her yöntem için yapılan farklı analizlerden, yöntemin gerçek skoru ile en uyumlu olan analiz sonuçları belirlenmiş ve bu skorlar 1-5 arasındaki ölçekte bir sonuca dönüştürülmek üzere yine bulanık mantık yöntemi ile analize tabi tutulmuşlardır (5. Aşama). Bu aşamada 2 adet üçgen ve 1 adet trapez olmak üzere 3 adet çıktı üyelik fonksiyonu ile analizler sürdürülmüştür.

### Bulgular ve Tartışma

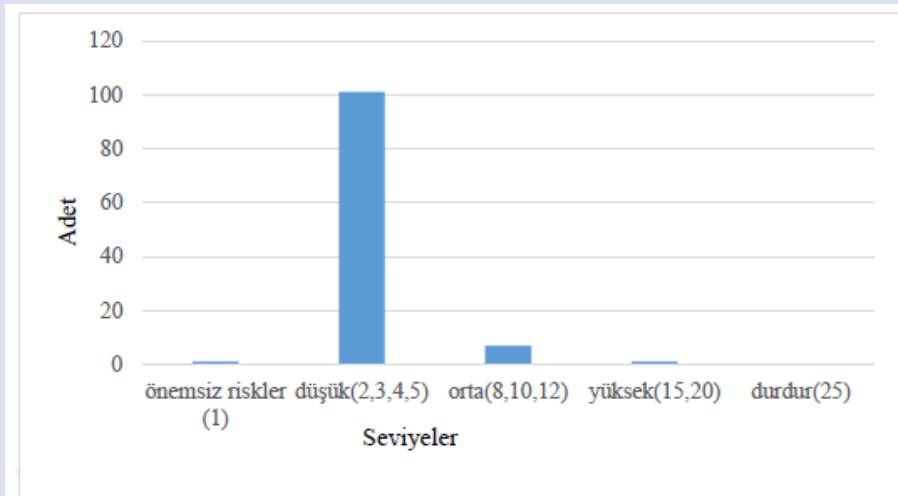
Çalışmada ilk olarak geleneksel risk değerlendirme yöntemleri ile elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Hesaplanan risk skorlarının hangi değerlerde kümelendiği ve risk hiyerarşisinde kaç farklı skor elde edildiği belirlenmiştir.

Geleneksel L tipi matris yönteminden elde edilen risk skorlarının önemsiz, düşük, orta, yüksek ve durdur seviyelerine göre dağılımları ve her bir risk skorunun adet dağılımları sırasıyla Şekil 7 ve 8'de verilmiştir.

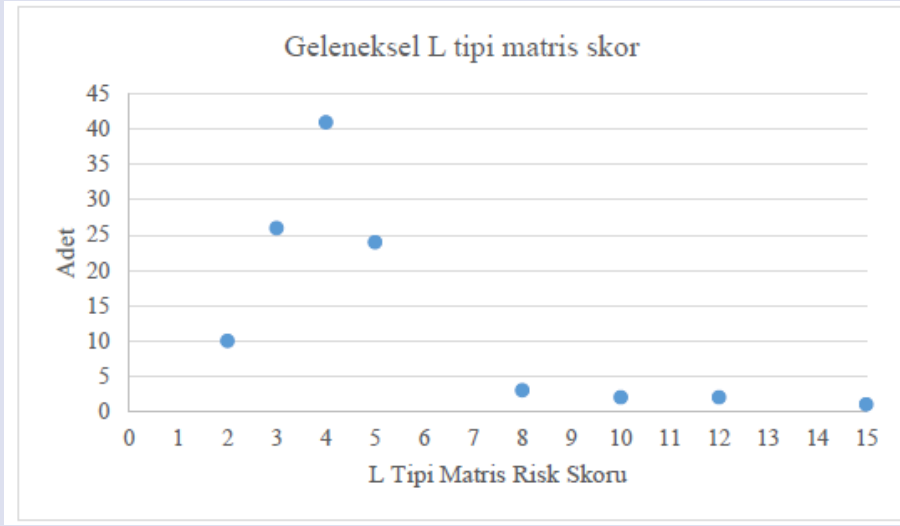
Şekil 7 ve 8 birlikte değerlendirildiğinde 109 adet riskin 8 farklı skor ile temsil edildiği görülmektedir. Risk skoru 3 olan 26, 4 olan 41, 5 olan 24 adet risk mevcuttur. L tipi matris, uygulanması kolay bir risk değerlendirme yöntemidir ancak elde edilebilecek skor sayısı toplam 14

adettir (Tablo 1). Dolayısıyla risklerin bazı risk skorlarında kümelenmesi kaçınılmazdır. Kümelenen risklerin ise önem sırasına göre dizilimi ve önem sırasına göre çözümlenmesi mümkün değildir. Çalışmada mevcut riskler L tipi matris yöntemi ile analiz edildiğinde en çok "düşük" risklerin olduğu görülmektedir (Risk skoru 2,3,4,5 ve 6 olan toplam 101 adet risk).

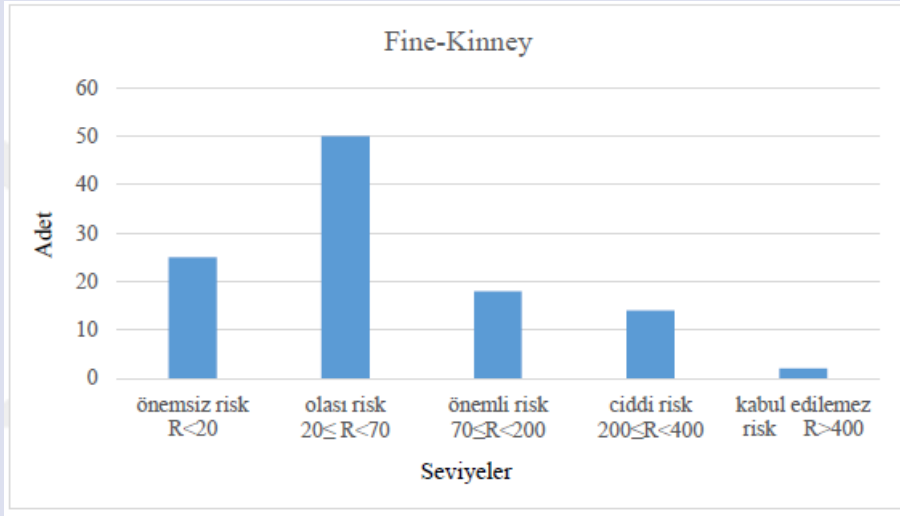
Geleneksel Fine-Kinney yönteminden elde edilen risk skorlarının önemsiz, olası, önemli, esaslı ve durdur seviyelerine göre dağılımları Şekil 9'da, her bir risk skorunun adet dağılımları Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde fabrikadaki risklerin en çok "olası" risk seviyesinde kümelenildiği görülmektedir. Ancak bu yöntemde elde edilen dağılımın L tipi matris yöntemine göre daha çok çeşitlilik gösterdiği ve en az 4 ayrı grupta risklerin farklı farklı kümelenildiği söylenebilir.



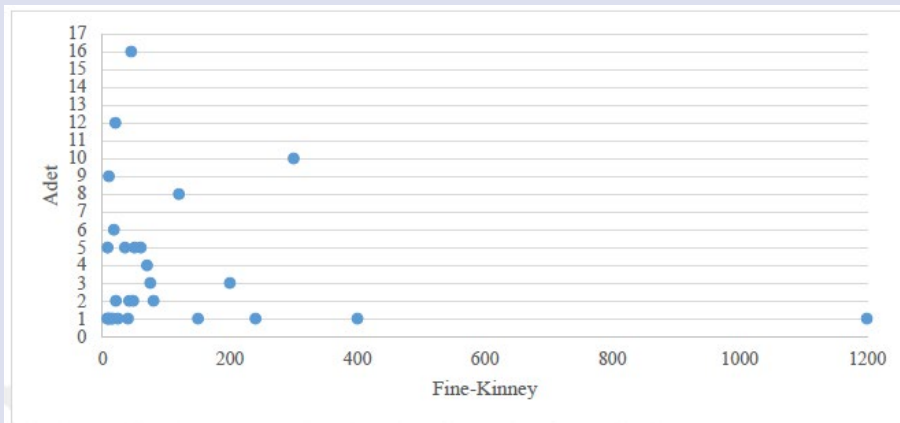
Resim 7. Geleneksel L tipi matris skorlarının seviyelere dağılımları  
Figure 7. Distribution of traditional L-type matrix scores across levels



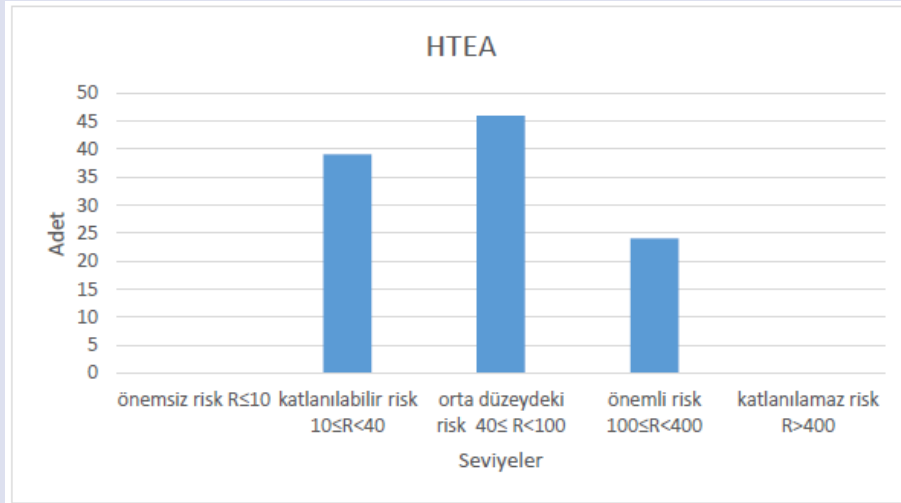
Resim 8. L tipi matris skorlarının adet dağılımı  
Figure 8. Number distribution of L-type matrix scores



Resim 9. Geleneksel Fine-Kinney skorlarının seviyelere dağılımları  
Figure 9. Distributions of traditional Fine-Kinney scores across levels



Resim 10. Fine-Kinney skorlarının adet dağılımı  
Figure 10. Number distribution of Fine-Kinney scores



Resim 11. Geleneksel HTEA skorlarının seviyelere dağılımları  
Figure 11. Distribution of traditional FMEA scores across levels

Şekil 10 incelendiğinde Fine-Kinney yönteminde skorların 28 farklı skor değerinde dağıldığı görülmektedir. Skoru 20 olan 12, 45 olan 16, 300 olan 10 adet risk mevcuttur. L tipi matris yöntemi ile kıyaslandığında Fine-Kinney yönteminde aynı skora sahip risk sayısında önemli oranda azalma olmuştur (L tipi matris yönteminde aynı skora sahip 41 adet risk varken Fine-Kinney yönteminde bu sayı en fazla 16 olarak elde edilmiştir). Ayrıca L tipi matris yönteminde elde edilen farklı skor sayısı 8 iken Fine-Kinney yönteminde bu sayı 28'e çıkmıştır.

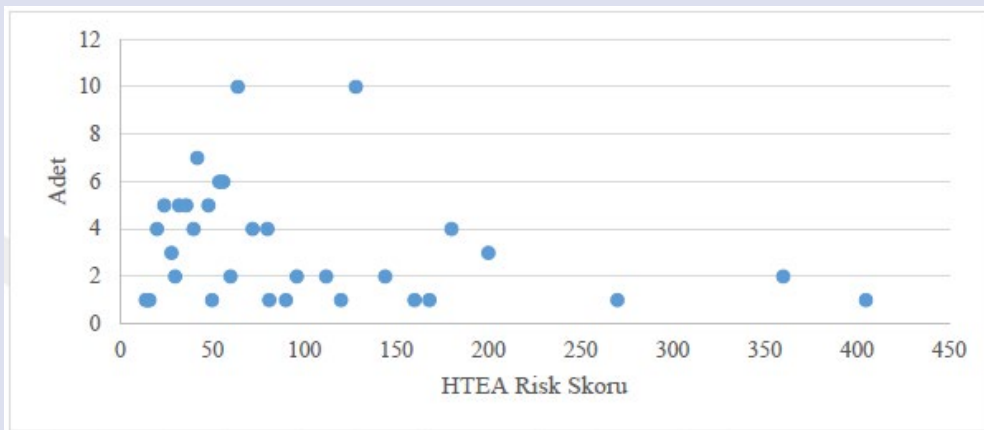
Geleneksel HTEA yönteminden elde edilen risk skorlarının önemsiz, katlanılabilir, orta, önemli, ve katlanılamaz seviyelerine göre dağılımları Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 11 incelendiğinde fabrikadaki risklerin "orta" seviyesinde kümelenildiği görülmektedir.

HTEA skorlarının adet dağılımlarının verildiği Şekil 12 incelendiğinde HTEA yöntemi skorlarının 33 farklı risk skoruna dağıldığı görülmektedir. En çok gözlenen risk

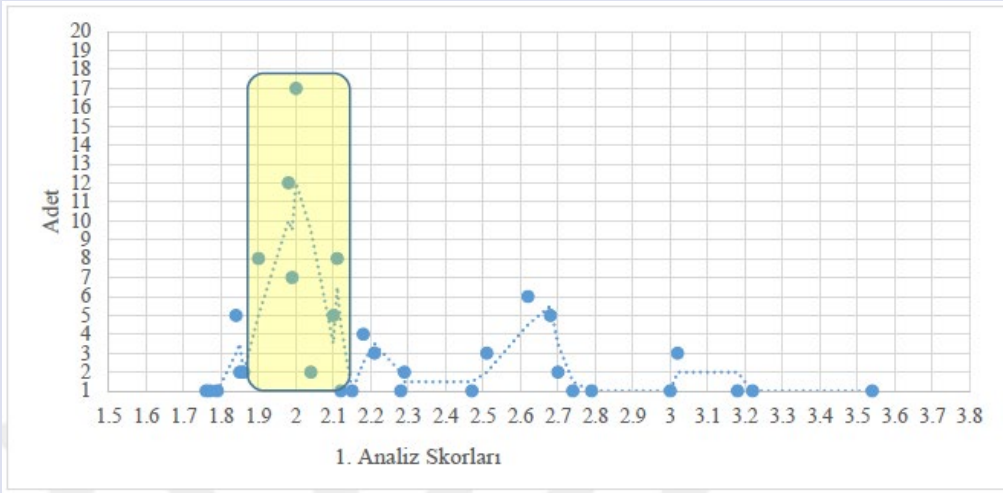
skoru 10'ar adet ile 64 ve 128 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre risklerin ayrıştırılması hususunda HTEA yönteminin en başarılı yöntem olduğu net bir şekilde görülmektedir.

Çalışmanın bulanık mantık ile risk değerlendirme analizi kısmında, materyal ve metot bölümünde açıklaması verilen 3. aşamadaki 4 farklı analize ait sonuçlar Şekil 13-16'da, 4. aşamadaki 3 farklı analize ait sonuçlar Şekil 17-19'da ve bulanık mantık yönteminde belirlenen 1-5 arası skalada elde edilen farklı skor sayıları Tablo 7'de verilmiştir.

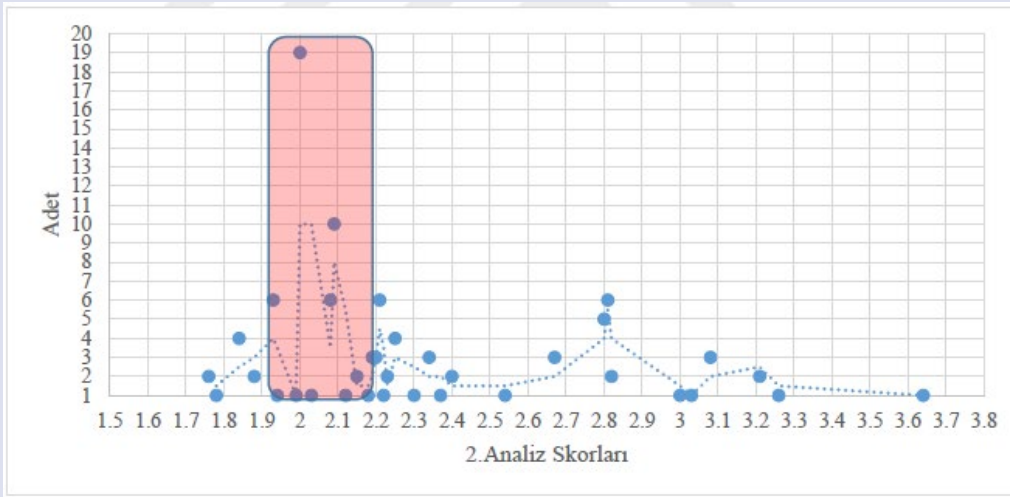
Şekil 13-16 incelendiğinde çalışmanın 3. Aşamasında yapılan 4 analizin ilk üçünde risklerin 1.9-2.1 skor aralığında kümelenildiği görülmektedir. 4. Analiz ise risk skoru 2.4-2.6 aralığına kaymıştır. Bu durum 4. analizdeki üyelik fonksiyonlarının "önemli risk" tanımlamasına uygun olarak belirlendiğini göstermektedir.



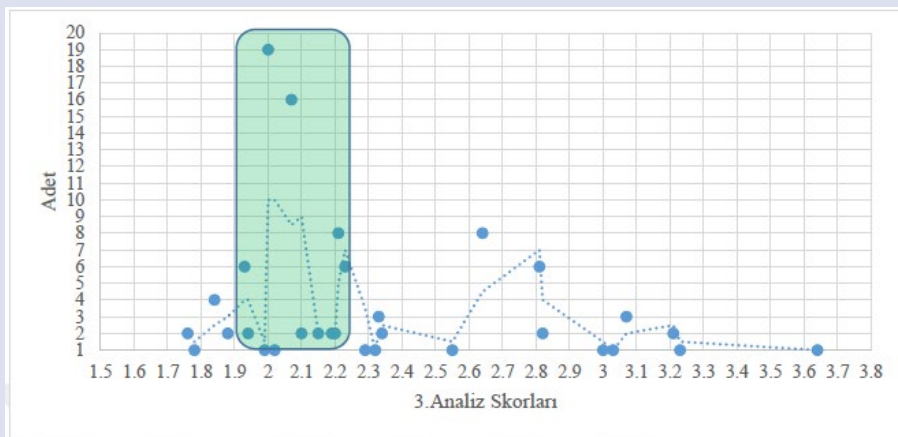
Resim 12. HTEA skorlarının adet dağılımı  
Figure 12. Number distribution of FMEA scores



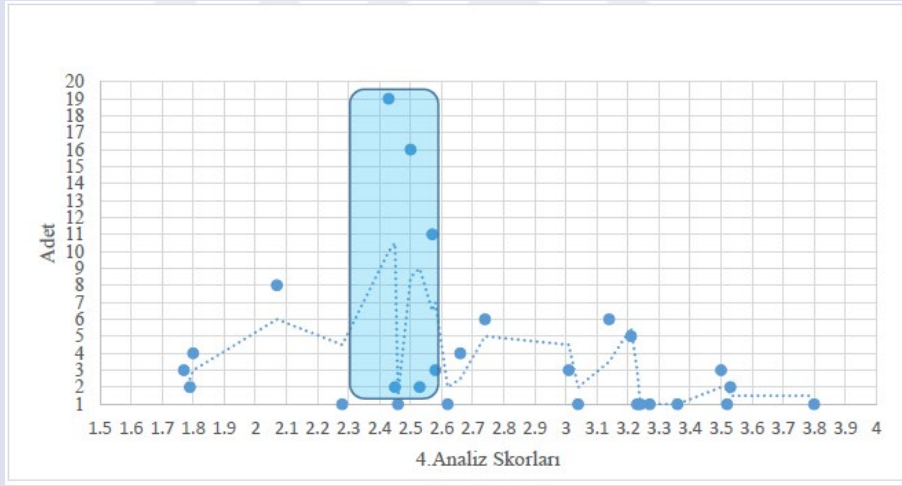
Resim 13. 3. Aşama 1. Analiz Sonuçları  
Figure 13. Stage 3, 1<sup>st</sup> Analysis Results



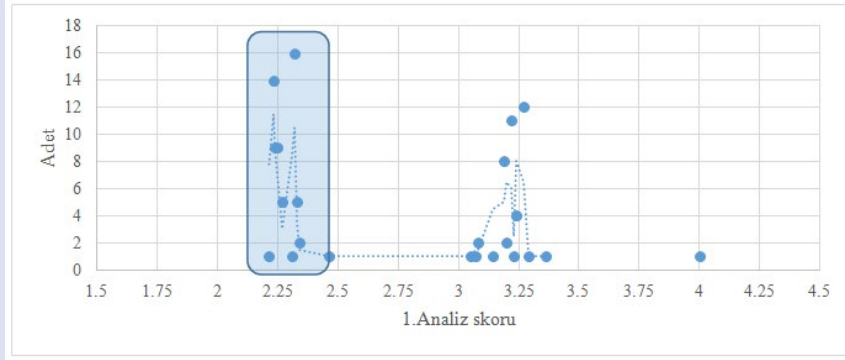
Resim 14. 3. Aşama 2. Analiz Sonuçları  
Figure 14. Stage 3, 2<sup>nd</sup> Analysis Results



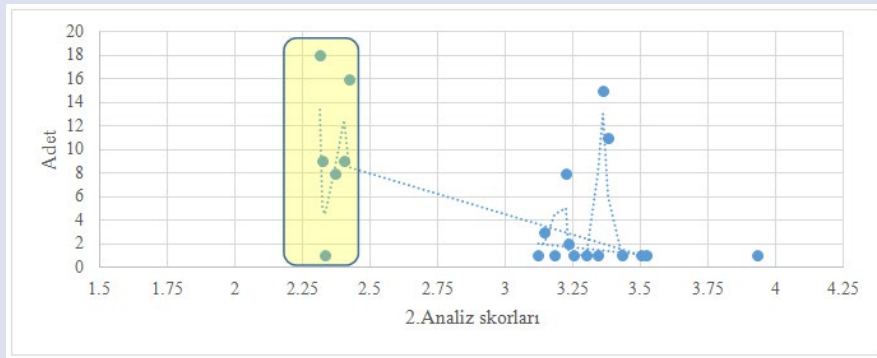
Resim 15. 3. Aşama 3. Analiz Sonuçları  
Figure 15. Stage 3, 3<sup>rd</sup> Analysis Results



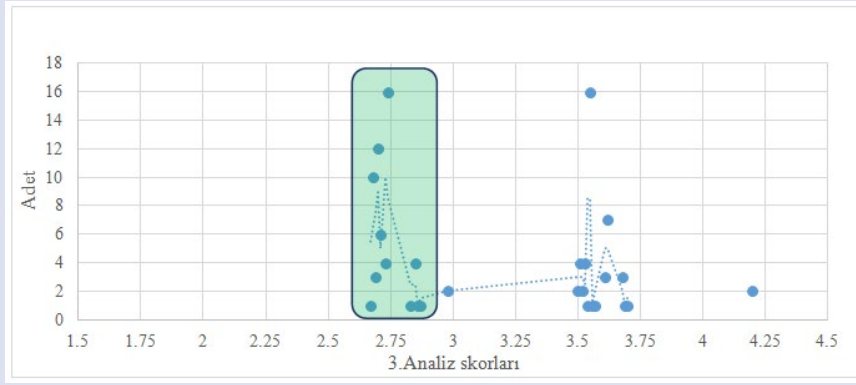
Resim 16. 3. Aşama 4. Analiz Sonuçları  
Figure 16. Stage 3, 4<sup>th</sup> Analysis Results



Resim 17. 4. Aşama 1. Analiz Sonuçları  
Figure 17. Stage 4, 1<sup>st</sup> Analysis Results



Resim 18. 4. Aşama 2. Analiz Sonuçları  
Figure 18. Stage 4, 2<sup>nd</sup> Analysis Results



Resim 19. 4. Aşama 3. Analiz Sonuçları  
Figure 19. Stage 4, 3<sup>rd</sup> Analysis Results

Çizelge 7. Bulanık mantık 1-5 arası skalada elde edilen farklı skor sayıları  
Table 7. Fuzzy logic different score numbers obtained on a scale of 1-5

Aşama ve Analiz Bilgisi	1-5 arası skalada elde edilen farklı sonuç sayısı
3. Aşama 1. Analiz	31
3. Aşama 2. Analiz	35
3. Aşama 3. Analiz	30
3. Aşama 4. Analiz	27
4. Aşama 1. Analiz	23
4. Aşama 2. Analiz	20
4. Aşama 4. Analiz	26

Çalışmanın 4. Aşamasında yapılan 3 analizin sonuçlarının verildiği Şekil 17-19'da risk skorlarının iki farklı risk skorunda kümelendiği görülmektedir. İlk iki analizde risk skorlarının 2.25-2.5 aralığı ile 3.0-3.25 aralığında kümelendiği görülürken üçüncü analizde 2.75 ve 3.5-3.75 aralıklarında kümelene görülmektedir.

Bulanık mantık ile risk değerlendirmesinde çalışılan toplam 7 analizde 109 adet riskin 1-5 arasında kaç farklı skora dağıldığını gösteren Tablo 7 incelendiğinde 3. Aşamadaki 2. Analiz sonuçlarına göre risklerin 35 farklı skora dağıldığı görülmektedir. Bu değerlendirme kapsamında geleneksel yöntemler arasında en yüksek sayı HTEA yönteminde 33 olarak elde edilmiştir. Buna göre bulanık mantık yönteminin risklerin farklı skorlara dağıtımında ve risk hiyerarşisi oluşturmada çalışılan yöntemler arasında en etkin sonucu verdiği net bir şekilde görülmektedir. Fine-Kinney yöntemi 109 adet riski 28 farklı skora dağıtabilmiştir. Yapılan 7 analizin üçünde Fine-Kinney yönteminden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. L tipi matris yöntemi dikkate alındığında ise (109 adet risk 8 farklı skora dağıtılmıştır) yapılan tüm bulanık mantık analizlerinin L tipi matris yönteminden daha etkili olduğu açık bir şekilde söylenebilir.

### Sonuçlar ve Öneriler

TCDD Sivas Beton Travers Fabrikasına ait 109 adet riskin geleneksel L tipi matris, Fine-Kinney, HTEA yöntemleri ve bulanık mantık yöntemi ile farklı üyelik fonksiyonları kullanılarak değerlendirildiği bu çalışmada elde edilen veriler değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

- Geleneksel risk değerlendirme yöntemleri kendi aralarında kıyaslandığında L tipi matris yönteminin, risk skorlarının farklı gruplara ayrılması hususunda en

başarısız yöntem olarak belirlenmiştir. L tipi matris yönteminde risk skoru hesabında yalnızca iki parametrenin yer alması ve buna bağlı olarak elde edilebilecek skor sayısının kısıtlı olması skor çeşitliliğini azaltan temel faktördür.

- Fine-Kinney ve HTEA yöntemleri risklerin çeşitlendirilmesi hususunda frekans ve fark edilebilirlik parametrelerini de içerdikleri için L tipi matris yöntemine kıyasla daha iyi çeşitlilik sağlamışlardır.
- Bulanık mantık yöntemi risk değerlendirmesi amacıyla başarı ile kullanılabilir bir yöntem olarak değerlendirilmiş ve 109 adet riski 35 gruba ayırarak değerlendirilen yöntemler arasında en iyi performansı göstermiştir.
- Bulanık mantık yönteminin risk değerlendirmesi amacıyla kullanımında girdi ve çıktı parametrelerine ait üyelik fonksiyonlarının seçilmesi yöntemin etkinliği üzerinde çok etkili bir faktördür. Uzman görüşleri ile iyi bir şekilde belirlenecek üyelik fonksiyonları bulanık mantık yönteminin daha etkin kullanımını sağlayacak ve riskler daha fazla gruba ayrılabilir.
- Bu çalışmada bulanık mantık yönteminin risk değerlendirmesi amacıyla kullanılabilirliği araştırılmış ancak yöntemin başarısını etkileyen parametreler bir duyarlılık analizi ile çalışılmamıştır. Bundan sonraki çalışmalarda yöntemin etkinliğini artırmak için gerekli iyileştirme çalışmalarının yapılması önerilebilir.

### Referanslar

- [1] Çakmak, E. (2015). İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme yöntemlerinin bulanık mantık yaklaşımı ile analizi: Kobi uygulama örneği, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 164s, Ankara.

- [2] İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu(6331 sayılı Kanun) (30.06.2012) www.mevzuat.gov.tr , 28339.
- [3] Özçelik, A. (2013). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Fine–Kinney Yöntemiyle Risk Yönetimi: Mermer İşletmesi Örneği. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 86s, Eskişehir.
- [4] Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (2012). İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Yönetmeliği (28512 Mükerrer). TC Resmi Gazete, 29.12.2012 .
- [5] Ceylan, H., Başhelvacı, V. S. (2011). Risk Değerlendirme Tablosu Yöntemi İle Risk Analizi: Bir Uygulama. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, Cilt-3, Sayı-2.
- [6] Özdemir, N. (2009). Gemi Sanayinde İş Güvenliği Yönetimi ve OHSAS 18001 Uygulaması. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Işık, M. (2017). Kum Ocaklarında İş Güvenliği ve Risk Değerlendirmesi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. s, Sivas.
- [8] Özkılıç, Ö. (2015). İş Güvenliği İş Adamları Derneği, Güvenlik Mevzuatında Risk.
- [9] Eryürek, Ö.F. (2003). Hata Türü ve Etkileri Analizi Yönteminde Yeni Bir Karar Verme Modeli. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 144s, İstanbul.
- [10] Aran, G. (2006). Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA) ve Bir Uygulama, Gazi Osman Paşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 130s, Tokat.
- [11] Şafak, R. E., Şensöğüt, C., Kasap, Y. (2018). Açık Ocak İşletmelerinde İş Güvenliği Uygulaması: Örnek Ocak Çalışması. Bilimsel Madencilik Dergisi, 99-108.
- [12] Köşek Özler, M. (2016). İş Sağlığı ve Güvenliğinde 3T ve Fine Kinney Risk Analizi Yöntemleri ve Metal Sektöründeki Bir İşletmede Uygulanması. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 124s , Kırıkkale.
- [13] Dahım, M.E. (2016). Puslu(Bulanık) Mantık. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 42s , Erzurum.
- [14] Pehlivan, İ. (2001). Bulanık Mantık Kontrolörler İle Klasik PID Kontrolörlerin Karşılaştırılması ve Bir Bulanık Mantık Kontrolör Tasarımı. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 66s, Sakarya.
- [15] Şen, Z. (2002). Bulanık (Fuzzy) Mantık ve Modelleme İlkeleri. Bilge Sanat Yapım Yayınları, İstanbul.
- [16] Çukurluöz, A. K. (2018). Bulanık Mantık Yöntemi Kullanılarak Yer altı Mekanize Kömür Ocaklarındaki Risklerin Değerlendirilmesi. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 224s, Eskişehir.
- [17] Dolaş, K. (2016). Bulanık Mantık Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi: Matbaa Sektörü Örneği. Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 92s, Ankara.
- [18] Aytaç, E. (2011). Kalite İyileştirme Sürecinde Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Uygulama Örneği. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 293s, Aydın.
- [19] Uygunoğlu, T., Yurtcu, Ş. (2006). Yapay Zeka Tekniklerinin İnşaat Mühendisliği Problemlerinde Kullanımı. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 61-70.
- [20] Erten, B.(2016). İlaç Lojistik Sektöründe 5\*5 Matris, Fine-Kinney ve Fmea Yöntemleri ile Risk Değerlendirmelerinin Karşılaştırılması; Bir Firma Örneği. İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 144s, İstanbul.
- [21] Devren, M.E. (2016). Asansör Sistemlerinde FMEA ve Fine-Kinney Metodlarının Risk Değerlendirmelerinin Karşılaştırılması. İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 99s, İstanbul.

## EK 1: 109 adet risk listesi

RİSK NO	BÖLÜM	TEHLİKE KAYNAKLARI	TEHLİKENİN KAZAYA DÖNÜŞMESİNDE OLASI DURUM
1	GENEL	Yangın, sel, deprem, terör, sabotaj	Güvensiz durum ve hareketler
2		Uyarı levhaları	Güvensiz durum
3		Fabrikanın muhtelif yerlerindeki, düzensiz konumlanmış, ahşap ve çelik eşya dolapları	Güvensiz durum, hijyen, acil durumlarda engel teşkil etmesi, çalışma alanı daraltması, yangın.
4		Sosyal tesisler, su arıtma tesisi vb.	Güvensiz durum
5		Ziyaretçiler	Güvensiz hareketler
6		Yüksekte çalışma (Her türlü yükseklikteki bakım, onarım, kontrol vs. çalışmalar)	Güvensiz durum ve hareketler
7		Kapalı kap, kazan, tank, silo gibi dış ortama tümüyle veya yarı kapalı ortamlarda yapılan kaynak işleri	Güvensiz durum ve hareketler
8		Su kulesi, lojmanlar, müdüriyet binası, sosyal tesisler	Güvensiz durum
9		Malzeme depoları	Güvensiz durum
10		Acil durumlar	Güvensiz durum
11		Aydınlatma	Güvensiz durum
12		Koruyucu donanım ve iş elbisesi kullanmama	Güvensiz durum
13		Egzoz gazı	Biriken egzoz gazı zehirleyici ve öldürücü niteliktedir.
14		Araç yollarındaki işaretlerin eksik olması	Güvensiz durum (SGK İstatistiklerine göre iş kazalarının %4'ü taşıt kazalarından meydana gelmektedir.)
15	İŞ MAKİNELERİ	İş makinelerinde yangın söndürme ve ilkyardım ekipmanı bulunmaması	Güvensiz durum
16		Çalışma ve Bakım prosedürlerinin ve makine sicil kartlarının olmaması	Güvensiz hareket
17		Agrega istif alanı	Güvensiz durum
18		Yetkisiz iş makinesi (forklift, ekskavatör, dozer, iş kamyonu, iş traktörü vb.) kullanımı	Güvensiz davranış
19	BAKIM ATÖLYESİ	Araç tamirlerini mesleki eğitimi bulunmayan çalışanların yapması	Güvensiz davranış
20		Hareketli aksamlar için koruyucu düzenekler	Malzeme fırlamalarına, el-kol sıkışmasına, elbiselerinin takılmasına ve cilt ile temas sonucunda yaralanmalara ve hatta ölümlere neden olabilir.

21	Zemin işaretlemeleri ve fiziki engeller	Malzeme fırlamaları, yaralanma
22	Torna tezgahı	Malzeme fırlamaları, yaralanma
23	Acil durdurma butonları	Güvensiz durum
24	Radyal Matkap	Dikkatsizlik anında ya da istem dışı bir şekilde bu parçaların çalıştığı sırada temas edilmesi halinde uzuv kaybı veya ölüm
25	Metal işleme sıvıları	Cilt bozuklukları, solunumla ilgili rahatsızlıklar, kanser
26	Çalışma ve Bakım prosedürlerinin ve makin kartlarının olmaması	Güvensiz hareket
27	Teleskobik platform	
28	Yanlış kişisel koruyucu donanım kullanımı	Meslek hastalıkları, yaralanma
29	Gerdirme bandında travers patlaması riski	Güvensiz durum, yaralanma, ölüm
30	Zemin işaretlemesi yetersiz olması, dar alanda-birbirinin çalışma alanına geçmiş birçok iş yapılması	Güvensiz durum ve davranışlar, yaralanma, ölüm
31	Çelik kalıp dönderme vinci ve dönderme aksesuarı	Vinç mekanizması tehlikeli, elektrikli aksam topraklanmalı, makine durdurulmadan tamir-bakım-temizlik yapılmamalı
32	İnce işler için yetersiz aydınlatma	Güvensiz durum
33	Koruyucu donanım kullanmama	Güvensiz hareket
34	Tava alma ve kalıp üstüne koyma ekipmanı	Güvensiz durum
35	Enkesiyon makinesi yıkama işlemi	Güvensiz durum
36	Betoniyer, kontrol panosu, platform ve platforma çıkan merdivenler	Düşme, uzuv kaptırma, elektrik çarpması, yaralanma, ölüm
37	İşyerindeki tüm tuvaletler, banyolar, soyunma odaları, yemekhane	Bulaşıcı hastalık
38	Beton travers çelik kalıp ayırıcı yağ	Meslek hastalığı
39	Çalışma ve bakım prosedürleri ile makine sicil kartlarının olmayışı	Güvensiz durum ve davranışlar
40	Kalıp monteden vibrasyon masalarına aktaran monoray vinç ve kalıp tutma aksesuarı	Güvensiz durum

## EK 1 (devamı)

41	Bunker, taşıyıcı bant ve silo altı klape vs. düzenek	Güvensiz durum
42	Vibrasyon masaları, pano, kalıp taşıyıcı bant ve üst baskı aksamı	Güvensiz durum
43	Kür çadırlarının taşınması	Güvensiz durum
44	Atıl veya işler durumdaki iş ekipmanlarının bulunduğu odaların dinlenme ve başka amaçlar için kullanılması	Güvensiz durum, yangın
45	Vinçler	Güvensiz durum
46	Taze beton kür bacalarına taşımada kullanılan vinç aparatı	Güvensiz durum
47	Kalıp tavalalarının taşınmasında kullanılan araba	Güvensiz durum
48	Kür bacasındaki sehpa demirlerinin montaj ve demontajı	Meslek hastalığı
49	Kalıp yağı basınçlı tankları	Güvensiz durum, yaralanma, ölüm
50	Yüksekte çalışma	Düşme, yaralanma, ölüm
51	Demiryolu müsellesi	Güvensiz durum
52	Rüzgarda çalışma	Güvensiz durum
53	Vagona travers yüklenmesi	Güvensiz durum, demiryolu kazası
54	Vinç kabini	Güvensiz durum
55	Portal vinçle yükleme yapılması	Güvensiz hareketler
56	Kaçak akım röleleri ve topr. tesisatlarının tüm işyerinde olmayışı	Güvensiz durum, elektrige çarpılma, yaralanma, ölüm
57	Yanlış müdahale	Güvensiz davranış
58	Tevzi panoları	Güvensiz durum
59	Isı Santrali brülör koruma topraklamaları, Uygunusuz topraklama Ölçümlerinin, İzolasyon Trafosu Bulunmaması	Elektrik kaçağı halinde yaralanma, kalıcı hasar
60	Jeneratör	Güvensiz durum
61	Sigortalar	Güvensiz durum
62	Yüksek gerilim hücresi	Güvensiz durum
63	Transformatör, kondansatör	Güvensiz durum
64	Isı Santrali Paratoner Topraklaması	Yaralanma, ölüm



65	Çalışma ve bakım prosedürleri ile ekipman kartı bulunmaması	Güvensiz davranış
66	Fiş-priz sistemleri, kapasite aşımı	Güvensiz durum
67	Görev Emri ve Çalışma Müsadesi formlarının yetersiz olması	Güvensiz davranış
68	Yetersiz koruyucu donanım/önlem kullanımı	Güvensiz davranış
69	Tüm seyyar elektrik iş aletleri	Güvensiz durum
70	Ark atlaması	Yanıklara neden olabilir.
71	Yetkisiz personel görevlendirilmesi	Güvensiz davranış
72	Bakım-onarım prosedürlerinin ve makine kartlarının olmaması	Güvensiz hareket
73	Elektrik	Elektrik çarpması, yaralanma, ölüm
74	Yakıcı/yanıcı ve patlayıcı kaynak tüplerinin periyodik muayenelerinin yapılmaması	Patlama, ölüm
75	KAYNAK Görev Emri ve Çalışma Müsadesi formlarının yetersiz olması	Güvensiz hareket
76	Yüksek sıcaklık	Yangın, patlama
77	Yetkisiz personel	Yaralanma, ölüm
78	Kaynak dumanı	AKUT akciğer ödemi görülmesi
79	Kaynak ışınları	Geçici görme bozukluklarına, kızarma, kanlanma, baş ağrısı, saydam tabakada (kornea) yanıklara, deride yanıklar

## EK 1 (devamı)

80	Aydınlatma	Güvensiz durum
81	Gürültü	Çok kısa aralıklarda oluşan bu pikler operatör tarafından algılanamaz ve kalıcı işitme kayıplarına dahi sebebiyet verebilir.
82	Periyodik sağlık muayenesi yapılmaması	Meslek hastalığı
83	Ortam ölçümü yapılmamış olması (gürültü, aydınlatma)	Güvensiz ortam
84	İş güvenliği uyarı levhalarının bulunmaması	Güvensiz davranışlar
85	Elektrik panoları, tesisatı, ekipmanı	Elektrik kaçağı, arıza, yangın, patlama
86	Doğalgaz tesisatına yakın yanıcı madde (fuel-oil tankları)	Yangın, patlama
87	Yetersiz su izolasyonlu çatı	Elektrik kaçağı, arıza, yangın, patlama
88	Periyodik kontrolsüz ekipman	Yangın, patlama, elektrik kaçağı
89	Çalışma ve bakım prosedürleri ile ekipman sicil kartı veya defterlerinin bulunmaması	Güvensiz davranış
90	Özellikliğini yitirmiş yangın söndürücüler	Yangına müdahale edememe
91	İkinci acil çıkış olmaması	Çalışanların acil durumlarda içerde mahzur kalması
92	Mesleki eğitim ve yeterliliği olmayan personel	Güvensiz davranış
93	Ahşap oda	Patlama, yangın esnasında korunaksız odanın içerisindeki çalışanlara zarar vermesi
94	Yüksekte çalışma	Buhar kazanı üzerinden, çatıdaki havalandırma bacalarından düşme
95	Kullanma suyundaki paslılık	Tetanoz vb. meslek hastalıkları
96	Sodyum metabisülfid	Gözde ciddi hasar, deride iltihaplanma, solunumda akciğerde tahriş, astım
97	SU ARITMA Sodyum hidroksit	Ciltte ciddi yanıklar, gözlerde geri dönüşümsüz hasar, körlük, akciğerde tahrip edici ciddi yanıklar, yutulması halinde ölümcül

98	Sodyum bisülfid solüsyon	Gözde kızarıklık, iltihap, deride iltihaplanma, solunum yolunda tahriş, yutulması halinde ölümcül
99	Bonderite c-ak 32 (firkete atölyesi)	Ciddi yanıklar
100	Hidrofor	Patlama
101	Taşıyıcı konveyör bant ve Yürüyüş platformu	Düşme, yaralanma, ölüm
102	Laboratuar zincirli vinç	Yaralanma
103	Çalışma ve bakım prosedürleri ile makine sicil kartlarının olmayışı	Güvensiz durum ve davranışlar
104	Damperli kamyonlar	Yaralanma, ölüm
105	Elektrik	Güvensiz durum
106	Doğalgaz	Güvensiz durum
107	Ahşap barakalar	Güvensiz durum
108	Yüksekten düşme	Güvensiz davranış,Güvensiz durum
109	Çocuklar	Güvensiz davranış



## Harmonic Analysis of Accelerometer Signals Using Cheetah Optimization Algorithm

Kadir Yasin Sunca<sup>1,a,\*</sup>, Serdar Koçkanat<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 54187 Serdivan/SAKARYA

<sup>2</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, 58140 Merkez/SİVAS

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 04/07/2024

Accepted: 26/07/2024

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

In this study, harmonic analysis is performed with the help of Cheetah Optimization Algorithm to determine the estimation of the harmonic signal obtained from the shaking table used by civil and earthquake engineers to simulate earthquake-induced ground motion signals. The amplitude and phase values estimated as a result of harmonic analysis are compared and evaluated with the results of some algorithms in the literature. The error performance of the results obtained with the Cheetah Optimization Algorithm in the proposed approach is more successful than the results of the studies in the literature.

**Keywords:** Shaking Table, Amplitude and Phase, Harmonic, Cheetah Optimization Algorithm

## Çita Optimizasyon Algoritması Kullanarak İvmeölçer Sinyallerinin Harmonik Analizi

#### Süreç

Geliş: 04/07/2024

Kabul: 26/07/2024

### Öz

Bu çalışmada, inşaat ve deprem mühendislerinin deprem kaynaklı yer hareket sinyallerini simüle etmek için kullandıkları sarsma tablasından elde edilmiş harmonikli sinyalin kestirimi belirlemek için Çita Optimizasyon Algoritması yardımıyla harmonik analizi gerçekleştirilmiştir. Harmonik analizi sonucunda kestirilen genlik ve faz değerleri literatürdeki bazı algoritmaların sonuçları ile karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Önerilen yaklaşımda Çita Optimizasyon Algoritması ile elde edilen sonuçların hata performansı literatürdeki çalışmaların sonuçlarına göre daha başarılı çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sarsma Tablası, Genlik ve Faz, Harmonik, Çita Optimizasyon Algoritması

<sup>a</sup> kadirsunca@subu.edu.tr

<sup>b</sup> 0009-0006-5024-7820

<sup>b</sup> skockanat@cumhuriyet.edu.tr

<sup>b</sup> 0000-0001-6415-0241

**How to Cite:** Sunca KY, Koçkanat S (2024) Harmonic Analysis of Accelerometer Signals Using Cheetah Optimization Algorithm, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 51-57

## Giriş

Depremler, dünyanın oluşumundan bu yana sürekli olarak meydana gelen ve milyonlarca insanın hayatını etkileyen doğal felaketlerdir [1]. Geçmişte dünyada ve ülkemizde birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin analizleri gelecekteki riskleri anlamamız açısından büyük öneme sahiptir. Bu analizler içinde sarsma tablası, inşaat mühendisleri ve deprem mühendisleri için çok gerekli bir araç olmuştur [2].

Sarsma tablası, mekaniksel, elektriksel ve hidrolik tasarımıyla depremde olduğu gibi yapılara ve zeminlere laboratuvar ortamında yer hareketlerini uygulayabilmektedir [3]. Fakat sarsma tablası bazı fiziksel nedenlerden dolayı doğrusal olmayan bir sistem olarak kabul edilmektedir. Bu doğrusal olmayan sistemden dolayı sarsma tablasının çıkış sinyalinde harmonikler oluşmaktadır ve bu harmonikler sinyal analiz performansını düşürmektedir [4-5]. Bu harmonikleri kestirmek, dalganın gözlemlenmesini ve analizini kolaylaştırmak için birçok araştırmaya konu olmuştur.

Sarsma tablalarındaki ivme sinyallerinin harmoniklerini kestirmek için son yıllarda çok fazla tahmin yaklaşımı literatüre sunulmuştur. Harmoniklerin kestirimi için kullanılan en yaygın yöntem hızlı Fourier dönüşümü (FFT) yöntemidir [6]. Ancak, bu yöntemle dalgalarındaki harmonikler tam olarak kestirilemez.

Kalman filtresi yapılarını temel alan yaklaşımlar, ivme harmoniklerinin kestirimi için etkili çözümler sunmaktadır. Genişletilmiş Kalman filtresi, standart Kalman filtresi ve kokusuz Kalman filtresini beraber kullanılarak başarılı bir sonuç elde edilebilmektedir [7-9]. Ancak, bu yöntemlerin harmonik kestirimi, durum uzayı modeline doğrudan bağlıdır, bu da farklı ivme modelleri için tahmin doğruluğunun değişmesine neden olmaktadır.

Doğrusal olmayan harmonik kestirim problemlerinin üstesinden gelmek için meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarına dayalı yaklaşımlar önerilmiştir. Bu algoritmalar, doğrusal olmayan mühendislik problemlerinin çözümünde başarılı sonuçlar sunmuştur. Literatürde, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritmasına dayalı bir yaklaşımın kestirim sonuçlarının, sarsma tablası için daha önce hesaplanan ivme harmoniği kestirim sonuçlarından daha iyi olduğu ve LMS tabanlı yaklaşımlara göre daha başarılı bulunduğu gösterilmiştir. [10].

Harmonik kestirim problemlerinin çözümüne yönelik olarak önerilen Yarası Algoritması (BA), Yapay Arı Kolonisi (ABC) Algoritması ve Modifiye Edilmiş Yapay Arı Kolonisi (MABC) ile En Küçük Kareler Yöntemi (RLS) algoritmalarının birleşimiyle elde edilen MABC-RLS algoritması, harmonik kestirim problemlerinde uygulanmış ve elde edilen sonuçlar daha önce bildirilen PSO algoritması ile karşılaştırılmıştır. [11-13]. Kestirim sonuçları literatürde daha önceden sunulmuş değerlerden daha iyi sonuç vermiştir.

Bu makalenin ana hedef ve amaçları şu şekilde özetlenebilir;

- Çita Optimizasyon Algoritmasının güvenilirliğini ve başarısını kanıtlamak amacıyla, literatürde önerilen diğer algoritmalarla karşılaştırmalar yapılmıştır.
- Araştırmacılar için, ivmeölçer verilerinin harmonik kestirimini gerçekleştirmek amacıyla hızlı ve doğru sonuç veren bir yazılım geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu makale, dört aşamadan oluşmaktadır. Bölüm 1'de, problemin özelliği ve problem çözümünde kullanılan literatürdeki benzer çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 2, makalenin temel odak noktası olan Çita Optimizasyon Algoritması hakkında kapsamlı bilgiler ve bu algoritmanın matematiksel modellemesini içermektedir. Bölüm 3'te, literatürdeki bir test sinyali önerilen Çita Optimizasyon Algoritması tabanlı yaklaşımla kestirilmiş, bu algoritmanın performansı daha önce literatürde analiz edilmiş algoritmalarla karşılaştırılarak başarıları değerlendirilmiştir. Son bölüm sonuç ve tartışma kısmından oluşmakta olup çalışmanın bulguları ve elde edilen sonuçlarını içermektedir.

## Çita Optimizasyon Algoritması

Teknolojideki ilerlemeler, problemlerin çözümünü daha karmaşık hale getirmiş ve bu nedenle literatüre çok sayıda yeni optimizasyon algoritması eklenmiştir. Bu algoritmalar, belirli optimizasyon problemleri için başlangıç noktaları sağlamak ve güvenilir çözümler sunmaktadır. İdeal çözümler üretme potansiyeline sahip bu yöntemlerin başarılı olabilmesi için amaç fonksiyonunun ve kısıtların konveks olması gerekmektedir. Bu özellikler, algoritmaların daha hızlı ve doğru optimal çözümlere ulaşmasını sağlar. Ancak, deterministik algoritmaların yerel optimuma takılma eğilimi, bu yöntemlerin gerçek dünya problemlerini çözmeye karşılaştıkları temel zorluklardan biridir. Problem büyüdükçe bu kusur daha belirgin hale gelir ve bu durumu aşmak için birçok rastlantısal yaklaşım geliştirilmiştir [14].

Optimizasyon algoritmaları genellikle doğadaki hayvan davranışları, avlanma yöntemleri ve diğer doğal sistemlerden esinlenir. Bu makale, çitaların avlanma stratejilerinden esinlenen Çita Optimizasyon Algoritması üzerine odaklanmaktadır. Çitalar, genellikle Afrika ve İran bölgelerinde yaşayan ve saatte 120 km/s hıza ulaşabilen dünyanın en hızlı kara hayvanlarıdır [15]. Evrimsel adaptasyonları, çitaların bu inanılmaz hız ve esnekliğe sahip olmasını sağlamıştır. Uzun kuyrukları, hızlı manevralar yaparken dengelerini korumalarına yardımcı olurken, ince bacakları güçlü ve hızlı koşmalarına olanak sağlar. Hafif ve esnek omurgaları, hızlı hareketler sırasında vücutlarının esnekliğini artırır. Çitalar, gizlilik ve hızlarını birleştirerek avlarına yaklaşır ve kısa sürede avlarını yakalarlar. Ancak, yüksek hızlarını uzun süre koruyamamalarından dolayı, avlanma süreci genellikle bir dakikanın yarısından fazla sürmez. Bu nedenle, çitaların avlanma stratejileri hızlı ve etkili saldırılar gerektirir [16].

Çitalar genellikle ceylanlar, antiloplar, tavşanlar ve domuzları avlarlar. Avlarına yavaşça yaklaşarak en az mesafeye ulaşmaya çalışır, ardından gizlenip avın yaklaşmasını beklerler. Yeterince yaklaştıklarında hızla atağa geçerler. Çitalar, ön pençeleriyle avlarına hızlı ve güçlü darbeler indirerek avlarının dengesini bozar ve yere düşmelerini sağlar [17]. Güçlü pençeleriyle avlarını sıkıca tutarak kaçmalarını engeller ve avlarını etkisiz hale getirirler. Bu strateji, çitaların başarılı avlanmalarını ve avlarını güvenli bir şekilde yakalamalarını sağlar.

Çitaların avlanma aşamaları sırasıyla aşağıdaki gibidir;

- **1. Arama:** Çitalar, geniş alanları dikkatle tarayarak ve yüksek bölgelere çıkarak avlarını ararlar. Bu strateji, onlara geniş bir görüş alan sağlar ve potansiyel avlarını daha iyi tespit etmelerine olanak sağlar.
- **2. Oturup Bekleme:** Çitalar, avlarını tespit ettikten sonra dikkatlice bekleme konumuna geçer ve en ideal bölgeyi seçerler. Bu süreçte, avlarının hareketlerini analiz ederler ve fark edilmeden en yakın mesafeye yaklaşmayı hedeflerler.
- **3. Saldırı:** Çitalar, inanılmaz bir hız patlaması ile avlarına saldırarak hızlıca yaklaşırlar. Yeterince yaklaştıklarında, ön pençeleriyle güçlü bir darbe indirerek avlarının dengesini bozarlar.
- **4. Avı Bırakıp Eve Geri Dönme:** Eğer çitalar avlanmada başarısız olurlarsa, avlarını bırakıp geri dönerler. Bu başarısızlık devam ettiği taktirde, çitalar konum değiştirerek yeni bir av arayışına girerler.

Yukarıda açıklanan çitaların avlanma aşamaları Resim 1'de gösterilmiştir.

### Arama Stratejisi

$X_{i,j}^{t+1}$   $i$  Çitasının ( $i = 1, 2, \dots, n$ )  $j$  boyutundaki ( $j = 1, 2, \dots, D$ ) mevcut boyutunu gösterebilir. Buradaki  $n$  popülasyonunun sayısını,  $D$  ise problemin boyutunu gösterir.

$$X_{i,j}^{t+1} = X_{i,j}^t + r_{i,j}^{-1} \cdot a_{i,j}^t \quad (1)$$

Buradaki  $X_{i,j}^{t+1}$  ve  $X_{i,j}^t$  sırasıyla  $t+1$  ve  $t$  zamanındaki  $i$  çitasının  $j$  boyutundaki mevcut konumunu ifade eder.  $t$  mevcut avlanma süresini ve  $T$  avlanma süresinin maksimum uzunluğunu ifade eder.

- $r_{i,j}^{-1}$ :  $i$  çitasının  $j$  düzenlemesindeki rastgeleleştirme parametresidir.
- $a_{i,j}^t$ :  $t$  zamanındaki  $i$  çitasının  $j$  düzenlemesindeki adım uzunluğudur.

Çitalar yavaş yürüyen avcılar oldukları için  $a_{i,j}^t > 0$  ve  $0.001 \times t / T$  olarak düzenlenebilir. Çitanın adım uzunlukları tamamen rastlantısal olduğu ve bu modelin bunu dikkate aldığı unutulmamalıdır. Arama stratejisi Resim 2.a' da gösterilmiştir.

### Otur ve Bekle Stratejisi

Avlanma sırasında arama kısmında çita avı fark edebilir. Bu durumda çita çok dikkatli olmalıdır. Çünkü çitanın her hareketini av fark edebilir ve kaçmasına neden olabilir. Bu duruma engel olabilmek için çita avını yeterince yaklaştığını düşündüğünde pusuya yatar ve avın kendine yaklaşmasını bekler. Çitanın bu davranışı aşağıda belirtilmiştir;

$$X_{i,j}^{t+1} = X_{i,j}^t \quad (2)$$

Bu strateji, Çita optimizasyon algoritmasının avlanma başarısı için tüm çitaların konumlarını aynı anda değiştirmemesini sağlar. Bu olay Resim 2.b' de gösterilmiştir.



(1)



(2)



(3)



(4)

Resim 1. Çitaların avlanma aşamaları  
Figure 1. Hunting stages of cheetahs

### Saldırı Stratejisi

Çitalar avına saldırmaya karar verdiklerinde son hızla avlarına doğru koşmaya başlarlar ve avları bir süre sonra çitanın yapmış olduğu saldırıyı fark eder ve kaçmaya başlar. Çita Resim 2.c' de gösterildiği gibi avını hızla takip etmeye devam eder. Çita avına yaklaştığında, Resim 2. d'de gösterildiği gibi, avın hayatta kalması için aniden yön değiştirmesi gerekmektedir. Bu durumda da çitanın konumu avının son konumuna yakın olması gerekmektedir.

Çitalar grup halinde avlanırken, her çita hem avın konumuna göre hem de gruptaki başka bir çitanın konumuna göre kendi pozisyonunu ayarlayabilir. Bu stratejiyle birbirleri ile koordinasyon içinde avlarını daha iyi bir şekilde yakalamalarını etkileyebilir. Çitaların saldırı strateji modeli aşağıda gösterilmiştir.

$$X_{i,j}^{t+1} = X_{B,j}^t + r_{i,j} \cdot \beta_{i,j}^t \quad (3)$$

Buradaki  $X_{B,j}^t$  avın  $j$  boyutundaki konumudur.  $r_{i,j}$  ve  $\beta_{i,j}^t$  sırasıyla çita ait yönlendirme faktörü ve etkileşim faktörüdür. Yönlendirme faktörü, çitanın avın konumuna göre hızını ayarlamasını sağlar. Etkileşim faktörü ise, çita ve çevredeki diğer çitalar arasındaki etkileşimi yansıtır. Bu faktör, çitaların keskin dönüşlerini ve avlanma kısmındaki hareketlerini yansıtır.

### Matematiksel Modelleme

Harmonik işaret  $y(t)$ ;

$$y(t) = \sum_{n=1}^Q A_n \sin(2\pi n f_0 t + \varphi_n) + A_0 + n(t) \quad (4)$$

Buradaki  $f_0$ : Temel frekans,  $A_n$ : n. harmoniğin genliği,  $\varphi_n$ : n. harmoniğin fazıdır.  $y(t)$  istenilen T, örnekleme periyoduyla örneklenip  $y(k)$  işaretine dönüşmektedir.

$$y(k) = \sum_{n=1}^Q A_n \sin(\omega_n k T_s + \varphi_n) + A_0 - A_0 \alpha_0 k T_s + n(k) \quad (5)$$

elde edilmektedir. Buradaki.  $A_0$ : DC bileşeni,  $n(t)$ :Gürültü,  $Q$ : Harmonik sayısıdır. Önerilen model;

$$y(k) = x(k)w(k)$$

$$x(k) = [\sin(w_1 k T_s) \cos(w_1 k T_s) \dots \sin(w_n k T_s) \cos(w_n k T_s) 1 - k T_s]^T \quad (6)$$

$w = [A_1 \cos\phi_1 A_1 \sin\phi_1 \dots A_n \cos\phi_n A_n \sin\phi_n A_0 A_0 \alpha_0]^T$  formuna evrilmektedir. Algoritmanın harmonikleri kestirmek için amaç fonksiyonu

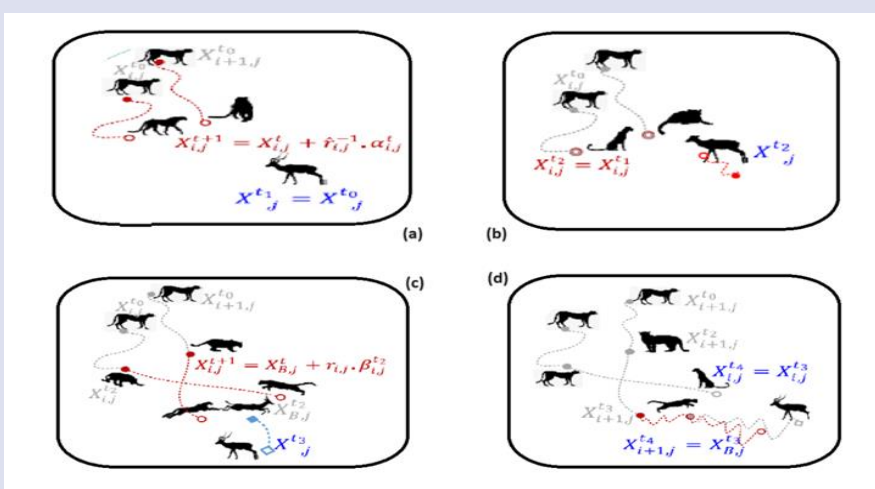
$$Amaç = \min \left( \sum_{k=1}^K e^2(k) \right) = MSE(y_k - y_{k_{kestirilen}}) \quad (7)$$

### Analiz ve Sonuçlar

Bu çalışmada, 6 harmonik içeren ve frekansı 5 Hz olarak seçilen literatürdeki bir harmonik test işareti;  $y(t) = 6 \sin(10\pi t + 0.25) + 5 \sin(20\pi t + 0.27) + 4 \sin(30\pi t + 0.29) + 3 \sin(40\pi t + 0.2) + 2 \sin(50\pi t + 0.3) + 1 \sin(60\pi t + 0.4)$  kullanılmaktadır [18].

Denklem 8'de verilen test sinyalinin genlik ve faz değerlerinin kestirimi için Çita Optimizasyon Algoritması kullanılmıştır. Çita Optimizasyon Algoritmasının sergilediği kestirim performansını değerlendirirken yine daha önce literatürdeki Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Yarasa Algoritması (BA), Yapay Arı Kolonisi (ABC) algoritması ve Modifiye Edilmiş Yapay Arı Kolonisi (MABC-RLS) algoritması çalışmalarıyla sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çita optimizasyon algoritması kestirim probleminin çözümde 30 kez bağımsız olarak koşurulmuş ve elde edilen sonuçların ortalama, standart sapma, en iyi ve kötü değerleri ise Çizelge 1' de gösterilmiştir. Çizelge 2'de gerçek sinyalin genlik ve faz değerleri, literatürde daha önce verilen çalışmaların kestirim sonuçları ve hata değerleri ile birlikte önerilen CO tabanlı yaklaşımın sonuçları da gösterilmektedir.

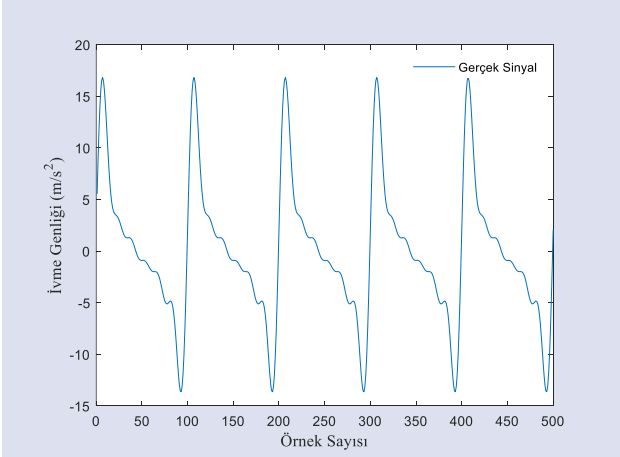
Genlik kısmında birinci harmonik derecesinde %0.0001, ikinci harmonik derecesinde %0.0001, üçüncü harmonik derecesinde %0.0002, dördüncü harmonik derecesinde %0.0001, beşinci harmonik derecesinde %0.0001 ve altıncı harmonik derecesinde %0.0004 hata oranları ile tüm harmonik derecelerinde diğer rakip algoritmalara göre daha iyi sonuç vermiştir. Faz kısmında ise üçüncü derece harmoniğinde %0.0010 ile rakip algoritmalara göre iyi sonuç vermiştir ve böylece toplam 12 parametrenin 7 parametresi ile diğer rakip algoritmalar karşısında başarı sağlamıştır.



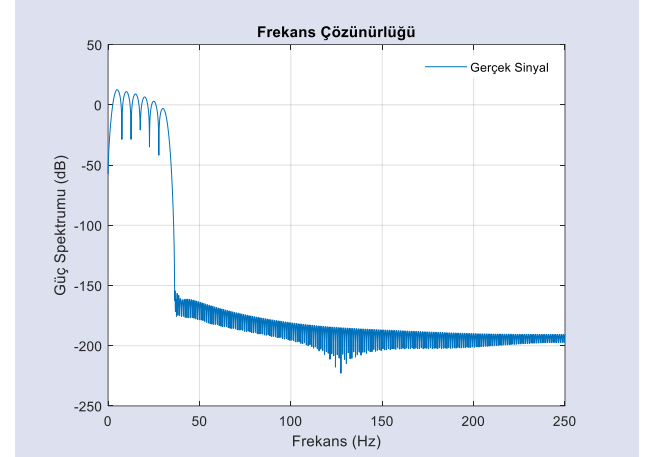
Resim 2. Çita optimizasyon algoritması modellemesi  
Figure 2. Cheetah optimization algorithm modeling

Resim 3'te harmonikli gerçek sinyal gösterilmiştir. Bu sinyalin Güç Spektrumu-Frekans eğrileri ise Resim 4'de ve sinyalin daha belirgin görülmesi adına sinyalin yakınlaştırılmış Güç Spektrumu-Frekans eğrileri ise Resim 5'de sunulmuştur. Bu şekillerde, gerçek sinyalin frekans domenindeki gücü gösterilmiştir. Güç spektrumu, bir sinyalin frekans bileşenlerinin gücünü dB cinsinden ifade etmektedir. Resim 6'da Çıta Optimizasyon Algoritması ile elde edilen gerçek ve kestirilen sinyalin

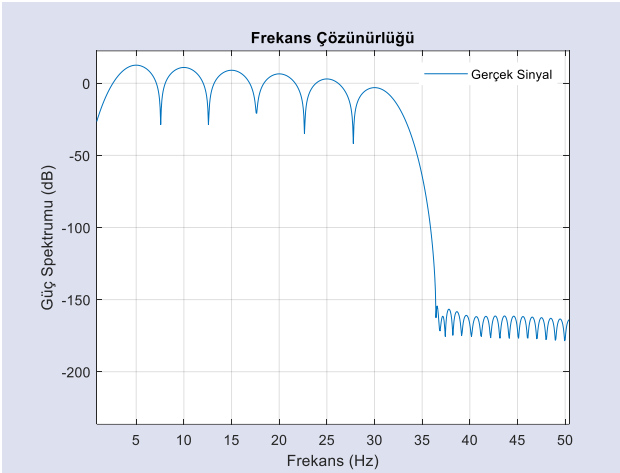
genlik-örnek sayısı eğrisi gösterilmiştir. İki işarete bakıldığında, aralarındaki örtüşme ve uyumun oldukça başarılı olduğu gösterilmektedir. Resim 7'de gerçek ve kestirilen sinyalin Güç Spektrumu-Frekans eğrileri ve Resim 8'de ise gerçek ve kestirilen sinyalin yakınlaştırılmış Güç Spektrumu-Frekans eğrileri sunulmuştur. Çıta Optimizasyon Algoritması ile elde edilen tahmini sinyalin frekans bileşenlerinin, gerçek sinyal ile ne kadar uyumlu olduğu bu şekillerde açıkça gösterilmiştir.



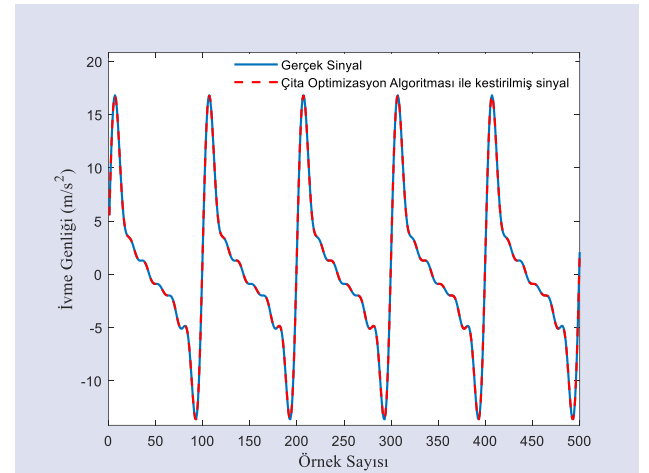
Resim 3. Harmonikli gerçek sinyal  
Figure 3. Real signal with harmonics



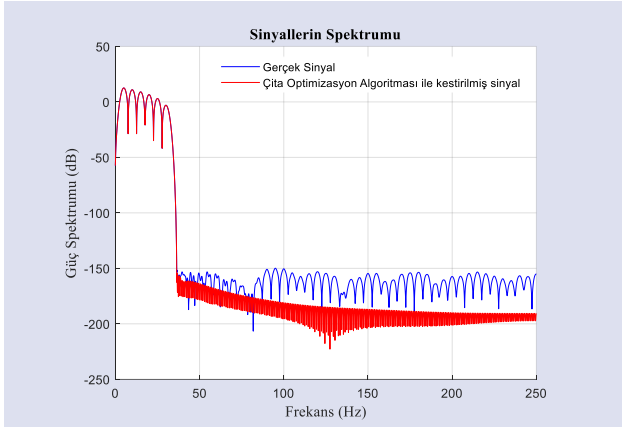
Resim 4. Gerçek sinyalin güç spektrumu-frekans eğrisi  
Figure 4. Power spectrum-frequency curve of the real signal



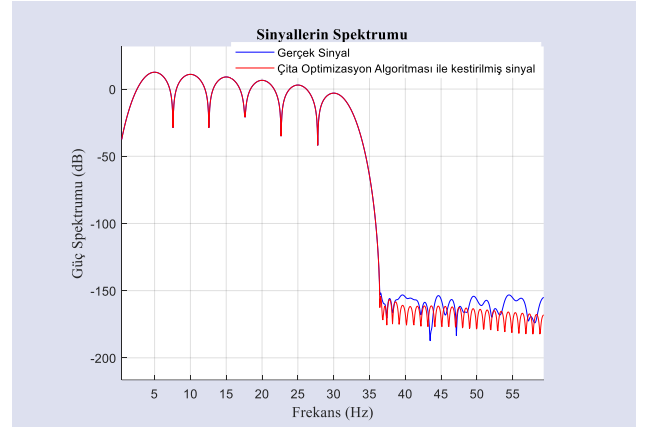
Resim 5. Gerçek sinyalin yakınlaştırılmış güç spektrumu-frekans eğrisi  
Figure 5. Zoomed power spectrum-frequency curve of the real signal



Resim 6. Gerçek ve kestirilen sinyalin ivme genliği-örnek sayısı grafiği  
Figure 6. Acceleration amplitude vs sample plot of real and estimated signal



Resim 7. Gerçek ve kestirilen sinyalin Güç Spektrumu-frekans eğrileri  
Figure 7. Power spectrum-frequency curves of real and estimated signal



Resim 8. Gerçek ve kestirilen sinyalin yakınlaştırılmış Güç Spektrumu-Frekans eğrileri  
Figure 8. Zoomed Power Spectrum-Frequency curves of real and estimated signal

Çizelge 1. CO algoritmasının performans parametreleri

Table 1. Performance parameters of the CO algorithm

Ortalama	Standart Sapma	En İyi	En Kötü
1.0032	3.2745	1.3669	16.9013

Çizelge 2. Karşılaştırılan algoritmalar için kestirilen genlik ve faz değerleri ile birlikte hata değerleri

Table 2. Estimated amplitude and phase values and error values for the compared algorithms

Algoritmalar	Parametreler	Harmonik Dereceler					
		Birinci	İkinci	Üçüncü	Dördüncü	Beşinci	Altıncı
Gerçek	Frekans (Hz)	5	10	15	20	25	30
	Genlik (m/s <sup>2</sup> )	6	5	4	3	2	1
	Faz(radyan)	0.25	0.27	0.29	0.2	0.3	0.4
PSO Algoritması	Genlik (m/s <sup>2</sup> )	6.0001	4.9986	3.9999	3.0011	2.0007	0.9997
	Hata (%)	0.0017	0.0288	0.0027	0.0357	0.0365	0.0257
	Faz(radyan)	0.2499	0.2701	0.2901	0.1999	0.3000	0.4014
Yarasa (BA) Algoritması	Hata (%)	0.0282	0.0253	0.0430	0.0320	0.0033	0.3385
	Genlik (m/s <sup>2</sup> )	6.0015	5.0006	4.0014	3.0010	2.0006	1.0009
	Hata (%)	0.0090	0.0054	0.0038	0.0109	0.0096	0.0218
ABC Algoritması	Faz(radyan)	0.2501	0.2700	0.2901	0.1999	0.3000	0.4010
	Hata (%)	0.0064	0.0090	0.0032	0.0056	0.0624	0.0244
	Genlik (m/s <sup>2</sup> )	6.0005	4.9999	4.0001	3.0001	2.0004	1.0003
MABC-RLS Algoritması	Hata (%)	0.0084	0.0027	0.0020	0.0030	0.0182	0.0255
	Faz(radyan)	0.2500	0.2700	0.2900	0.2000	0.3000	0.4000
	Hata (%)	0.0034	<b>0.0010</b>	0.0013	0.0072	0.0032	0.0074
Çıta Algoritması	Genlik (m/s <sup>2</sup> )	6.0001	5.0001	4.0001	2.9999	2.0000	1.0000
	Hata (%)	0.0012	0.0020	0.0015	0.0025	0.0002	0.0036
	Faz(radyan)	0.2500	0.2700	0.2900	0.2000	0.3000	0.4000
Çıta Algoritması	Hata (%)	0.0034	<b>0.0010</b>	0.0013	0.0072	0.0032	0.0074
	Genlik (m/s <sup>2</sup> )	6.0000	5.0000	4.0000	3.0000	2.0000	1.0000
	Hata (%)	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0004</b>
Çıta Algoritması	Faz(radyan)	0.2500	0.2700	0.2900	0.2000	0.3000	0.4000
	Hata (%)	0.0039	0.0027	<b>0.0007</b>	0.0047	0.0073	0.0122



## Sonuç

Bu çalışmada literatürde önerilen test sinyallerinin harmoniklerinin Çita Optimizasyon Algoritması ile analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda genlik kısmında birinci harmonik derecesinde %0.0001, ikinci harmonik derecesinde %0.0001, üçüncü harmonik derecesinde %0.0002, dördüncü harmonik derecesinde %0.0001, beşinci harmonik derecesinde %0.0001 ve altıncı harmonik derecesinde %0.0004 hata oranları ile tüm harmonik derecelerinde diğer rakip algoritmalarla göre daha iyi sonuç vermiştir. Faz kısmında ise üçüncü derece harmoniğinde %0.0010 ile rakip algoritmalarla göre iyi sonuç vermiştir ve böylece toplam 12 parametrenin 7 parametresi ile diğer rakip algoritmalar karşısında başarı sağlamıştır. İnşaat mühendisliği ve deprem mühendisliği gibi alanlarda deprem sarsıntılarını incelemeye yönelik alternatif ve başarılı bir yaklaşım sunmaktadır. Kullanılan algoritmanın bu alanlardaki harmoniklerin kestirim çalışmalarında kullanılabilirliği etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır.

## Kaynaklar

- Keller, Edward A., and Duane E. DeVecchio. *Natural hazards: earth's processes as hazards, disasters, and catastrophes*. Routledge, 2019.
- X. Ji, K. Kajiwara, T. Nagae, R. Enokida, M. Nakashima, A substructure shaking table test for reproduction of earthquake responses of high-rise buildings, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.* 38 (12) (2009) 1381–1399, <http://dx.doi.org/10.1002/eqe.907>.
- Prasad, Bharat Bhushan. *İleri zemin dinamiği ve deprem mühendisliği*. PHI Öğrenme Pvt. Ltd., 2011.
- K. Seki, M. Iwasaki, M. Kawafuku, H. Hirai, K. Yasuda, Improvement of control performance in shaking-tables by feedback compensation for reaction force, in: *Proceedings of 2008 34th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Orlando, FL, 2008, pp. 2551–2556, <http://dx.doi.org/10.1109/IECON.2008.4758358>.
- J.-J. Yao, S.-H. Hu, W. Fu, J.-W. Han, Impact of excitation signal upon the acceleration harmonic distortion of an electrohydraulic shaking table, *J. Vib. Control* 17 (7) (2011) 1106–1111, <http://dx.doi.org/10.1177/1077546310366579>.
- Ingale, Rajesh. "Harmonic analysis using FFT and STFT." *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition* 7.4 (2014): 345-362.
- J. Yao, H. Yan, R. Xiao, D. Di, G. Jiang, S. Gao, H. Yu, Sinusoidal acceleration harmonic estimation using the extended Kalman filter for an electrohydraulic servo shaking table, *J. Vib. Control* 21 (8) (2013) 1566–1579, <http://dx.doi.org/10.1177/1077546313499392>.
- J. Yao, D. Di, G. Jiang, G. Shuang, H. Yan, Real-time acceleration harmonics estimation for an electro-hydraulic servo shaking table using Kalman filter with a linear model, *IEEE Trans. Control Syst. Technol.* 22 (2) (2014) 794–800, <http://dx.doi.org/10.1109/TCST.2013.2256136>.
- J. Yao, R. Xiao, S. Chen, D. Duato, G. Shuang, H. Yu, Acceleration harmonic identification algorithm based on the unscented Kalman filter for shaking signals of an electrohydraulic servo shaking table, *J. Vib. Control* 21 (16) (2014) 3205–3217, <http://dx.doi.org/10.1177/1077546314521849>.
- J. Yao, H. Yu, M. Dietz, R. Xiao, S. Chen, T. Wang, Q. Niu, Acceleration harmonic estimation for a hydraulic shaking table by using particle swarm optimization, *Trans. Inst. Meas. Control* 39 (5) (2017) 738–747, <http://dx.doi.org/10.1177/0142331215619975>.
- S. Kockanat, Acceleration harmonic estimation for hydraulic shaking table using bat algorithm, *Eur. J. Sci. Technol.* (15) (2019) 387–393, <http://dx.doi.org/10.31590/ejosat.536755>.
- S. Kockanat, Acceleration harmonic estimation using an approach based artificial bee colony algorithm: A hydraulic shaking table application, in: *27th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2019, pp. 1–4, <https://doi.org/10.1109/SIU.2019.8806377>.
- Kockanat, S. (2020). Acceleration harmonics estimation and elimination with MABC–RLS algorithm: Simulation and experimental analyses on shaking table. *Applied Soft Computing*, 92, 106377, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106377>.
- Klein, Carlos Eduardo, Viviana Cocco Mariani, and Leandro dos Santos Coelho. "Cheetah Based Optimization Algorithm: A Novel Swarm Intelligence Paradigm." *ESANN*. 2018.
- O'Brien, S. J., Johnson, W. E., Driscoll, C. A., Dobrynin, P. & Marker, L. Conservation genetics of the cheetah: lessons learned and new opportunities. *J. Hered.* 108, 671–677 (2017). <https://doi.org/10.1093/jhered/esx047>.
- Krausman, P. R. & Morales, S. M. *Acinonyx jubatus*. *Mamm. Species* 2005, 1–6 (2005).
- Estes, R. D. *The Behavior Guide to African Mammals: Including Hoofed Mammals, Carnivores* (Primates). University of California Press, 2012).
- Yao, J., Yu, H., Dietz, M., Xiao, R., Chen, S., Wang, T. and Niu, Q. (2017). Acceleration harmonic estimation for a hydraulic shaking table by using particle swarm optimization. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 39(5), 738–747



## A Study on the Use of Vinegar and Carbonate Mixtures as Color Modifiers on Mulberry (*Morus alba*) Wood

Ümit Ayata<sup>1,a,\*</sup>, Elif Hümeýra Bilginer<sup>2,b</sup>, Osman Çamlıbel<sup>3,c</sup>, Hüseyin Peker<sup>4,d</sup>

1\* Bayburt University, Faculty of Art and Design, Department of Interior Architecture and Environmental Design, Bayburt, Türkiye,

2\* KTO Karatay University, Faculty of Fine Arts and Design, Department of Architecture, Konya, Türkiye,

3\* Kırıkkale University, Kırıkkale Vocational School, Department of Design, Interior Design Pr., Kırıkkale, Türkiye,

4\* Artvin Çoruh University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industry Engineering, Artvin, Türkiye,

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 24/04/2024

Accepted: 25/07/2024

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

This study investigates changes in some surface properties (color, glossiness, and whiteness index:  $WI^*$ ) following the application of vinegar (grape and hawthorn) and carbonate mixtures, which are chemicals used in the food industry as color modifiers, on mulberry (*Morus alba*) wood. Following the preparation of the solutions, they were applied separately onto the wooden surfaces using a brush. The untreated and treated surfaces were compared with each other. Variance analyses revealed that the type of solution was found to be significant across all tests. With both prepared solutions, an increase in the  $a^*$  values was observed, while decreases were detected in  $WI^*$ ,  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ , and  $h^o$ , as well as in the glossiness values measured at all degrees and directions. The  $\Delta E^*$  values were determined to be 12.31 for grape vinegar + carbonate solution and 12.92 for hawthorn vinegar + carbonate solution. With the application of both solutions, negative  $\Delta L^*$ ,  $\Delta b^*$ , and  $\Delta C^*$  values were obtained, while  $\Delta a^*$  values were found to be positive. It was observed that the prepared solutions had a color-modifying effect on the wooden material surfaces.

**Keywords:** Mulberry, carbonate, color, glossiness, vinegar, whiteness index

## Dut (*Morus alba*) Ahşabında Renk Değişirici Olarak Sirke Ve Karbonat Karışımlarından Hazırlanan Çözeltilerin Kullanılması Üzerine Bir Araştırma

### Süreç

Geliş: 24/04/2024

Kabul: 25/07/2024

### ÖZ

Bu çalışma, dut (*Morus alba*) ahşabında renk değiştirici olarak gıda sektöründe kullanılan kimyasallardan olan sirke (üzüm ve alıç) ve karbonat karışımlarının kullanılması sonrasında meydana gelen bazı yüzey özelliklerine (renk parametreleri, parlaklık değerleri ve beyazlık indeksi:  $WI^*$ ) ait değişimleri araştırılmıştır. Çözeltiler hazırlandıktan sonra ahşap malzeme yüzeylerine tek olarak fırça ile uygulanmıştır. Çözelti uygulanmamış ve uygulanmış olan yüzeyler birbirleri ile kıyaslanmıştır. Varyans analizlerine bakıldığında bütün testler üzerinde çözelti türünü anlamlı olarak tespit edildiği görülmüştür. Hazırlanmış olan her iki çözeltiler ile  $a^*$  değerleri artarken,  $WI^*$ ,  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $h^o$  ile bütün dereceler ve yönlerde yapılan parlaklık değerinde azalışlar tespit edilmiştir.  $\Delta E^*$  değerleri üzüm sirke + karbonat çözeltisi ile 12.31 ve alıç sirkesi + karbonat çözeltisi ile 12.92 olarak elde edilmiştir. Her iki çözelti uygulamaları ile  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  ve  $\Delta C^*$  değerleri negatif olarak elde edilirken,  $\Delta b^*$  değerleri ise pozitif olarak bulunmuştur. Hazırlanan çözeltilerin ahşap malzeme yüzeylerinde renk değiştirici etkide bulunduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Dut, karbonat, renk, parlaklık, sirke, beyazlık indeksi

mail umitayata@bayburt.edu.tr  
 mail osmancamlibel@kku.edu.tr

ORCID 0000-0002-6787-7822  
 ORCID 0000-0002-8766-1316

mail elifhbilginer46@gmail.com  
 mail peker100@artvin.edu.tr

ORCID 0009-0009-5455-4408  
 ORCID 0000-0002-7771-6993

**How to Cite:** Ayata Ü, Bilginer E.H., Çamlıbel O., Peker, H. (2024). A Study on the Use of Vinegar and Carbonate Mixtures as Color Modifiers on Mulberry (*Morus alba*) Wood, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 58-63

## Introduction

Given the low process energy requirements and the consequent reduction in carbon emissions linked with wooden constructions, the incorporation of wood and wood products in building construction has emerged as a notable aspect of this table [1].

Color plays a crucial role, particularly in the selection of species for diverse engineering applications such as plywood, furniture, and flooring material production. Nonetheless, it's worth noting that the color of wood may undergo changes upon exposure to light [2].

The color appearance of wood surfaces holds significant importance, particularly in indoor settings where wood is extensively utilized. This necessitates a precise method of measurement to discern color disparities ( $\Delta E^*$ ) across wooden surfaces. One widely adopted approach for color assessment is through the CIELAB system. Within this framework, each distinct color is defined and can be represented as a vector within a three-dimensional geometric space. The  $L^*$  axis in the CIELAB system signifies luminosity, with values ranging from 0 for black to 100 for white, while the  $a^*$  and  $b^*$  coordinates denote chromaticity (+ $a$  for red, - $a$  for green, + $b$  for yellow, - $b$  for blue). By employing  $a^*$ ,  $L^*$ , and  $b^*$  values, the comprehensive color deviation  $\Delta E$  can be determined. Consequently, the disparity in color between two samples can be readily evaluated using the DIN 6174 [3] equation [4].

Vinegar, wine, sorghum, grape, pear, molasses, fruit, coconut, apple, honey, maple syrup, cantaloupe, beer, potato, beet, malt, grains, and cottage cheese are examples of products that can be derived from almost any carbohydrate source capable of fermentation. Initially, yeasts transform natural sugars found in food into alcohol. Following this, acetic acid bacteria convert the alcohol into acetic acid [5].

Carbonate minerals include common types such as calcite and aragonite (both  $\text{CaCO}_3$ ), metal ores (e.g., siderite:  $\text{FeCO}_3$ , malachite:  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ), industrial minerals (e.g., magnesite:  $\text{MgCO}_3$ , huntite:  $\text{CaMg}_3(\text{CO}_3)_4$ ), and rare minerals (e.g., McGuinnessite:  $(\text{Mg, Cu})_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ ) [6,7].

Wood has always been perceived as a versatile material with multifunctional properties. Each of its versatile characteristics makes it suitable for specific ultimate uses [8].

The hue of contemporary trees is dictated by the existence of lignin and assorted organic substances. Nonetheless, during the process of wood mineralization, despite the preservation of cellular attributes, the innate color of the wood tends to diminish. Should trees undergo mineralization involving iron pyrite, iron oxide, or copper minerals, the tint of fossilized wood is influenced by the hues of these minerals. Silica mineralization is prevalent in wood [9].

To change the color of wood or replicate its texture, chemical stains that interact with wood are often employed, a technique referred to as wood staining. Nevertheless, these stains can present several issues, including limited resistance to light, inadequate color longevity, and chemical instability. Moreover, some stains might contain toxic heavy metal elements like lead and chromium. Furthermore, conventional wood staining methods entail significant water usage, and the rate of stain loss is notably higher when compared to textile dyeing processes [10,11].

*Morus alba* L., a member of the Moraceae family, is one of the most valuable plants in terms of natural ingredients [12-14].

*Morus alba* originates from India, Japan, and China, with sporadic cultivation observed in certain parts of Europe, North America, and Africa. Known widely as white mulberry, it is cultivated globally in areas where silkworms are reared. The primary nourishment for silkworms is sourced from the leaves of the white mulberry tree [15]. The branches are collected either at the end of spring or the beginning of summer, and subsequently dried for future utilization. Roots, however, are gathered during the winter season [16].

The leaves contain 10% tannins [17]. White mulberry, or its species reported from the China-Japan Diversity Center, has been reported to tolerate diseases, low pH, hydrogen fluoride, drought, frost, shade, salt, slope, poor soil, and weeds [18].

Plants of many species grow white in color. However, they later turn pale yellow with pink edges, and upon ripening, they become red. When fully ripe, their colors turn from dark purple to black [19]. Mulberry roots are fragile and should be handled with care when planting. Any pruning should only be done during the winter months when the plant is completely dormant [16]. Plants are quite resistant to wind [20].

They tolerate annual average minimum temperatures between -23.3 to -28.9°C. White mulberry grows well in a wide variety of soils. It is drought-resistant when thoroughly established but can be damaged by wind. It is grown up to 3300 m altitude in India but can also grow at sea level [21]. It provides medium-grade firewood. Branches are used as binding material and in basket making. The bark is fibrous and is used in papermaking in China and Europe [22]. The leaves of the plant have been used as medicine since ancient times [12-14].

In mulberry wood, the Janka hardness values were found to be 73.24 N/mm<sup>2</sup> on the radial surface, 77.69 N/mm<sup>2</sup> on the tangential surface, and 93.71 N/mm<sup>2</sup> on the transverse surface [23], and the thermal conductivity coefficient was found to be 0.155 W/m.K [24].

This study investigates changes in some surface properties (color, glossiness, and whiteness index) of mulberry (*Morus alba*) wood after the use of vinegar and carbonate mixtures, which are used as colorants in the food industry.

## Materials and Methods

Dut (*Morus alba*) wood samples were prepared in dimensions of 10 x 10 x 2 cm. Subsequently, conditioning treatments were applied to these samples at 20±2°C and 65% relative humidity [25].

Chemicals used in this study include carbonate and two different types of vinegar [grape (with sodium metabisulfite additive) and hawthorn (saturated sugar %0.17, carbohydrate %1.00, fat %0.05, salt %0.07, saturated fat %0.02, and protein %0.30)]. Solutions prepared in two different types [50 ml vinegar + 5 g carbonate] were applied to wooden surfaces as a single layer using a brush.

The whiteness index ( $W^*$ ) values were determined using the Whiteness Meter BDY-1 device [26]. Glossiness tests were conducted using the ETB-0833 model gloss meter device, following the ISO 2813 [27] standard. Color changes were measured using the CS-10 (CHN Spec, China) device [28]. The results for total color differences were determined using the following formulas.

$$h^{\circ} = \arctan [b^*/a^*] \quad (1)$$

$$\Delta a^* = [a^*_{\text{vinegar + carbonate applied}}] - [a^*_{\text{control}}] \quad (2)$$

$$\Delta b^* = [b^*_{\text{vinegar + carbonate applied}}] - [b^*_{\text{control}}] \quad (3)$$

$$\Delta L^* = [L^*_{\text{vinegar + carbonate applied}}] - [L^*_{\text{control}}] \tag{4}$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta a^*)^2]^{1/2} \tag{5}$$

$$\Delta C^* = [C^*_{\text{vinegar + carbonate applied}}] - [C^*_{\text{control}}] \tag{6}$$

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \tag{7}$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{1/2} \tag{8}$$

In the literature,  $\Delta C^*$  is defined as chroma difference or saturation difference and  $\Delta H^*$  as hue difference or shade difference, and definitions for other parameters are presented in Table 1.

Standard deviations, maximum and minimum values, mean values, homogeneity groups, variance analyses, and percentage (%) change rates were calculated using a statistical program.

**Findings and Discussion**

The results for total color differences are given in Table 3.  $\Delta E^*$  values are determined as 12.31 with grape vinegar + carbonate solution and 12.92 with hawthorn vinegar + carbonate solution. It is observed that these results are very close to each other.  $\Delta H^*$  values are obtained as 4.47 with grape vinegar + carbonate solution and 5.24 with hawthorn vinegar + carbonate solution. While  $\Delta L^*$ ,  $\Delta b^*$ , and  $\Delta C^*$  values are negative (darker than the reference, bluer than the reference, and duller than the reference, respectively) with both solution applications,  $\Delta a^*$  values are obtained as positive (redder than the reference). According to the color change criteria, both prepared solutions give "very strong (> 12.0)" results as shown in Table 3.

Table 1. Definitions of  $\Delta b^*$ ,  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ , and  $\Delta C^*$  values [29]

Parameter	Positive condition	Negative condition
$\Delta L^*$	Lighter than the reference	Darker than the reference
$\Delta a^*$	Redder than the reference	Greener than the reference
$\Delta b^*$	Yellower than the reference	Bluer than the reference
$\Delta C^*$	Clearer, brighter than the reference	Dull, hazier than the reference

Table 2. Comparison criteria for  $\Delta E^*$  assessment [30]

$\Delta E^*$	Visual color score difference	$\Delta E^*$	Visual color score difference
<0.20	Imperceptible	3.00 - 6.00	Very noticeable
0.20 - 0.50	Very slight	6.00 - 12.00	Strong
0.50 - 1.50	Slight	> 12.00	Very strong
1.50 - 3.00	Noticeable		

Table 3. Results of total color differences

Solution Type	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta C^*$	$\Delta H^*$	$\Delta E^*$	Color Change Criterion (DIN 5033, 1979)
Grape vinegar + carbonate	-10.73	2.72	-5.40	-4.07	4.47	12.31	Very strong (> 12.0)
Hawthorn vinegar + carbonate	-10.78	2.98	-6.47	-4.83	5.24	12.92	

Table 4. The measurement results determined for color parameters, whiteness index ( $WI^*$ ) values, and glossiness values

Test	Solution Type	Mean	Change (%)	Homogeneity Group	Standard Deviation	Mini -mum	Maxi- mum	Coefficient of Variation
$L^*$	Control	57.06	-	A*	0.41	56.62	58.05	0.72
	Grape vinegar + carbonate	46.33	↓18.80	B	0.37	45.72	46.88	0.81
	Hawthorn vinegar + carbonate	46.28	↓18.89	B**	0.85	44.98	47.76	1.83
$a^*$	Control	9.30	-	B**	0.42	8.22	9.84	4.50
	Grape vinegar + carbonate	12.01	↑29.14	A	0.35	11.50	12.51	2.91
	Hawthorn vinegar + carbonate	12.27	↑31.94	A*	0.65	11.07	13.09	5.29
$b^*$	Control	29.43	-	A*	0.77	28.52	30.71	2.62
	Grape vinegar + carbonate	24.03	↓18.35	B	0.49	23.18	24.79	2.02
	Hawthorn vinegar + carbonate	22.96	↓21.98	C**	0.88	21.75	24.59	3.85
$C^*$	Control	30.86	-	A*	0.71	30.06	32.13	2.29
	Grape vinegar + carbonate	26.79	↓13.19	B	0.46	26.12	27.51	1.73
	Hawthorn vinegar + carbonate	26.04	↓15.62	C**	1.01	24.74	27.75	3.88
$h^\circ$	Control	72.45	-	A*	0.96	71.59	74.81	1.33
	Grape vinegar + carbonate	63.43	↓12.45	B	0.49	62.59	64.08	0.78
	Hawthorn vinegar + carbonate	61.87	↓14.60	C**	0.96	61.01	63.71	1.55
$\perp 20^\circ$	Control	0.28	-	A*	0.04	0.20	0.30	15.06
	Grape vinegar + carbonate	0.12	↓57.14	B	0.04	0.10	0.20	35.14
	Hawthorn vinegar + carbonate	0.10	↓64.29	B**	0.00	0.10	0.10	0.00
$\perp 60^\circ$	Control	2.62	-	A*	0.39	1.90	2.90	14.71
	Grape vinegar + carbonate	2.12	↓19.08	B	0.26	1.80	2.50	12.34
	Hawthorn vinegar + carbonate	1.52	↓41.98	C**	0.12	1.30	1.60	8.09
$\perp 85^\circ$	Control	3.22	-	A*	0.32	2.70	3.60	10.02
	Grape vinegar + carbonate	2.10	↓34.78	B	0.30	1.80	2.60	14.20

20°	Hawthorn vinegar + carbonate	0.78	↓75.78	C**	0.10	0.60	0.90	13.24
	Control	0.40	-	A*	0.00	0.40	0.40	0.00
	Grape vinegar + carbonate	0.25	↓37.50	B	0.05	0.20	0.30	21.08
60°	Hawthorn vinegar + carbonate	0.12	↓70.00	C**	0.04	0.10	0.20	35.14
	Control	2.87	-	A*	0.14	2.70	3.00	4.94
	Grape vinegar + carbonate	2.22	↓22.65	B	0.13	2.10	2.40	5.93
85°	Hawthorn vinegar + carbonate	1.56	↓45.64	C**	0.05	1.50	1.60	3.31
	Control	6.48	-	A*	0.54	5.90	7.30	8.38
	Grape vinegar + carbonate	2.96	↓54.32	B	0.21	2.70	3.20	6.98
WI*	Hawthorn vinegar + carbonate	1.28	↓80.25	C**	0.17	1.10	1.50	13.18
	Control	11.46	-	A*	0.20	11.10	11.60	1.71
	Grape vinegar + carbonate	6.38	↓44.33	C**	0.08	6.30	6.50	1.24
⊥	Hawthorn vinegar + carbonate	7.36	↓35.78	B	0.32	6.90	7.70	4.40
	Control	8.42	-	A*	0.51	7.50	8.90	6.02
	Grape vinegar + carbonate	3.46	↓58.91	C**	0.27	3.00	3.70	7.85
	Hawthorn vinegar + carbonate	4.80	↓42.99	B	0.11	4.70	4.90	2.20

Number of Measurements: 10, \*: Highest result, \*\*: Lowest result

Table 5. Analysis of variance results for color parameters, whiteness index (WI\*) values, and glossiness values

Source	Test	Mean Square	Sum of squares	Degrees of freedom	F	$\alpha \leq 0.05$
Solution Type	L*	770.573	2	385.286	1129.469	0.000*
	a*	54.374	2	27.187	113.443	0.000*
	b*	240.711	2	120.355	223.674	0.000*
	C*	134.889	2	67.445	116.559	0.000*
	h°	653.038	2	326.519	469.413	0.000*
	⊥ 20° glossiness	0.195	2	0.097	82.125	0.000*
	⊥ 60° glossiness	6.067	2	3.033	39.224	0.000*
	⊥ 85° glossiness	29.835	2	14.917	219.852	0.000*
	20° glossiness	0.393	2	0.196	129.293	0.000*
	60° glossiness	8.581	2	4.290	320.884	0.000*
	85° glossiness	140.843	2	70.421	576.874	0.000*
	WI* (⊥)	145.256	2	72.628	1459.045	0.000*
	WI* (  )	131.672	2	65.836	577.134	0.000*
	Error	L*	9.210	27	0.341	
a*		6.471	27	0.240		
b*		14.528	27	0.538		
C*		15.623	27	0.579		
h°		18.781	27	0.696		
⊥ 20° glossiness		0.032	27	0.001		
⊥ 60° glossiness		2.088	27	0.077		
⊥ 85° glossiness		1.832	27	0.068		
20° glossiness		0.041	27	0.002		
60° glossiness		0.361	27	0.013		
85° glossiness		3.296	27	0.122		
WI* (⊥)		1.344	27	0.050		
WI* (  )		3.080	27	0.114		
Total		L*	75458.128	30		
	a*	3820.014	30			
	b*	19715.338	30			
	C*	23498.349	30			
	h°	131025.983	30			
	⊥ 20° glossiness	1.060	30			
	⊥ 60° glossiness	138.780	30			
	⊥ 85° glossiness	155.700	30			
	20° glossiness	2.410	30			
	60° glossiness	156.350	30			
	85° glossiness	527.200	30			
	WI* (⊥)	2263.400	30			
	WI* (  )	1062.160	30			
	orr cte d L*	779.783	29			

$a^*$	60.845	29
$b^*$	255.239	29
$C^*$	150.513	29
$h^\circ$	671.819	29
$\perp 20^\circ$ glossiness	0.227	29
$\perp 60^\circ$ glossiness	8.155	29
$\perp 85^\circ$ glossiness	31.667	29
$\parallel 20^\circ$ glossiness	0.434	29
$\parallel 60^\circ$ glossiness	8.942	29
$\parallel 85^\circ$ glossiness	144.139	29
$WI^*$ ( $\perp$ )	146.600	29
$WI^*$ ( $\parallel$ )	134.752	29

\*: Significant

The measurement results determined for the color parameters, whiteness index ( $WI^*$ ) values, and glossiness values are presented in Table 4. The results of the variance analysis are presented in Table 5.

According to these results, it is observed that the factor of solution type applied for all tests is significantly obtained (Table 5).

For the  $L^*$  value, the highest result is found in the control samples (57.06), while the lowest result is determined by the application of the solution composed of hawthorn vinegar + carbonate mixture to the experimental samples (46.28). The highest decrease rate in the  $L^*$  parameter is achieved with hawthorn vinegar + carbonate solution at 18.89%, while the lowest decrease rate is found with grape vinegar + carbonate solution at 18.80% (Table 4).

In terms of the parameter  $a^*$ , the control samples exhibit the lowest value at 9.30, while the experimental samples treated with a solution containing hawthorn vinegar + carbonate mixture display the highest value at 12.27. Notably, the application of hawthorn vinegar + carbonate solution shows the most significant increase in the  $a^*$  value, reaching 31.94%, whereas the lowest increase is observed with grape vinegar + carbonate solution, registering at 29.14% (Table 4).

Regarding the  $b^*$  value, the control samples yield the highest result at 29.43, whereas the lowest result is seen following the application of the solution containing hawthorn vinegar + carbonate mixture, which measures 22.96. Notably, the most significant decrease in the  $b^*$  parameter occurs with the application of hawthorn vinegar + carbonate solution, showing a decrease rate of 21.98%, whereas the lowest decrease rate is associated with grape vinegar + carbonate solution, standing at 18.35% (Table 4).

In terms of the  $C^*$  value, the control samples exhibit the highest result, measuring 30.86, while the lowest value is found after applying the solution containing hawthorn vinegar + carbonate mixture to the wood samples, resulting in 26.04. Notably, the most substantial decrease in the  $C^*$  parameter is associated with hawthorn vinegar + carbonate solution, showing a decrease rate of 15.62%, whereas the lowest decrease rate is observed with grape vinegar + carbonate solution, registering at 13.19% (Table 4).

Regarding the  $h^\circ$  parameter, the control samples display the highest measurement, reaching 72.45, whereas the lowest reading is obtained when applying the solution comprising hawthorn vinegar + carbonate mixture to the experimental samples, yielding 61.87. Notably, the most pronounced decrease in the  $h^\circ$  parameter is observed with hawthorn vinegar + carbonate solution, showing a reduction of 14.60%, while the smallest decrease rate is attributed to grape vinegar + carbonate solution, with a decrease of 12.45% (Table 4).

Looking at the glossiness tests, decreases are obtained in all grades and directions. The highest glossiness results are determined in the control experimental samples ( $\perp 20^\circ$ : 0.28,  $\perp 60^\circ$ : 2.12,  $\perp 85^\circ$ : 3.22,  $\parallel 20^\circ$ : 0.40,  $\parallel 60^\circ$ : 2.87, and  $\parallel 85^\circ$ : 6.48). The lowest glossiness results are found on the samples treated with hawthorn vinegar + carbonate solution ( $\perp 20^\circ$ : 0.10,  $\perp 60^\circ$ : 1.52,  $\perp 85^\circ$ : 0.78,  $\parallel 20^\circ$ : 0.12,  $\parallel 60^\circ$ : 1.56, and  $\parallel 85^\circ$ : 1.28), and the highest decrease rates are also obtained with this solution application (Table 4).

After the application of solutions, decreases are noted in both directions of  $WI^*$  values. The highest  $WI^*$  values are observed in the control samples ( $\perp$ : 11.46 and  $\parallel$ : 8.42), whereas the lowest values are recorded in samples treated with grape vinegar + carbonate solution ( $\perp$ : 16.38 and  $\parallel$ : 3.46). The decrease rates for  $WI^*$  values are %44.33 to %35.78 in the  $\perp$  direction and %58.91 to %42.99 in the  $\parallel$  direction for grape vinegar + carbonate and hawthorn vinegar + carbonate solutions, respectively (Table 4).

Studies in the literature have reported changes in color parameters, glossiness values, and whiteness index of wood surfaces when solutions prepared from vinegar and carbonate chemicals are applied [31-33]. It can be inferred that the solution interacts with the wood material's structure, causing alterations.

## Conclusion

With the application of both prepared solutions, there was an increase in the  $a^*$  values, while reductions were noted in  $WI^*$  (in both directions),  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$ , and across all degrees and directions of gloss values. The  $\Delta E^*$  values were recorded as 12.31 for the grape vinegar + carbonate solution and 12.92 for the hawthorn vinegar + carbonate

solution. Prepared solutions have been observed to have a color-changing effect on wooden surfaces. With the application of both solutions, negative values were obtained for  $\Delta L^*$ ,  $\Delta b^*$ , and  $\Delta C^*$ , while positive values were observed for  $\Delta a^*$ .

## References

- [1] Goverse T., Hekkert M.P., Groenewegen P., Worrell E., Smits R.E.H.M. Wood innovation in the residential construction sector; opportunities and constraints, Resources, Conservation and Recycling, 34 (2001) 53-74.
- [2] Olorunnisola A.O. Design of Structural Elements with Tropical Hardwoods, (2018). ISBN: 978-3-319-65342-6, ISBN: 978-3-319-65343-3 (eBook), DOI: 10.1007/978-3-319-65343-3.
- [3] DIN 6174. Colorimetric evaluation of colour differences of surface colours according to the CIELAB formula, (1979).
- [4] Hauptmann M., Pleschberger H., Mai C., Follrich J., Hansmann C. The potential of color measurements with the CIEDE2000 equation in wood science, European Journal of Wood and Wood Products, 70 (2012) 415-420. DOI: 10.1007/s00107-011-0575-6.
- [5] Johnston C.S., Gaas, C.A. Vinegar: medicinal uses and antiglycemic effect. Medscape General Medicine, 8:2 (2006) 61.
- [6] Scott P.W. Infrared transmission spectra of carbonate minerals. Minerals Engineering, 8:8 (1995) 933. DOI: 10.1016/0892-6875(95)90000-4.
- [7] Devi B., Sharma, N., Kumar D., Jeet K. *Morus alba* Linn: A phytopharmacological review. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 5:2 (2013) 14-18.
- [8] Se Golpayegani A., Brémaud I., Gril J., Thevenon M.F., Arnould O., Pourtahmasi K. Effect of extractions on dynamic mechanical properties of white mulberry (*Morus alba*). Journal of wood Science, 58 (2012) 153-162. DOI: 10.1007/s10086-011-1225-7.
- [9] Mustoe G., Acosta M. Origin of petrified wood color. Geosciences, 6:2 (2016) 25. DOI: 10.3390/geosciences6020025.
- [10] Vakhittova N.A., Safonov V. Effect of chitosan on the efficiency of dyeing textiles with active dyes, Fibre Chemistry, 35 (2003). 27-28. DOI: 10.1023/A:1023819521538
- [11] Hu J., Liu Y., Wu Z. Structural color for wood coloring: A Review. BioResources, 15:4 (2020) 9917-9934. DOI: 10.15376/biores.15.4.Hu.
- [12] Yang A.W. A survey on usage of mulberry leaves for controlling treatment. PRSC-Planetary Scientific Research Center Proceedings (2012).
- [13] Arfan M., Khan R., Rybarczyk A., Amarowicz R. Antioxidant activity of mulberry fruit extracts. International journal of molecular sciences, 13:2 (2012) 2472-2480. DOI: 10.3390/ijms13022472.
- [14] Gryn-Rynko A., Bazylak G., Olszewska-Slonina D. New potential phytotherapeutics obtained from white mulberry (*Morus alba* L.) leaves. Biomedicine & Pharmacotherapy, 84 (2016) 628-636. DOI: 10.1016/j.biopha.2016.09.081.
- [15] Anonymous. The Wealth of India, A Dictionary of Indian Raw materials. Vol. 7. New Delhi: Council of Scientific and Industrial Research, p. 429-437 (1952).
- [16] Bown, D. Encyclopaedia of Herbs and their Uses. Dorling Kindersley, London, (1995). ISBN: 0-7513-020-31.
- [17] Reid B.E. Famine Foods of the Chiu-Huang Pents'ao. Taipei. Southern Materials Centre, (1977).
- [18] Duke J.A. The quest for tolerant germplasm. p. 1-61. In: ASA Special Symposium 32, Crop tolerance to suboptimal land conditions. Am. Soc. Agron. Madison, WI, (1978).
- [19] Hussain F., Rana Z., Shafique H., Malik A., Hussain Z. Phytopharmacological potential of different species of *Morus alba* and their bioactive phytochemicals: A review. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 7:10 (2017) 950-956. DOI: 10.1016/j.apjtb.2017.09.015.
- [20] Huxley A. The New RHS Dictionary of Gardening. MacMillan Press (1992). ISBN: 0-333-47494-5.
- [21] Wyman D. Wyman's gardening encyclopedia. MacMillan Publishing Co. Inc., New York, (1974).
- [22] Duke J.A. *Morus alba* L.. Handbook of Energy Crops (unpublished) (1983).
- [23] Ayata Ü., Çavuş V., Bal B.C. Efe, F.T. Dut, doğu çınarı, kızılçam ve sedir ağaç türlerinde janka sertlik değerinin belirlenmesi, 2. Uluslararası Bilimsel Çalışmalarda Yenilikçi Yaklaşımlar Sempozyumu, 30 Kasım - 2 Aralık, Samsun, Türkiye, 1490-1494, (2018).
- [24] Cavus V., Sahin S., Esteves B. Ayata U. Determination of thermal conductivity properties in some wood species obtained from Turkey. Bioresources, 14:3 (2019) 6709-6715. DOI: 10.15376/biores.14.3.6709-6715.
- [25] ISO 554. Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland, (1976).
- [26] ASTM E313-15e1. Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2015).
- [27] ISO 2813. Paints and varnishes - determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, (1994).
- [28] ASTM D 2244-3. Standard practice for calculation or color tolerances and color, differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2007).
- [29] Lange D.R. Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e. DR Lange: New York, NY, USA, (1999).
- [30] DIN 5033. Deutsche Normen, Farbmessung. Normenausschuß Farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung eV, Beuth, Berlin März., (1979).
- [31] Ayata, Ü., Bilginer, E.H., and Çamlıbel, O., (2024). Gıda sektöründe kullanılan bazı kimyasalların Honduras Rosewood (*Dalbergia stevensonii* Standl.) ahşabında renk açma kimyasalı olarak kullanılması üzerine bir çalışma, Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2(1): 32-40.
- [32] Çamlıbel, O., and Ayata, Ü., (2024). Movingui (*Distemonanthus benthamianus* Baillon) ahşabında renk değiştirme işlemi olarak farklı sirke türlerinin ve karbonat kimyasallarının kullanılması üzerine bir araştırma, European Conferences 5. Uluslararası Sağlık, Mühendislik ve Uygulamalı Bilimler Kongresi, 13-16 Haziran 2024, Roma, İtalya.
- [33] Ayata, Ü., (2024). The effects of carbonate and vinegar mixture on selected surface properties of iatandza (*Albizia ferruginea*) wood, Furniture and Wooden Material Research Journal, 7(1): 17-25. DOI: 10.33725/mamad.1457494.



## A systematic literature review on ransomware detection by evidence-based software engineering method

Engin Kuzu<sup>1,a</sup>, Hakan Kekül<sup>2,b\*</sup>, Halil Arslan<sup>3,c</sup>

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet University, Institute of Science, Sivas, Türkiye

<sup>2</sup>Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Technology, Software Engineering, Sivas, Türkiye

<sup>3</sup>Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Computer Engineering, Sivas, Türkiye.

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 16/10/2024

Accepted: 07/11/2024

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

Ransomware attacks, which aim to take ransom by encrypting the files they infect with unbreakable passwords, have become an increasing threat in recent years. Decrypting encrypted files without data loss is nearly impossible without the encryption key. This often obliges ransomware victims to pay the amount of the ransom demanded. The purpose of our study is to present a systematic literature review of ransomware detection research. The method we base on while performing a systematic literature review is the Evidence-Based Software engineering approach. This approach is based on the Evidence-Based Medicine method, which has been successfully applied in many fields. Six steps of Evidence-Based Software Engineering have been implemented in sequence. For this purpose, 114 scientific articles, which fall within the scope of our research questions, were researched from the studies conducted between 2017 and 2022 on ransomware detection. According to our quality evaluation rules, 49 articles meeting our quality criteria were analyzed. The answers to our research questions, which we determined through the analyzed articles, are presented in detail.

**Keywords:** Evidence-Based Software Engineering; EBSE; Malware; Ransomware Detection; Ransomware Analysis

<sup>a</sup> engin.kuzu@cumhuriyet.edu.tr  
<sup>c</sup> harslan@cumhuriyet.edu.tr

<sup>ID</sup> 0009-0008-2470-6944  
<sup>ID</sup> 0000-0003-3286-5159

<sup>b</sup> hakankekul@cumhuriyet.edu.tr

<sup>ID</sup> 0000-0001-6269-8713

**How to Cite:** Kuzu E, Kekül H, Arslan H (2024) A systematic literature review on ransomware detection by evidence-based software engineering method, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 64-77

### Introduction

Evidence-based software engineering (EBSE) approach is based on the evidence-based medicine (EBM) approach. Evidence-based medicine is a method that aims to increase the clinical experience and treatment processes of physicians by presenting the best scientific evidence [1]. The main purpose of the EBM system is to publish valid and appropriately obtained evidence. In this way, doctors will be able to use proven methods obtained with EBM in the treatment process of the diseases they encounter. However, the main problem here is that there are many different researches and publications, and doctors do not have the opportunity to research all of these so-called primary sources for a particular disease. A systematic literature review standard was provided by scanning primary sources with the EBM system, which was produced as a solution to this problem [2]. Kitchenham et

al. [3] Noting that this method, which is used in the field of medicine, has been successfully applied in many different fields, they announced Evidence-based software engineering (EBSE) studies in the field of software engineering.

With this study, a systematic review of the studies conducted in the literature on the detection of ransomware, which is one of the working areas of cyber security, was carried out with the EBSE method. A ransom is characterized as "cash paid with a specific end goal to free someone who has been captured" and "something demanded or paid to enable someone in captivity to be released from captivity" [4].

Ransomware is expressed ransomware, which is a combination of the words ransom (ransom) and software (software) in English. In fact, it is one of the types of malware. It is also referred to as blackmail software or ransom virus in some sources. Recently, they have



become one of the most common threats due to their prevalence and ever-evolving nature. Its working principle is based on trying to extort money from the user by locking the target computer system or systems or by encrypting some or all of the files, preventing the user from accessing them [5].

Ransomware, which uses very advanced encryption schemes, can be used for many different purposes in the system they infiltrate by using software vulnerabilities, system weaknesses, social engineering weaknesses and user errors. Moreover, today's ransomware leaves almost no possibility to recover encrypted files [6]. Ransomware is defined as "a type of malicious software that restricts users from accessing their systems by locking/encrypting the system screen or users' files unless the ransom is paid." Malicious professionals reach their goals by developing a wide variety of methods and tactics and the possibility of being exposed to this situation becomes a nightmare for users [7].

Technological advances create new opportunities for hackers. Malware has become a commercial sector by malicious people who are trying to gain financial gain by taking advantage of these opportunities. Moreover, this situation has turned into a challenge between software developers who prepare updates and security patches for security vulnerabilities and hackers who try to exploit these vulnerabilities. This vicious circle reveals how important the analysis is to ensure the working principles, impact and discovery of malware. Malware analysis is the process of revealing the potential effects of malicious software such as viruses, trojan horses, backdoors, rootkits, worms, determining their source and examining their functions. [8]. Thanks to this analysis, how malware works, its effects and harms can be understood. In addition, as a result of these analyzes, damages can be reduced or prevented. For this reason, the detection and prevention of ransomware, which has recently become one of the most effective and dangerous malware, has become an important research topic. Basically, the goal is to classify and isolate ransomware and benign software from each other. The basic requirement for the analysis of ransomware is to reveal the features of such software accurately. This is essential for developing an effective analysis algorithm [9].

What ransomware basically does is to render valuable data unusable with unbreakable encryption algorithms [10]. Considering the financial gain compared to other malware, ransomware threatens both companies and users [11]. The user who is exposed to a ransomware attack must choose to pay a certain amount of ransom or lose their data to decrypt their files. Hacker's generally demand ransoms in cryptocurrency. It is seen that the most demanded ransom is preferred as bitcoin. Another behavioral feature observed in ransomware is that it tries to communicate with a command-and-control server (C2C) to receive instructions. The purpose here is to download encryption keys and required additional files [7].

Vulnerabilities that have not yet been detected and fixed and are open to exploitation are called zero-day

vulnerabilities. Although the effects of these vulnerabilities are more devastating, they are seen rarely. Therefore, an effective update and patch policy is important in preventing many cybersecurity threats. Otherwise, a system's vulnerability is open to exploitation until updates or patches are made. According to statistics, it has been observed that zero-day deficits that appeared once a week in 2015 occurred once a day on average in 2021 [12]. In parallel with this increase, exploit codes and malware also increase in direct proportion.

Although the financial damages of ransomware cannot be determined precisely, it is seen that the global cost of the damage is expressed in billions of dollars. For instance, according to published security reports, it is estimated that attacks with WannaCry and NotPetya ransomware cost the global economy \$8 billion in 2017. Moreover, GrandCrab ransomware infected tens of thousands of systems in 2018. In recent years, ransomware has also targeted mobile systems, and this has increased the danger more. Furthermore, eventhough it is stated that the motivation for the emergence of ransomware is basically to gain financial gain, it has recently been seen that it is also used in cyber terrorism-oriented attacks in areas such as finance, infrastructure and production sectors [11].

Considering that internet connection can be delivered to the most remote areas of the world via satellites, malware infecting a system can pose a threat to systems all over the world. For this reason, it is very important to have information about malicious software, to examine its behavior and to reveal its effects [13]. It is equally important to share the information obtained from the studies on such an important subject with the stakeholders of the subject. However, it is a very difficult and time-consuming task for any security expert or software developer to analyze all primary sources one by one. Within the scope of this study, the approach of collecting and presenting the information in primary sources, which has been used successfully in the field of medicine for years and then used in the field of software engineering along with different fields, in a secondary source with an evidence-based method has been adopted. For this purpose, a systematic literature review is presented with the evidence-based software engineering approach of studies on ransomware detection.

This article can make a significant contribution to the development of effective detection and defense methods against ransomware. Ransomware poses a serious threat to cybersecurity with its advanced encryption techniques and complex attack methods. The victims targeted by ransomware attacks include critical infrastructures such as hospitals, financial institutions and government institutions, and the risks posed by these attacks endanger social security as well as major economic losses. Using the Evidence-Based Software Engineering (EBSE) approach, this study systematically analyzes current research in the field of ransomware detection and reveals the most effective detection methods in the field. The article provides a comprehensive resource for security experts

and researchers, shedding light on defense mechanisms that can be developed against ransomware and new research areas. In this context, the study provides a comprehensive guide that aims not only to evaluate the effectiveness of current security technologies but also to be prepared against the future evolution of ransomware.

Other parts of the study are organized as follows. In the second part, the literature that guided the study was examined in detail. In the third chapter, the research methodology used is explained in detail. The obtained results are given in the fourth chapter in detail. In chapter five, there was a discussion of the results, and in the last chapter, the conclusions of the study were presented and future work was expressed.

## Literature Review

Analysis and discovery of ransomware are areas of academic study that have received intense attention in recent years. As a result, there are many published studies.

Netto et al. [7] analyzed the techniques of ransomware coders in their models using static and dynamic analysis techniques. Their basic approach is to examine the packets coming and going from the system through trap files in the file systems with static analysis tools. In addition, it is seen that they analyze the details of the network packets meticulously with dynamic analysis tools. Their main recommendation is to flag network packets and add IP addresses to firewalls so that systems can take minimal damage from ransomware.

Kara et al. [9] analyzed the characteristic behaviors of the 3rd generation Cerber ransomware using static and dynamic analysis tools. Their purpose is to detect the source of the attacks. They examined the ransomware attack on an official institution and showed that the whois information of the IP addresses they found by analyzing the network movements could be tracked.

Akbanov et al [14] explored the use of software-defined networking (SDN) to detect and mitigate advanced ransomware threats. To prove their research, they examined the WannaCry ransomware. Based on the results obtained, they designed an SDN detection and mitigation framework and developed a solution based on the OpenFlow communication protocol.

Davies [15] focused their research on the idea that digital forensic analysis tools could be used to detect encryption keys of malicious ransomware. As a result of their research, they stated that digital forensic analysis tools can be used in the detection of encryption keys. For this purpose, they try to detect encryption keys by taking memory dump from a system that has been exposed to ransomware attack.

Kok et al [16] have proposed their methodology, which they call the Pre-Encryption Detection Algorithm (PEDA). The main purpose of their work is to detect a ransomware without performing an encryption process. It is a two-step algorithm. The first step is to compare known ransomware signatures. For this, it uses the SHA-256 (Secure Hash

Algorithm) algorithm. The second phase is the use of Learning Algorithm (LA) based on the application program interface (API) of the ransomware.

Humayun et al. [17], in their study, examined the effects of ransomware on IoT devices in detail. The main purpose of their work is to prevent and mitigate the effects of ransomware on IoT systems. In a significant part of their studies, they included the features and effects of ransomware. They also provide up-to-date information for ransomware analysis and detection.

Arabo et al.'s [18], in their study, analyzed a dataset consisting of 7 different ransomware and 41 benign and 34 malicious software. Their focus is on creating a defense mechanism against ransomware that mimics the human immune system. To achieve their goal, they investigated the correlation in the nature and behavior of ransomware.

Patel et al [19], propose a defense mechanism against ransomware in their study using the honeypot technique. They use a large file for the honeypot that takes time to encrypt. They offer suggestions to prevent ransomware and ensure the security of the system, during the time it takes to encrypt the large fake file by the ransomware. They proved their suggestions by getting useful results in the virtual environment they tested.

When the studies above are examined, it is seen that many academic studies on the detection and analysis of ransomware have been carried out on different fields. The fact that so many different methodologies and field-specific studies have been conducted shows that a systematic literature review is a necessity for experts in the field. In this respect, our study fills an important gap. Moreover, our study, which was carried out with an evidence-based software engineering approach, reveals an original result with this aspect.

## Methodology

It aims to enable the experts in the field of evidence-based software engineering to reach the most accurate solution in the fastest way against the problems they will encounter in their professional lives. For this, it is based on the evidence-based medicine approach, which has been successfully applied for years. According to this approach, a doctor cannot solve the problems he has faced throughout his career with the knowledge he has graduated from. For this reason, it should be ensured that it reaches successfully applied and proven methods for similar problems. This is possible by scientific publication of proven methods. However, it is not possible for an expert to examine all publications specific to the problem faced [20]. Therefore, it is necessary to effectively summarize and systematically present the literature specific to a particular field. Moreover, for such a procedure, a standardized procedure is needed in all studies. Evidence-Based Medicine (EBM) approach has been proposed to find a solution to this problem [1].

The success of the Evidence-Based Medicine approach has led experts to ask whether this method can be used in different fields. As a result of this, it has been observed

that the use of this method in different fields gives successful results as in the field of Medicine [21]. Kitchenham et al. [3] stated that this approach should be adopted and used by researchers working in the field of software engineering. In their later work, they explained how to use this method for practitioners [22].

Kitchenham et al.'s [3] methods prompted us to conduct a Systematic Literature Review (SLR). As emphasized in the related study, Evidence-Based Medicine carries the point of view of a physician. Kitchenham et al [22] deal with the issue again from a software engineer's perspective. The main motivation is to have sufficient evidence to choose the most effective technology to be used while developing a project. Generally, those with decision-making authority make bad decisions in adopting new technologies. A technology with sufficient evidence can reduce project relevance, cost and inherent risks [23]. For example, in the years when Object Oriented Programming became widespread, there was a belief that hierarchical deep object models were useful, but studies have proven that this situation poses a great risk of error. However, developers tend to prefer mature technologies and generally accepted methods. Evidence-Based Software Engineering, on the other hand, aims to provide a decision-making mechanism in this regard [22].

As can be seen in Figure 1, Evidence-Based Software Engineering consists of six different steps [3]. The first step is answerable question defining. At this step, the research questions for which the evidence is to be found should be determined. The second step is to find the results that provide the best evidence. At this step, the search strategy

should be determined to find the best results corresponding to the research questions identified. The third step is to evaluate the evidence critically. In this step, the right selection criteria should be determined and adopted. The next step is to integrate critical assessment with software engineering expertise. At this point, quality assessment rules should be determined. In the fifth step, data extraction methods should be defined for the evaluation of the process, and finally, how extracted data are synthesized for evidence-based software engineering [22]. In the continuation of this section, the application of the steps of the Evidence-Based Software Engineering approach is presented within the scope of our study.

### Step 1. Defining Answerable Questions - Research Questions

It has been expressed as "A well-defined question should consist of three steps as its effect on the study area, its effect on the context of the problem to be solved, and the effect of its results". [1]. The questions within the scope of this study were determined by adhering to these three principles. As our primary goal is to detect ransomware attacks, the following research questions have been developed.

RQ 1: What techniques are used to detect ransomware attack?

RQ 2: What techniques are used in ransomware analysis?

RQ 3: What are the datasets used to detect ransomware attacks?

RQ 4: What will be the future status of ransomware?

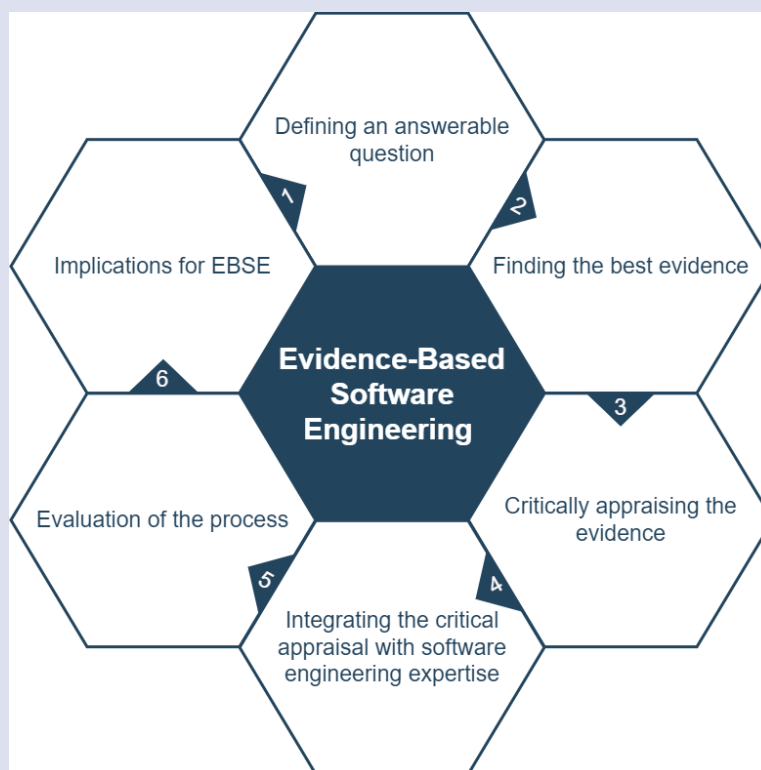


Figure 1. Steps of Evidence-Based Software Engineering [3]

### **Step 2. Finding the Best Evidence - Research Strategy**

The second step of evidence-based software engineering, finding the best evidence, is determining research strategies. While creating our search strategy, first of all, search terms were determined. In the second step, reliable literature sources were selected to be used to carry out the searches. Finally, it is completed with the search process. All the steps are presented in full detail below. It is recommended to [22]evaluate all possible outcomes in order to make a rational decision while determining the research terms. That's why, the search terms are pretty broad and it would be a better choice to research on the main terms. Our search terms are based on our research questions. In addition, searches were performed with Boolean (AND-OR) operations with similar search terms. The search words used in this study were determined by referring to the concept of ransomware detection. In the second step of this step, literature sources were made through databases that were generally accepted and recommended by all researchers [22]. These are; IEEE Xplore (<http://ieeexplore.ieee.org>), ACM Digital Library ([www.acm.org/dl](http://www.acm.org/dl)), ISI Web of Science ([www.isinet.com/products/citation/wos](http://www.isinet.com/products/citation/wos)), Science Direct (<https://www.sciencedirect.com/>), Google Scholar (<http://scholar.google.com>). In addition, all libraries were scanned with the search words determined during the search process and the results were evaluated with the principles of inclusion and exclusion in the selection of the study.

### **Step 3. Critically Appraising the Evidence - Study Selection (Inclusion/Exclusion)**

As a result of the research we conducted using our search terms from the literature sources we determined, 114 scientific studies were found in the last 5 years (2017-2022). A detailed analysis was made by the authors on the articles found at this stage of our study. The purpose of this review is to ensure that only relevant studies are included in the analysis. First of all, review and survey studies were eliminated by the authors. Identical studies from different sources were identified and extracted. To improve the quality of the study, inclusion and exclusion criteria were applied to focus on the studies that best fit our research questions before applying the quality assessment rules. Our defined inclusion and exclusion criteria were determined as whether the study offered solutions to detect ransomware or included discussion on ransomware analysis. In addition, whether or not it contains ransomware detection techniques was another criterion. Articles focusing on malware analysis and detection in a broad sense were excluded from our study. As a result, 49 articles meeting our criteria were included in the study.

### **Step 4. Integrating the Critical Appraisal with Software Engineering Expertise - Quality Assessment Rules (QARs)**

Quality assessment rules (QAR), one of the important steps of evidence-based software engineering, were

determined at this stage. For our study, ten QARs were decided by the authors. The extent to which an article meets the QAR criteria is represented by a total score ranging from 0 to 10. For each QAR, the articles were scored as 0 not meeting expectations, 0.25 below expectations, 0.5 average, 0.75 above expectations, and 1 fully meeting expectations. Articles with a total score of 5 and above in the QAR evaluation were included in the study. In order to increase the quality of the articles examined in the study, a score of 5 was chosen as the limit, as we think that it meets our expectations at a minimum level. Results of 49 articles included in the study with a quality score of 5 and above are detailed in Appendix A.

QAR1: Are the goals and boundaries of the study clearly defined?

QAR2: Is the technical background of the ransomware provided?

QAR3: Is the recommended Ransomware detection methodology clearly defined?

QAR4: Have the suggested methods been implemented and tested?

QAR5: Is the contribution of the methodology to the literature highlighted?

QAR6: Are limitations that threaten the validity of the proposed methodology specified?

QAR7: Is a detailed discussion of the findings included?

QAR8: Is there a comparison with other methods in the literature?

QAR9: Has sufficient information been given about the data set used?

QAR10: Does it have an industrial contribution in terms of results?

### **Step 5. Evaluation of the Process - Data extraction strategy and data synthesis**

In order to find the answers to our research questions, the information extraction phase from the articles was carried out in this step. The transaction was carried out with an information form created. The titles of the information form are the title of the article, publishers, year of publication, type of publication (conference or journal article), ransomware detection technique used, and datasets. The purpose of this step of the study is to try to gather the necessary information about whether all the collected articles can contribute to the research questions.

### **Step 6. Implications for Evidence-Based Software Engineering**

The final step of evidence-based software engineering envisages making implications from the data obtained. The answers to the research questions are tried to be determined. All the analyzes and the findings obtained for this purpose are presented in detail under the heading Results in the next section.

## Results

The findings of the study are presented in this section. Additionally, this section provides an overview of the scientific articles and ransomware dedection studies selected to address the research questions outlined above. The results of each research question are analyzed in depth in the following four sections. Finally, 49 research articles were selected within the scope of the study. Intrusion detection techniques are presented in Table 1, artificial intelligence algorithms used in Table 2, ransomware analysis techniques in Table 3, and datasets used in the literature are presented in Table 4. The list of selected articles is given in Appendix A. The analyzed research articles consist of articles published between 2017 and 2022. In addition, a quality assessment rule criteria was used as stated above and the scores of the selected articles are listed in Appendix B.

### *What techniques are used to detect ransomware attacks?*

The question of what techniques are used to detect ransomware attack, RQ1 is answered in this section. Algorithms used in the detection of ransomware attacks and suggested solution methods have been systematically determined from the reviewed articles. Ransomware attacks are long-lasting and take instructions from different connections. For this reason, it is important to detect the detection of attacks before the attack is completed, in order to reduce the damage. In our study, the most used algorithms and related studies in ransomware attack detection are listed.

As shown in Table 1, we have identified several techniques applied by researchers in the development of ransomware detection solutions. The most commonly used ransomware detection approaches in this review; Software Defined Networks (SDN), Honeypot, Pre-encryption detection algorithm (PEDA), Static Analysis, Dynamic Analysis, DNAact-Ran, Graph Based Detection methods.

According to Table 2, it was seen that the researchers used Random Forest, Naïve Bayes and MLP artificial intelligence algorithms to detect ransomware attacks.

According to the articles we reviewed, the most frequently used artificial intelligence algorithm is the Random Forest algorithm.

### *What techniques are used in ransomware analysis?*

In this section, we focus on answering AS 2 by introducing the various detection methods used to detect ransomware. Additionally, we provide details on ransomware detection techniques that can identify beaconing during ransomware attacks. We classify the data we obtain as a result of our analyzes in four categories: Machine Learning, Deep Learning, Network-Based and Signature-Based in ransomware analysis.

Machine Learning based methods; Are methods based on finding common features and correlating different malware activities using different algorithms such as SVM, Random Forest, Decision Tree, Naïve Bayes etc.

Deep learning-based techniques based on artificial neural networks such as Convolutional Neural Networks (CNN), Artificial neural network (ANN), Long short-term memory (LSTM) are used in the analysis of network traffic. The features in the network traffic are determined by using the ability to automatically extract the features in the data, which is one of the main features of deep learning algorithms. In this way, network traffic can be represented as a vector. In this way, different characteristics and patterns of network traffic can be extracted. As a result, suspicious situations and anomalies in network traffic can be detected.

Network-based techniques based on direct thinning of network traffic analyze network delays, spikes in network traffic, and unusual connections. Basically, it is trying to detect unusual situations and anomalies in the network traffic. It is intended to distinguish between benign network activities and malicious situations.

Signature-based methods are a technique based on comparing the signatures of pre-determined and identified ransomware with the signatures of the analyzed software. It is generally based on the principle that existing ransomware has been previously detected, analyzed and patterns extracted. However, it has a disadvantage in detecting an updated or new ransomware.

*Table 1. Ransomware Attack Detection Techniques*

Detection Technique	Reference	Frequency
SDN	[24][25][26][14][27][28][29]	7
Honey Cubes	[30][31][32]	3
PEDA	[33]	1
Static Analysis	[34][7][35][36][37][38][39]	7
Dynamic Analysis	[40][41][7][42][43][44][45][46][47][48][35][49][37][38][50][39][32]	17
DNAact-Ran	[51]	1
Graph Based Detection	[52][53]	2

*Table 2. Artificial Intelligence Algorithms Used to Detect Ransomware Attacks*

Artificial Intelligence Alg.	Reference	Frequency
Random Forest	[25][43] [45][54][35][48][49][53][55]	9
Naive Bayes	[43][54][28][36][50]	5
MLP	[56][49]	2

Table 3. Ransomware Detection Techniques

Sign Detection Technique	Reference	Frequency
Machine Learning based detection	[56][57][58][41][42][43][26][27][59][60][45][46][28][61][35] [51][48][18][62][49][49][36][37][63][50][64][53][39][55][32]	30
Deep Learning	[40][65][66][52][62][67][68]	7
Network Based	[24][25][14]	3
Signature Based Detection	[47]	1

Table 4. Datasets Used to Detect Ransomware Attacks

Reference	Dataset
[58][24][14][28][47][49]	WannaCry[69]
[33] [41][60][33][62]	theZoo[70]
[57][41][34][43][57][44][60][33][35][47][49][71][36][37]	VirusTotal[72]
[50]	UNSW-NB15[73]
[51]	PSJoshi[74]
[59]	CICAndMal2017[75]
[41][42][54][48][52]	virussshare[76]

#### What are the datasets used to detect ransomware attacks?

In this section, we look for answers to AS3. For this purpose, we present a detailed analysis of the datasets and data sources used in ransomware detection methods and solutions proposed by researchers. The datasets used are listed in Table-4.

WannaCry is specifically for Microsoft Windows operating systems and therefore Windows users are at higher risk. Once infected, WannaCry encrypts files using private keys and claims that payment is the only way to access them. The fee that WannaCry requests payment is usually stated in Bitcoin and the user is threatened with permanent encryption of files if the fee is not paid [69].

theZoo is an open-source virus and malware collection. This collection includes currently working and researched viruses and malware and provides detailed information about this software. The collection can be used as a reference resource for researchers, security professionals and other interested parties [70].

VirusTotal is a virus scanning and analysis service. To determine if a file is potentially harmful, this service sends it to many different virus scanning programs and collects the results of these programs about the file. This way, you can get a broader idea of how reliable a file is [72].

The UNSW-NB 15 dataset was created by the IXIA PerfectStorm tool at the University of New South Wales (UNSW), Canberra Cyber Range Laboratory. The network packets contain 100GB of raw data containing real modern normal activities and synthetic contemporary attack behaviors. There are nine types of attacks in this dataset, namely Fuzzers, Analysis, Backdoors, DoS, Exploits, Generic, Reconnaissance, Shellcode, and Worms [73].

The PSJoshi dataset contains a total of 1524 records. Of that data, it has 30970 features, of which 582 are ransomware and 942 are good software applications. It contains real world data. Therefore, it can be used to evaluate the accuracy in detecting ransomware [74].

CICAndMal2017 dataset is an Android malware dataset containing 4354 malware and 6500 benign software collected by the Canadian Cybersecurity Institute via GooglePlay in 2015,

2016, 2017. The dataset collects malicious software in four groups: Adware, Ransomware, Scareware and SMS Malware. There are 42 completely different malware families in the dataset [75].

The VirusShare dataset is a repository of malware samples available to researchers. For security reasons, an e-mail access must be requested to access the dataset. Live malware can be accessed through the dataset. All data is presented in encrypted compressed files for security reasons [76].

#### What will be the future status of ransomware?

We respond to AS 4 in this section to inform about the future status of ransomware attack types. Ransomware is a type of malware known as malware, and it usually restricts access to a computer's data and demands a payment from the user. It is difficult to predict what the future status of such software will be. Because with the development of technology, new technologies that threaten systems are being developed. It would not be wrong to say that the reason for the prevalence of ransomware today is the ease of hackers in obtaining financial gain and the situation of not being caught. With technology advancing, there are always possibilities for hackers to develop a more profitable and, in their own way, safe malware. However, it would not be wrong to say that ransomware will still be a big and developing threat today and in the near future [77].

To get an idea of the future of ransomware, statistics showing its near-term effects are helpful. In recent years, we have seen an increase in ransomware attacks. Many important companies and institutions were affected by these attacks. Trends show that ransomware attacks continue to increase in 2022 and will continue to be a significant threat to all industries [78]. What's more, ransomware damage is estimated to cost the global economy more than \$20 billion [79].

The ransomware called WannaCry has become a global threat in 2017, affecting more than 200 thousand systems in more than 150 countries. It affected the health system in England and caused chaos. It also infiltrated railway companies and telecom networks, causing disruption of services [80]. It is known that WannaCry ransomware, which is effective in developed countries such as America, Spain, Germany and

France, has earned about 52 BTC [81]. Wannacry, NotPetya, SimpleLocker, CryptoLocker, TB-Locker and WinLock are the most well-known ransomware in the world. According to security reports, there has been a great increase in ransomware in recent years, both in number and in terms of damage to the world economy [82].

Ransomware attacks, a threat that can be used against end users without any technical knowledge, will continue to increase in the future. In addition, the insecure behaviors exhibited by end users in cyber environments and the fact that many companies do not have the manpower to take the necessary precautions and raise awareness for cyber security measures increase the gravity of the situation [78]. New emerging technologies bring with them many unexplored security vulnerabilities. This provides new opportunities for ransomware attackers. Especially IoT and 5G network technologies will be exposed to the greatest threat in the future. This situation requires security companies to pay more attention to ransomware discovery analysis [83].

## Discussion

The unstoppable increase of ransomware in recent years and its consequences are obvious. The potential risks of ransomware threaten not only large systems but also end-user systems. When many end users are exposed to a ransomware attack, they usually prefer to pay the small sums required if they want to recover their data, and often do not even report this to the authorities. This shows that the financial damage of ransomware is much higher than known or estimated. The magnitude of the threat reveals the importance of studies in the field of ransomware discovery and analysis. At this point, our study is a systematic literature review based on the Evidence-Based Software Engineering framework of studies in this field. With the research, the articles published between 2017 and 2022 were examined. After parsing according to our inclusion and exclusion criteria, 160 articles remained. We continued to work with 49 articles in the scoring made according to our quality evaluation rules on these articles.

Throughout our study, we tried to find answers to four different research questions. As a result of our investigations, Software Defined Networks (SDN), Honeypot, Pre-encryption detection algorithm (PEDA), Static Analysis, Dynamic Analysis, DNAact-Ran, Graph-Based Detection methods are the most used techniques in attack detection. Among these methods, it was seen that the dynamic analysis approach was preferred the most. In addition, it is seen that Random Forest, Naive Bayes and MLP artificial intelligence algorithms are used to detect ransomware. According to the information obtained from the studies reviewed, the basic techniques used in ransomware beaconing detection are machine learning-based techniques. In recent years, it is seen that the use of Deep Learning-based techniques has increased. It is also used in Network and Signature Based techniques.

When we look at the datasets used by recent studies, [69] it is seen that datasets such as WannaCry, theZoo [70], VirusTotal [72], UNSW-NB15 [73], PSJoshi [74], CICAndMal2017 [75] and VirusShare [76] are used. It is seen that VirusTotal is the most preferred among these datasets. The analysis of the future of ransomware shows us that ransomware will still remain a major threat in the near future.

## Conclusion

Today, when people and institutions carry out many transactions with the support of information systems, malicious programs such as ransomware pose a great threat in digital societies. According to the reports of security companies, the total damage caused by cyber security threats to the global economy is expressed in billions of dollars, and material losses are increasing. In addition to its financial effects, theft, disclosure or inaccessibility of personal and corporate data, which is one of the most valuable elements of today, creates irreparable results. A lot of work is being done to prevent ransomware attacks or to minimize their damage. However, it is not possible for experts in the field to follow and examine all studies. In order to find solutions to such problems, it has been suggested that primary sources should be analyzed with evidence-based studies that guarantee a certain quality and transformed into a systematic literature review. Our study, which uses this method, which is called the evidence-based software engineering approach, will fill an important gap in the field.

In this study, techniques used in existing solutions to detect ransomware attacks are analyzed and compared. In addition, various artificial intelligence algorithms used in beaconing techniques for the detection of ransomware independently from the attack were examined. A list of databases used in all analyzes has been made and explained with references.

As a result, the studies examined reveal the importance of the knowledge gained in detecting and analyzing ransomware. Determining the most effective detection methods, especially in the face of ransomware's complex structures and constantly evolving attack techniques, is one of the main contributions of the study. Reviewed studies show that machine learning and deep learning algorithms offer high success in detecting ransomware, and dynamic analysis methods play a critical role in distinguishing malware in the initial stages of attacks. Additionally, it appears that SDN-based security solutions and defensive strategies such as Honeypot have the potential to protect systems before they are attacked. This information provides an effective guide to security experts fighting ransomware threats and provides important knowledge to strengthen existing security measures and develop new defense strategies. In this context, the study not only provides a comprehensive evaluation of current detection techniques, but also contributes to the development of strategic solutions that can be applied in the future against the ransomware threat.

In our study, the use of different techniques such as machine learning and artificial neural networks for these problems is presented. In addition, challenges in the field and some areas that could inspire future work in this research area were identified. Especially recently, all researchers recommend that studies on deep learning should be carried out. In addition, studies can be expanded by examining data in different databases. In this way, the consistency of the data presented by different databases and the importance of databases other than generally accepted database providers can be revealed.

## Acknowledgements

This study was produced as a part of the Master Thesis study of Engin Kuzu.

## Appendix A. Selected Research Papers

Title	Medicine	Year	Ref
An Integrated Approach for Detecting Ransomware Using Static and Dynamic Analysis	Conference	2018	[7]
Ransomware detection by mining API call usage	Conference	2018	[42]
A Multi-Classifer Network-Based Crypto Ransomware Detection System: A Case Study of Locky Ransomware	Article	2018	[27]
Ransomware detection and mitigation using software-defined networking: The case of WannaCry	Article	2019	[14]
Detecting Ransomware Using Process Behavior Analysis	Article	2020	[18]
Software-defined networking-based crypto ransomware detection using HTTP traffic characteristics	Article	2018	[24]
R-Sentry: Deception based ransomware detection using file access patterns	Article	2022	[31]
Evaluation metric for crypto-ransomware detection using machine learning	Article	2020	[33]
Ransomware Detection using Random Forest Technique	Article	2020	[35]
A Comparative Assessment of Obfuscated Ransomware Detection Methods	Article	2019	[44]
Dynamic Ransomware Detection for Windows Platform Using Machine Learning Classifiers	Article	2022	[50]
Machine Learning-Based Detection of Ransomware Using SDN	Article	2018	[25]
A Digital DNA Sequencing Engine for Ransomware Detection Using Machine Learning	Article	2020	[51]
A Comprehensive API Call Analysis for Detecting Windows-Based Ransomware	Article	2022	[39]
Analysis of Machine Learning Techniques for Ransomware Detection	Conference	2019	[59]
Attention In Recurrent Neural Networks For Ransomware Detection	Conference	2019	[65]
Evaluating Shallow and Deep Networks for Ransomware Detection and Classification	Conference	2017	[56]
Machine Learning Algorithms and Frameworks in Ransomware Detection	Article	2022	[64]
Exploiting Ransomware Paranoia For Execution Prevention	Conference	2020	[47]
A New Static-based Framework for Ransomware Detection	Conference	2018	[34]
Two -Stage Ransomware Detection Using Dynamic Analysis and Machine Learning Techniques	Article	2020	[48]
A novel approach for ransomware detection based on PE header using graph embedding	Article	2022	[53]
Ransomware detection using deep learning based unsupervised feature extraction and a cost sensitive Pareto Ensemble classifier	Article	2022	[68]
A framework for supporting ransomware detection and prevention based on hybrid analysis	Article	2021	[38]
Reducing False Negatives in Ransomware Detection: A Critical Evaluation of Machine Learning Algorithms	Article	2022	[55]
A Multi-Level Ransomware Detection Framework using Natural Language Processing and Machine Learning	Article	2019	[60]
Ransomware detection, prevention and protection in IoT devices using ML techniques based on dynamic analysis approach	Article	2022	[32]
Convolutional Neural Network-Based Cryptography Ransomware Detection for Low-End Embedded Processors	Article	2021	[67]
Towards resilient machine learning for ransomware detection	Article	2018	[43]
Machine Learning Based Ransomware Detection Using Storage Access Patterns Obtained From Live-forensic Hypervisor	Conference	2019	[45]
Ransomware detection using process mining and classification algorithms	Conference	2019	[54]
Deep learning LSTM based ransomware detection	Conference	2017	[40]
Feature-Selection-Based Ransomware Detection with Machine Learning of Data Analysis	Conference	2018	[26]
Android ransomware detection using reduced opcode sequence and image similarity	Conference	2017	[57]
Intrusion and ransomware detection system	Conference	2018	[30]
Large Scale Ransomware Detection by Cognitive Security	Conference	2017	[58]
Detecting Ransomware using GURLS	Article	2018	[41]
A New Method for Ransomware Detection Based on PE Header Using Convolutional Neural Networks	Conference	2020	[52]
Leveraging Deep Learning Models for Ransomware Detection in the Industrial Internet of Things Environment	Conference	2019	[66]



An experimental study to evaluate the performance of machine learning algorithms in ransomware detection	Article	2020	[62]
Industrial Internet of Things Based Ransomware Detection using Stacked Variational Neural Network	Article	2019	[46]
Intelligent and Dynamic Ransomware Spread Detection and Mitigation in Integrated Clinical Environments	Article	2019	[28]
Machine Learning Based File Entropy Analysis for Ransomware Detection in Backup Systems	Article	2019	[61]
Automated Analysis Approach for the Detection of High Survivable Ransomware	Article	2020	[49]
Crypto-ransomware early detection model using novel incremental bagging with enhanced semi-random subspace selection	Article	2019	[71]
Android Ransomware Detection Based on Dynamic Obtained Features	Article	2020	[36]
LooCipher Ransomware Detection Using Lightweight Packet Characteristics	Article	2020	[29]
A Behavior based Ransomware Detection using Neural Network Models	Article	2021	[63]
A Multi-Tier Streaming Analytics Model of 0-Day Ransomware Detection Using Machine Learning	Article	2020	[37]

## Appendix B. QAR Scores

Reference	Year	QAR 1	QAR 2	QAR 3	QAR 4	QAR 5	QAR 6	QAR 7	QAR 8	QAR 9	QAR10	TOTAL
K. Cabaj et al. [24]	2018	one	one	0.5	one			one		one	one	6.5
M. Akbanov and others [14]	2019	one	one	0.5	one			one		one	one	6.5
S.Sheen and others[31]	2022	one	one	0.5	one		one	one		one	one	7.5
SH Coke and others[33]	2020	one	one	0.5	one	one		one		one	one	7.5
Ban Mohammed Khammas [35]	2020	one	one	0.5	one	one		one	one	one	one	8.5
F. KHAN et al.[51]	2020	one	one	0.5	one	one		one	one	one	one	8.5
AO Almashtadani and others[27]	2019	one	one	0.5	one	one		one	one	one	one	8.5
M. Medhat and others[34]	2018	one	one	0.5	one		one	one	one	one	one	8.5
F. Noorbehhahani and others[59]	2019	one	one	0.5	one			one	one	one	one	7.5
R. Agrawal et al.[65]	2019	one	one	0.5	one			one		one	one	6.5
Vinayakumar[56]	2022	one	one	0.5	one	one	one		one	one	one	8.5
D. Smith et al.,[64]	2022	one	one	0.5	one			one	one	one	one	7.5
F. Manavi and others[53]	2022	one	one	0.5	one	one		one	one	one	one	8.5
U. Zahoora and others [68]	2022	one	one	0.5	one			one	one	one	one	7.5
G.Cusack[25]	2018	one	one	0.5	one			one	one	one	one	7.5
M. Izham and others[50]	2022	one	one	0.5	one	one		0.5	one	one	one	8
Sergiu SECHEL [44]	2019	one	one	0.5	one			one		one	one	6.5
A. AlSabeih et al.[47]	2020	one	one		one			0.5	one	one	one	6.5
J.Hwang[48]	2020	one	one	0.5	one			0.5	0.75	one	one	6.75

DF Netto and others[7]	2018	one	one	0.75	one	0.5		0.25	one	one	6.5	
S.Sheen and others[42]	2018	one	one	0.75	one	0.5	0.5	0.5	one	one	7.25	
PM Anand and others[39]	2022	one	one		one		one	0.5	0.75	one	one	7.25
Francesco Mercaldo [38]	2021	one	one		one		0.5	0.5	one	one	one	6.5
R. Bold et al. [55]	2022	one	one	0.75	one	0.5			one	one	one	7.25
S. Poudyal and others[60]	2019	one	one	one	one			0.5	one	one	one	7.5
P. Sharma and others[32]	2022	one	one		one	0.5		0.5		one	one	6
H. Kim and others[67]	2021	one	one		one		one	0.5		one	one	6.5
L.Chen and others [43]	2018	one	one		one			one		one	one	6
M. Hirano et al.[45]	2019	one	one		one			one		one	one	6
A. Bahrani and others[54]	2019	one	one		one			one		one	one	6
S. Maniath et al.[40]	2018	one	one		one		0.5	one		one	one	6.5
Y.Wan et al.[26]	2018	one	one	0.5	one		0.5	0.5		one	one	6.5
A. Karimi and others[57]	2017	one	one		one		one	0.5	one	one	one	7.5
A. El-Kosairy and others[30]	2018	one	one		one		0.5	one		one	one	6.5
J. Silva et al.[58]	2018	one	one		one					one	one	5
NB Harikrishnan and others[41]	2018	one	one	0.5	one			0.5		one	one	6
F. Manavi et al.[52]	2020	one	one	0	one			0.5		one	one	5.5
M. Al-Hawawreh et al. [66]	2019	one	one		one			0.5	0.75	one	one	6.25
Y Dion and others[62]	2020	one	one		one			0.5		one	one	5.5
M AL-Hawawreh et al.[46]	2019	one	one		one				0.75	one	one	5.75
LF Maimo and others[28]	2019	one	one		one			0.5		one	one	5.5
K LEE and others[61]	2019	one	one		one					one	one	5
YA Ahmed and others[49]	2020	one	one	0.5	one				0.75	one	one	6.25
BAS Alrimy and others[71]	2020	one	one		one		0.5		0.75	one	one	6.25
Z. Abdullah and others[36]	2020	one	one		one				0.5	one	one	5.5
T. Liu and his values[29]	2020	one	one		one					one	one	5
E. Ketzaki et al.[63]	2021	one	one		one			0.5	0.5	one	one	6
H. Zuhair et al.[37]	2020	one	one		one				0.5	one	one	5.5
A. Arabo et al.[18]	2020	one	one		one				0.5	one	one	5.5

## References

- [1] D. L. Sackett, W. M. C. Rosenberg, J. A. M. Gray, R. B. Haynes, and W. S. Richardson, "Evidence based medicine: what it is and what it isn't. 1996.," *Clinical orthopaedics and related research*, vol. 455, no. 7023. British Medical Journal Publishing Group, pp. 3–5, 2007. doi: 10.1136/bmj.312.7023.71.
- [2] O. A. Uysal, "Kanıtı dayalı Tıp (KdT)," *Tıp Fakültesi Klinikleri Dergisi*, vol. 2, no. 3. Istanbul Aydin University, atk@aydin.edu.tr, pp. 83–89, 2019.
- [3] B. A. Kitchenham, T. Dybå, and M. Jørgensen, "Evidence-based software engineering," in *Proceedings - International Conference on Software Engineering*, 2004, pp. 273–281. doi: 10.1109/icse.2004.1317449.
- [4] S. Saxena and H. K. Soni, "Strategies for ransomware removal and prevention," in *Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Advances in Electrical and Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics, AEIICB 2018*, 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/AEIICB.2018.8480941.
- [5] A. Gazet, "Comparative analysis of various ransomware virii," *Journal in Computer Virology*, vol. 6, no. 1, pp. 77–90, 2010, doi: 10.1007/s11416-008-0092-2.
- [6] S. ÇELİK and B. ÇELİKTAŞ, "Güncel Siber Güvenlik Tehditleri: Fidyeye Yazılımlar," *CyberPolitik Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 105–132, 2018.
- [7] D. F. Netto, K. M. Shony, and E. R. Lalson, "An Integrated Approach for Detecting Ransomware Using Static and Dynamic Analysis," in *2018 International CET Conference on Control, Communication, and Computing, IC4 2018*, 2018, pp. 410–414. doi: 10.1109/CETIC4.2018.8531017.
- [8] T. Dumitras, "When Malware Changed Its Mind: How " Split Personalities" Affect Malware Analysis and Detection," 2023.
- [9] I. Kara and M. Aydos, "Static and Dynamic Analysis of Third Generation Cerber Ransomware," in *International Congress on Big Data, Deep Learning and Fighting Cyber Terrorism, IBIGDELFT 2018 - Proceedings*, 2019, pp. 12–17. doi: 10.1109/IBIGDELFT.2018.8625353.
- [10] J. S. Aidan, Zeenia, and U. Garg, "Advanced Petya Ransomware and Mitigation Strategies," in *ICSCCC 2018 - 1st International Conference on Secure Cyber Computing and Communications*, 2018, pp. 23–28. doi: 10.1109/ICSCCC.2018.8703323.
- [11] E. Berrueta, D. Morato, E. Magana, and M. Izal, "A Survey on Detection Techniques for Cryptographic Ransomware," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 144925–144944, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2945839.
- [12] A. Fagioli, "Zero-day recovery: the key to mitigating the ransomware threat," *Computer Fraud and Security*, vol. 2019, no. 1, pp. 6–9, 2019, doi: 10.1016/S1361-3723(19)30006-5.
- [13] H. Ö. Bakır, B. Çelik, and S. Işık, "REMnux Linux Dağıtımının İncelenmesi ve Örnek bir Kötücül Yazılım Analiz Uygulaması. Review of REMnux Linux Distro and a Sample Malware Analysis - PDF Free Download".
- [14] M. Akbanov, V. G. Vassilakis, and M. D. Logothetis, "Ransomware detection and mitigation using software-defined networking: The case of WannaCry," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 76, pp. 111–121, 2019, doi: 10.1016/j.compeleceng.2019.03.012.
- [15] S. R. Davies, R. Macfarlane, and W. J. Buchanan, "Evaluation of live forensic techniques in ransomware attack mitigation," *Forensic Science International: Digital Investigation*, vol. 33, p. 300979, 2020, doi: 10.1016/j.fsidi.2020.300979.
- [16] S. H. Kok, A. Abdullah, and N. Z. Jhanjhi, "Early detection of crypto-ransomware using pre-encryption detection algorithm," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 5, pp. 1984–1999, 2022, doi: 10.1016/j.jksuci.2020.06.012.
- [17] M. Humayun, N. Z. Jhanjhi, A. Alsayat, and V. Ponnusamy, "Internet of things and ransomware: Evolution, mitigation and prevention," *Egyptian Informatics Journal*, vol. 22, no. 1, pp. 105–117, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.EIJ.2020.05.003.
- [18] A. Arabo, R. Dijoux, T. Poulain, and G. Chevalier, "Detecting ransomware using process behavior analysis," *Procedia Comput Sci*, vol. 168, pp. 289–296, 2020, doi: 10.1016/j.procs.2020.02.249.
- [19] A. Patel and J. Tailor, "A malicious activity monitoring mechanism to detect and prevent ransomware," *Computer Fraud and Security*, vol. 2020, no. 1, pp. 14–19, 2020, doi: 10.1016/S1361-3723(20)30009-9.
- [20] D. Berry, W. T.-I. T. on Software, and undefined 2003, "Comments on" Formal methods application: an empirical tale of software development",," *ieeexplore.ieee.org*.
- [21] M. Jorgensen, ... T. D.-11th I. I., and undefined 2005, "Teaching evidence-based software engineering to university students," *ieeexplore.ieee.org*.
- [22] T. Dybå, B. A. Kitchenham, and M. Jorgensen, "Evidence-based software engineering for practitioners," *IEEE Softw*, vol. 22, no. 1, pp. 58–65, Jan. 2005, doi: 10.1109/MS.2005.6.
- [23] M. V. Zelkowitz, D. Binkley, D. R. Wallace, and D. W. Binkley, "Experimental validation of new software technology," *World Scientific*, pp. 229–263, Mar. 2003, doi: 10.1142/9789812795588\_0006.
- [24] K. Cabaj, M. Gregorczyk, and W. Mazurczyk, "Software-defined networking-based crypto ransomware detection using HTTP traffic characteristics," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 66, pp. 353–368, 2018, doi: 10.1016/j.compeleceng.2017.10.012.
- [25] G. Cusack, O. Michel, and E. Keller, "Machine learning-based detection of ransomware using SDN," in *SDN-NFVSec 2018 - Proceedings of the 2018 ACM International Workshop on Security in Software Defined Networks and Network Function Virtualization, Co-located with CODASPY 2018*, 2018, pp. 1–6. doi: 10.1145/3180465.3180467.
- [26] Y. L. Wan, J. C. Chang, R. J. Chen, and S. J. Wang, "Feature-Selection-Based Ransomware Detection with Machine Learning of Data Analysis," *2018 3rd International Conference on Computer and Communication Systems, ICCCS 2018*, pp. 392–396, 2018, doi: 10.1109/CCOMS.2018.8463300.
- [27] A. O. Almashhadani, M. Kaiiali, S. Sezer, and P. O'Kane, "A Multi-Classifer Network-Based Crypto Ransomware Detection System: A Case Study of Locky Ransomware," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 47053–47067, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2907485.
- [28] L. F. Maimó, A. H. Celdrán, Á. L. Perales Gómez, F. J. García Clemente, J. Weimer, and I. Lee, "Intelligent and dynamic ransomware spread detection and mitigation in integrated clinical environments," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 5, 2019, doi: 10.3390/s19051114.
- [29] T. M. Liu, D. Y. Kao, and Y. Y. Chen, "Loocipher ransomware detection using lightweight packet characteristics," *Procedia Comput Sci*, vol. 176, pp. 1677–1683, 2020, doi: 10.1016/j.procs.2020.09.192.
- [30] A. El-Kosairy and M. A. Azer, "Intrusion and ransomware detection system," *ieeexplore.ieee.org*, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1109/cais.2018.8471688.
- [31] S. Sheen, K. A. Asmitha, and S. Venkatesan, "R-Sentry: Deception based ransomware detection using file access patterns," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 103, p. 108346, 2022, doi: 10.1016/j.compeleceng.2022.108346.
- [32] P. Sharma, S. Kapoor, and R. Sharma, "Ransomware detection, prevention and protection in IoT devices using ML techniques based on dynamic analysis approach," *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 2022, doi: 10.1007/s13198-022-01793-0.
- [33] S. H. Kok, A. Azween, and N. Z. Jhanjhi, "Evaluation metric for crypto-ransomware detection using machine learning," *Journal of Information Security and Applications*, vol. 55, p. 102646, 2020, doi: 10.1016/j.jisa.2020.102646.

- [34] M. Medhat, S. Gaber, and N. Abdelbaki, "A new static-based framework for ransomware detection," in Proceedings - IEEE 16th International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, IEEE 16th International Conference on Pervasive Intelligence and Computing, IEEE 4th International Conference on Big Data Intelligence and Computing and IEEE 3, 2018, pp. 710–715. doi: 10.1109/DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTec.2018.00124.
- [35] B. M. Khammas, "Ransomware Detection using Random Forest Technique," *ICT Express*, vol. 6, no. 4, pp. 325–331, 2020, doi: 10.1016/j.icte.2020.11.001.
- [36] Z. Abdullah, F. W. Muhadi, M. M. Saudi, I. R. A. Hamid, and C. F. M. Foozy, "Android Ransomware Detection Based on Dynamic Obtained Features," *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 978 AISC, pp. 121–129, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-36056-6\_12.
- [37] H. Zuhair, A. Selamat, and O. Krejcar, "A multi-tier streaming analytics model of 0-day ransomware detection using machine learning," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 9, 2020, doi: 10.3390/app10093210.
- [38] F. Mercado, "A framework for supporting ransomware detection and prevention based on hybrid analysis," *Journal of Computer Virology and Hacking Techniques*, vol. 17, no. 3, pp. 221–227, Sep. 2021, doi: 10.1007/s11416-021-00388-W.
- [39] P. Mohan Anand, P. V. Sai Charan, and S. K. Shukla, "A Comprehensive API Call Analysis for Detecting Windows-Based Ransomware," in Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Cyber Security and Resilience, CSR 2022, 2022, pp. 337–344. doi: 10.1109/CSR54599.2022.9850320.
- [40] S. Maniath, A. Ashok, P. Poornachandran, V. G. Sujadevi, A. U. P. Sankar, and S. Jan, "Deep learning LSTM based ransomware detection," *2017 Recent Developments in Control, Automation and Power Engineering, RDCAPE 2017*, pp. 442–446, 2018, doi: 10.1109/RDCAPE.2017.8358312.
- [41] N. Harikrishnan and K. Soman, "Detecting Ransomware using GURLS," *Proceedings of 2018 2nd International Conference on Advances in Electronics, Computers and Communications, ICAECC 2018*, 2018, doi: 10.1109/ICAECC.2018.8479444.
- [42] S. Sheen and A. Yadav, "Ransomware detection by mining API call usage," in *2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI 2018*, 2018, pp. 983–987. doi: 10.1109/ICACCI.2018.8554938.
- [43] L. Chen, C.-Y. Yang, A. Paul, and R. Sahita, "Towards resilient machine learning for ransomware detection," Dec. 2018.
- [44] S. SECHEL, "A Comparative Assessment of Obfuscated Ransomware Detection Methods," *Informatica Economica*, vol. 23, no. 2/2019, pp. 45–62, 2019, doi: 10.12948/issn14531305/23.2.2019.05.
- [45] M. Hirano and R. Kobayashi, "Machine Learning Based Ransomware Detection Using Storage Access Patterns Obtained from Live-forensic Hypervisor," *2019 6th International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security, IOTSMS 2019*, 2019, doi: 10.1109/IOTSMS48152.2019.8939214.
- [46] M. AL-Hawawreh and E. Sitnikova, "Industrial internet of things based ransomware detection using stacked variational neural network," *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 126–130, Aug. 2019, doi: 10.1145/3361758.3361763.
- [47] A. Alsabeh, H. Safa, E. Bou-Harb, and J. Crichigno, "Exploiting Ransomware Paranoia for Execution Prevention," in *IEEE International Conference on Communications*, 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICC40277.2020.9149005.
- [48] J. Hwang, J. Kim, S. Lee, and K. Kim, "Two-Stage Ransomware Detection Using Dynamic Analysis and Machine Learning Techniques," *Wirel Pers Commun*, vol. 112, no. 4, pp. 2597–2609, 2020, doi: 10.1007/s11277-020-07166-9.
- [49] Y. A. Ahmed, B. Koçer, and B. A. S. Al-Rimy, "Automated Analysis Approach for the Detection of High Survivable Ransomware," *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, vol. 14, no. 5, pp. 2236–2257, 2020, doi: 10.3837/tiis.2020.05.021.
- [50] M. Izham Jaya and M. F. A. Razak, "Dynamic Ransomware Detection for Windows Platform Using Machine Learning Classifiers," *International Journal on Informatics Visualization*, vol. 6, no. 2, pp. 469–474, 2022, doi: 10.30630/Joiv.6.2-2.1093.
- [51] F. Khan, C. Ncube, L. K. Ramasamy, S. Kadry, and Y. Nam, "A Digital DNA Sequencing Engine for Ransomware Detection Using Machine Learning," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 119710–119719, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3003785.
- [52] F. Manavi and A. Hamzeh, "A New Method for Ransomware Detection Based on PE Header Using Convolutional Neural Networks," *Proceedings of 17th International ISC Conference on Information Security and Cryptology, ISCISC 2020*, pp. 82–87, 2020, doi: 10.1109/ISCISC51277.2020.9261903.
- [53] F. Manavi and A. Hamzeh, "A novel approach for ransomware detection based on PE header using graph embedding," *Journal of Computer Virology and Hacking Techniques*, vol. 18, no. 4, pp. 285–296, 2022, doi: 10.1007/s11416-021-00414-x.
- [54] A. Bahrani and A. J. Bidgly, "Ransomware detection using process mining and classification algorithms," *Proceedings of 16th International ISC Conference on Information Security and Cryptology, ISCISC 2019*, pp. 73–77, 2019, doi: 10.1109/ISCISC48546.2019.8985149.
- [55] R. Bold, H. Al-Khateeb, and N. Ersotelos, "Reducing False Negatives in Ransomware Detection: A Critical Evaluation of Machine Learning Algorithms," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 24, 2022, doi: 10.3390/app122412941.
- [56] R. Vinayakumar, K. P. Soman, K. K. S. Velan, and S. Ganorkar, "Evaluating shallow and deep networks for ransomware detection and classification," in *2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI 2017*, 2017, pp. 259–265. doi: 10.1109/ICACCI.2017.8125850.
- [57] A. Karimi and M. H. Moattar, "Android ransomware detection using reduced opcode sequence and image similarity," *2017 7th International Conference on Computer and Knowledge Engineering, ICCKE 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 229–234, 2017, doi: 10.1109/ICCKE.2017.8167881.
- [58] J. A. H. Silva and M. Hernandez-Alvarez, "Large scale ransomware detection by cognitive security," *2017 IEEE 2nd Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1–4, 2018, doi: 10.1109/ETCM.2017.8247484.
- [59] F. Noorbehbahani, F. Rasouli, and M. Saberi, "Analysis of machine learning techniques for ransomware detection," *Proceedings of 16th International ISC Conference on Information Security and Cryptology, ISCISC 2019*, pp. 128–133, Aug. 2019, doi: 10.1109/ISCISC48546.2019.8985139.
- [60] S. Poudyal, D. Dasgupta, Z. Akhtar, and K. Gupta, "A multi-level ransomware detection framework using natural language processing and machine learning," in *14th International Conference on Malicious and Unwanted Software "MALCON"*, 2019.
- [61] K. Lee, S. Y. Lee, and K. Yim, "Machine Learning Based File Entropy Analysis for Ransomware Detection in Backup Systems," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 110205–110215, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2931136.
- [62] Y. L. Dion and S. N. Brohi, "An experimental study to evaluate the performance of machine learning algorithms in ransomware detection," *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 15, no. 2, pp. 967–981, 2020.
- [63] E. Ketzaki, P. Toupas, K. M. Giannoutakis, A. Drosou, and D. Tzovaras, "A Behaviour based Ransomware Detection using Neural Network Models," *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2020 - Proceedings*, pp. 747–750, 2020, doi: 10.1109/ACIT49673.2020.9208974.

- [64] D. Smith, S. Khorsandroo, and K. Roy, "Machine Learning Algorithms and Frameworks in Ransomware Detection," IEEE Access, vol. 10, pp. 117597–117610, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3218779.
- [65] R. Agrawal, J. W. Stokes, K. Selvaraj, and M. Marinescu, "Attention in Recurrent Neural Networks for Ransomware Detection," in ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings, 2019, pp. 3222–3226. doi: 10.1109/ICASSP.2019.8682899.
- [66] M. Al-Hawawreh and E. Sitnikova, "Leveraging Deep Learning Models for Ransomware Detection in the Industrial Internet of Things Environment," 2019 Military Communications and Information Systems Conference, MilCIS 2019 - Proceedings, 2019, doi: 10.1109/MilCIS.2019.8930732.
- [67] H. Kim, J. Park, H. Kwon, K. Jang, and H. Seo, "Convolutional neural network-based cryptography ransomware detection for low-end embedded processors," Mathematics, vol. 9, no. 7, Apr. 2021, doi: 10.3390/math9070705.
- [68] U. Zahoor, A. Khan, M. Rajarajan, S. H. Khan, M. Asam, and T. Jamal, "Ransomware detection using deep learning based unsupervised feature extraction and a cost sensitive Pareto Ensemble classifier," Sci Rep, vol. 12, no. 1, p. 15647, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-19443-7.
- [69] "WannaCry Fidyeye Yazılımı Hakkında Bilmeniz Gereken Her Şey." Accessed: Apr. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.kaspersky.com.tr/resource-center/threats/ransomware-wannacry>
- [70] "GitHub - ytisf/theZoo: A repository of LIVE malwares for your own joy and pleasure. theZoo is a project created to make the possibility of malware analysis open and available to the public." Accessed: Apr. 14, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/ytisf/theZoo>
- [71] B. A. S. Al-rimy, M. A. Maarof, and S. Z. M. Shaid, "Cryptoransomware early detection model using novel incremental bagging with enhanced semi-random subspace selection," Future Generation Computer Systems, vol. 101, pp. 476–491, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.future.2019.06.005.
- [72] "VirusTotal - Home." Accessed: Apr. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.virustotal.com/gui/home/upload>
- [73] "The TON\_IoT Datasets | UNSW Research." Accessed: Apr. 14, 2023. [Online]. Available: <https://research.unsw.edu.au/projects/toniot-datasets>
- [74] "PSJoshi (Pradyumna Joshi) · GitHub." Accessed: Apr. 14, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/PSJoshi>
- [75] "Android Malware 2017 | Datasets | Research | Canadian Institute for Cybersecurity | UNB." Accessed: Apr. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.unb.ca/cic/datasets/andmal2017.html>
- [76] "VirüsShare.com." Accessed: Apr. 14, 2023. [Online]. Available: <https://virusshare.com/>
- [77] "2022 Data Breach Investigations Report | Verizon." Accessed: Apr. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.verizon.com/business/resources/reports/dbir/>
- [78] "Ransomware is here to stay and other cybersecurity predictions for 2022." Accessed: Mar. 10, 2023. [Online]. Available: <https://quointelligence.eu/2022/01/ransomware-and-other-cybersecurity-predictions-for-2022/>
- [79] P. Sharma, S. Kapoor, and R. Sharma, "Ransomware detection, prevention and protection in IoT devices using ML techniques based on dynamic analysis approach," International Journal of System Assurance Engineering and Management, vol. 14, no. 1, pp. 287–296, 2023, doi: 10.1007/s13198-022-01793-0.
- [80] "WannaCry Ransomware Attack (What Happened & How to Protect Yourself)." Accessed: Apr. 17, 2023. [Online]. Available: <https://www.webopedia.com/definitions/wannacry/>
- [81] "The Biggest Cybersecurity Disasters of 2017 So Far | WIRED." Accessed: Apr. 17, 2023. [Online]. Available: <https://www.wired.com/story/2017-biggest-hacks-so-far/>
- [82] "Symantec Internet Security Threat Report." Accessed: Apr. 17, 2023. [Online]. Available: <https://www.crn.com/tag/Symantec%20Internet%20Security%20Threat%20Report>
- [83] "Defending Against Ransomware | Deloitte US." Accessed: Mar. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/risk/articles/defending-against-ransomware.html>



## Notch Filter Design with the Help of Modified Artificial Bee Colony (MABC) Algorithm to Eliminate Network Noise on the ECG Signal

Abdulkadir Çakır<sup>1,a,\*</sup>, Serdar Koçkanat<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Cumhuriyet Üniversitesi, 58140 Sivas, Türkiye

<sup>2</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Cumhuriyet Üniversitesi, 58140 Sivas, Türkiye

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 14/06/2024

Accepted: 23/06/2024

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

Network noise is one of the main factors that cause difficulties in the processing and subsequent accurate analysis of ECG signals. Therefore, effective filter design must be carried out to eliminate network noise on ECG signals. In this study, it is proposed to obtain a clean ECG signal by suppressing and eliminating 50 Hz network noise with a IIR notch filter design based on the modified artificial bee colony (MABC) algorithm. IIR notch filter parameters were selected by optimizing with the modified artificial bee colony (MABC) algorithm and the IIR notch filter was designed in this way. As a result of this study, it was understood that the noise on the ECG signal was cleared very well by looking at the difference between the signals. In addition, it was clearly seen that the IIR notch filter parameters were selected at the correct values by the modified artificial bee colony (MABC) algorithm.

**Keywords:** ECG signal, modified artificial bee colony (MABC) algorithm, IIR notch filter, network noise;

## EKG İşareti Üzerindeki Şebeke Gürültüsünün Yok Edilmesi İçin Modifiye Yapay Arı Kolonisi (MABC) Algoritması Yardımıyla Çentik Filtre Tasarımı

#### Süreç

Geliş: 16/06/2024

Kabul: 23/06/2024

### Öz

Şebeke gürültüsü, EKG sinyallerinin işlenmesinde ve ardından doğru analizinde zorluk çıkartan etkenlerin başında gelmektedir. Bu yüzden EKG sinyallerinin üzerindeki şebeke gürültüsünün giderilmesi için etkili filtre tasarımı gerçekleştirilmelidir. Bu çalışmada, modifiye yapay arı kolonisi (MABC) algoritmasını temel alan IIR çentik filtre tasarımıyla, 50 Hz şebeke gürültüsünü bastırıp ortadan kaldırarak temiz bir EKG sinyali elde edilmesi önerilmiştir. IIR çentik filtre parametreleri, modifiye yapay arı kolonisi (MABC) algoritmasıyla optimize edilerek seçilmiş ve IIR çentik filtre bu şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışma sonucunda, EKG sinyalinin üzerindeki gürültünün çok iyi bir şekilde temizlendiği sinyaller arasındaki farka bakarak anlaşılmıştır. Ayrıca IIR çentik filtre parametrelerinin, modifiye yapay arı kolonisi (MABC) algoritması tarafından doğru değerlerde seçildiği de açıkça görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** EKG sinyali, modifiye yapay arı kolonisi (MABC) algoritması, IIR çentik filtre, şebeke gürültüsü;

<sup>a</sup> 20229233015@cumhuriyet.edu.tr <sup>ID</sup> 0009-0005-9416-3509

<sup>b</sup> skockanat@cumhuriyet.edu.tr

<sup>ID</sup> 0000-0001-6415-0241

**How to Cite:** Çakır A, Koçkanat S (2024) Notch Filter Design with the Help of Modified Artificial Bee Colony (MABC) Algorithm to Eliminate Network Noise on the ECG Signal, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 78-84

## Giriş

Modern tıbbın gelişmesiyle birlikte elektrokardiyografi (EKG), elektroensefalografi (EEG) ve Elektromiyografi (EMG) gibi biyomedikal sinyallerin doğru analizi hastalık teşhisi ve diğer tüm sağlık ihtiyaçları çerçevesinde büyük önem kazanmıştır. Biyomedikal sinyallerin hastalık teşhisinde kullanılmak üzere doğru analizi için bu sinyallerin hassas şekilde filtrelenerek bozucu etkilerden arındırılması gerekmektedir. Biyomedikal sinyallerin filtrelenmesinde pek çok çeşitte filtre tasarımı uygulanmakla birlikte, her filtrenin kullanım alanı farklı olabilmektedir. Bu kullanım alanlarına göre filtre türü seçimi, seçilen filtrenin tasarımı ve yine bu seçilen filtrenin parametre optimizasyonu gerçekleştirilmektedir.

Elektrokardiyografi (EKG), kalp liflerinin kasılmasına ardından da gevşemesine neden olan iyonik akım akışını yansıtan zamanla değişen bir sinyaldir. EKG'nin tek bir normal döngüsü, her kalp atışında meydana gelen ardışık atriyal depolarizasyon/repolarizasyonu ve ventriküler depolarizasyon/repolarizasyonu temsil eder. Bunlar resim 1'de gösterildiği gibi P, Q, R, S ve T işaretli EKG dalga formunun tepe ve dip noktalarıyla yaklaşık olarak ilişkilendirilebilir [1].

Genel olarak sinyal işlemenin zengin bir geçmişi vardır ve önemi biyomedikal mühendisliği, akustik, sonar, radar, sismoloji, konuşma iletişimi, veri iletişimi, nükleer bilim ve daha birçok farklı alanda açıkça görülmektedir. Birçok uygulamada, örneğin; elektroensefalografi (EEG) ve elektrokardiyografi (EKG) analizinde veya konuşma işlemede, bazı karakteristik parametrelerin çıkarılması için kullanılabilir [2].

Biyomedikal sinyallerin gürültüden arındırılarak temiz bir sinyal haline dönüştürülmesi için yapılacak adımların sırası şu şekildedir; verilerin 50 Hz şebeke gürültüsünden kurtarılması için çentik filtreden geçirilmesi, örnek sayısı düşürülerek gereksiz frekans bileşenlerinin atılması, verilerin uygun analiz yöntemi için ön işlemde geçirilerek sınıflandırılması, sonuçların elde edilmesi ve raporlanmasıdır [3].

Elektrokardiyografi (EKG), kalp fonksiyonlarının incelenmesi sırasında kullanılan oldukça önemli bir sinyaldir. Bir biyomedikal sinyal olan EKG sinyali üzerindeki şebeke gürültüsü, farklı filtreleme yöntemleriyle giderilmektedir. Bu yöntemler arasında alçak geçiren filtre, yüksek geçiren filtre, bant geçiren filtre ve bant durduran (çentik) filtre bulunmaktadır.

EKG sinyalinin az gürültülü durumundaki filtre tasarımında, küçük bir pencere içinde yerel maksimumları arayan basit bir algoritma filtre katsayılarının belirlenmesinde yeterlidir. Gürültülü ve artefaktlı EKG'ler için daha karmaşık yöntemlerin kullanılması gerekli olabilir [4-5].

Çentik filtreler, belirli frekans bileşenlerinin ortadan kaldırılması gereken birçok uygulamada kullanışlıdır. Örneğin; enstrümantasyon ve kayıt sistemlerinde, 50

Hz'lik gürültü bileşenlerinin yok edilmesi ve enerji hatlarında 60 Hz'lik harmoniklerin ortadan kaldırılmasını gerektirir [6]. Çentik filtre, bazı ülkelerde 50 Hz bazı ülkelerde 60 Hz olan, güç hattı frekansından kaynaklanan paraziti azaltmak için tasarlanmaktadır.

Bir çentik filtre sistemi, genlik yanıtında bir çentiğe sahip olan sistemdir. Beklenebileceği gibi böyle bir yanıt, birim çember üzerine karmaşık-eşlenik bir sıfır çifti yerleştirilerek elde edilebilir. Böyle bir sistemin transfer fonksiyonu,

$$H_N(z) = \frac{z^2 - 2(\cos \psi)z + 1}{z^2 - 2r(\cos \theta)z + r^2} \quad (1)$$

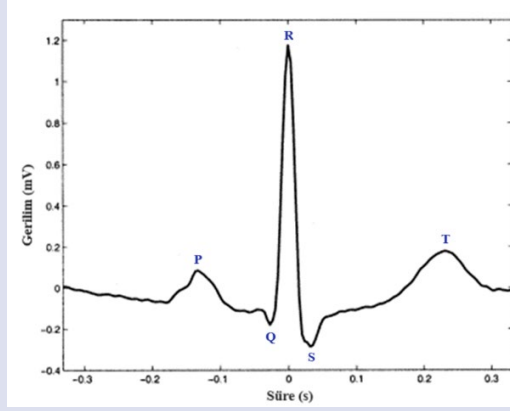
formunda gösterilmektedir [7].

Bir çentik filtrenin en önemli parametreleri arasında; derinlik, frekans, bant genişliği, ekleme kaybı, seçicilik, reddetme, grup gecikmesi, mekanik değerlendirme [8] sayılabilir.

Çentik filtrenin temel özellikleri arasında merkez frekans, bant genişliği ve derinlik bulunmaktadır. Merkez Frekans (Center Frequency), filtrenin en yüksek zayıflamayı sağladığı frekanstır [9]. Bant Genişliği (Bandwidth), çentik filtresinin etkili olduğu frekans aralığıdır [6]. Derinlik (Depth), belirli bir frekanstaki zayıflama derecesidir ve genellikle desibel (dB) cinsinden ifade edilir [10].

Çentik filtrenin gürültü azaltma, telekomünikasyon, tıbbi cihazlar, ses işleme, endüstriyel uygulamalar gibi kullanım alanları bulunmaktadır. Her uygulama alanında en etkili çentik filtrenin tasarlanması için değerleri ayrı ayrı optimize etmek gerekmektedir. Gürültü Azaltma, güç hattı gürültüsü gibi belirli frekanslarda oluşan parazitleri ortadan kaldırmak için kullanılır. Örneğin, 50 Hz veya 60 Hz frekansındaki güç hattı gürültüsünü bastırmak için çentik filtreler kullanılabilir [9]. Telekomünikasyonda, belirli kanal veya frekansların parazitini önlemek için çentik filtreler kullanılabilir. Bu, iletişim sinyallerinin temizlenmesine yardımcı olur [6]. Elektrokardiyografi (EKG) ve elektroensefalografi (EEG) gibi tıbbi cihazlarda, güç hattı gürültüsünü (50/60 Hz) filtrelemek için çentik filtreler kullanılır [11]. Ses işlemede, mikrofonlar veya hoparlörlerde belirli frekanslardaki istenmeyen sesleri (örneğin, geri besleme) azaltmak için çentik filtreler kullanılabilir [10]. Endüstriyel Uygulamalarda, makinelerdeki veya motorlardaki belirli frekanslardaki titreşimleri ve gürültüleri bastırmak için kullanılır [10].

Bu çalışmada, biyomedikal sinyallerin en sık kullanılanlarından biri olan EKG sinyalinin üzerindeki 50 Hz'lik şebeke gürültüsünü gidermek için çentik filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Süzgeç tasarımında filtre katsayılarını optimize etmek amacı ile modifiye yapay arı kolonisi (MABC) algoritması kullanılmıştır. Elde edilen filtre katsayıları kullanılarak bir çentik filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. 50 Hz şebeke gürültüsüyle kirlenmiş EKG sinyali çentik filtreye uygulanarak, filtrenin çıkışında şebeke gürültüsünden temizlenmiş bir EKG sinyali elde edilip filtre performansı incelenmiştir.



Resim 1. Normal bir insandan kaydedilen EKG'nin ortalama PQRST kompleksinin morfolojisi [1]  
Figure 1. Morphology of the average PQRST complex of the ECG recorded from a normal person [1]

### Modifiye ABC Algoritması

ABC algoritması, bal arılarının yaşam alanlarında yeni yiyecek arayışlarını popülasyon tabanlı olarak simüle eden bir akıllı sürü algoritmasıdır. Bu algoritmada bir arı kovani üç çeşit bal arısı ile modellenmiştir; işçi arılar, gözcü arılar ve kâşif arılar. Kısaca işçi arılar yeni besin kaynaklarının bulunduğu bölgeye gönderilir. Besin kaynaklarının nektar miktarı işçi arılar tarafından hesaplanır. Kovan çevrildikten sonra besin kaynağı bilgileri kovanda bekleyen gözcü arılarla paylaşılır. Gözcü arılar yeni besin kaynaklarını bu bilgilere göre seçerler. İşçi ve gözcü arıların görevleri sonunda kâşif arılar ortaya çıkar ve yeni yiyecek kaynaklarını rastgele seçerler. Böylece besin kaynaklarında arıcılık aşamalarının tamamı ardı ardına gerçekleşir [12].

ABC algoritmasının temel versiyonu, diğer metasezgisel algoritmalarla karşılaştırıldığında çok boyutlu ve çok modlu problemlerin çözümünde etkin ve doğru bir performans göstermektedir. ABC algoritmasının literatüre sunulmasının ardından, Akay ve Karaboğa tarafından kısıtlı ve diğer optimizasyon problemlerinde zayıf yakınsama oranının iyileştirilmesi için modifiye ABC (MABC) algoritması adı verilen yeni bir versiyon başarıyla önerilmiştir [13-14].

MABC algoritmasına ait kod aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

1. **Begin**
2. Set control parameters and initialization solution population
3. Evaluation solutions
4. cycle = 1
5. **repeat**
6. Employed bees phase (With modified phase)
7. Calculate probabilities for onlookers
8. Onlooker bees phase
9. Scout bees phase
10. Memorize the best solution
11. cycle = cycle + 1
12. **until** cycle = maximum cycle number
13. **End**

Temel ABC algoritmasının pertürbasyon sürecinde yapılan bazı değişikliklerden sonra MABC algoritması, hem temel hem de hibrit test fonksiyonları için en son önerilmiş

algoritmalarla karşılaştırıldığında başarılı sonuçlar sunmaktadır. Temel ABC algoritmasından farklı olarak MABC algoritmasının dört kontrol parametresi vardır; koloni boyutu, limit, maksimum döngü sayısı ve değişiklik oranı. Özellikle temel ABC algoritmasından farklı olarak, değişiklik oranı, işçi ve gözcü arı aşamalarında yeni bir yiyecek kaynağının komşu kaynak konumunu kontrol etmekte ve MABC algoritmasına iyi bir yakınsama oranı kazandırmaktadır [12].

### MABC Algoritması Kullanılarak Önerilen Çentik Filtre Tasarım Yaklaşımı

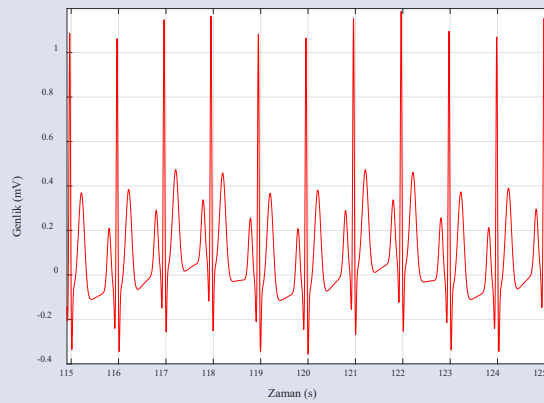
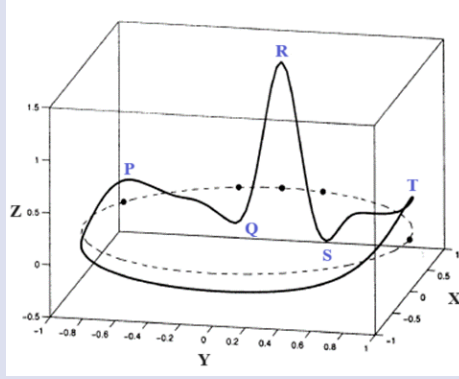
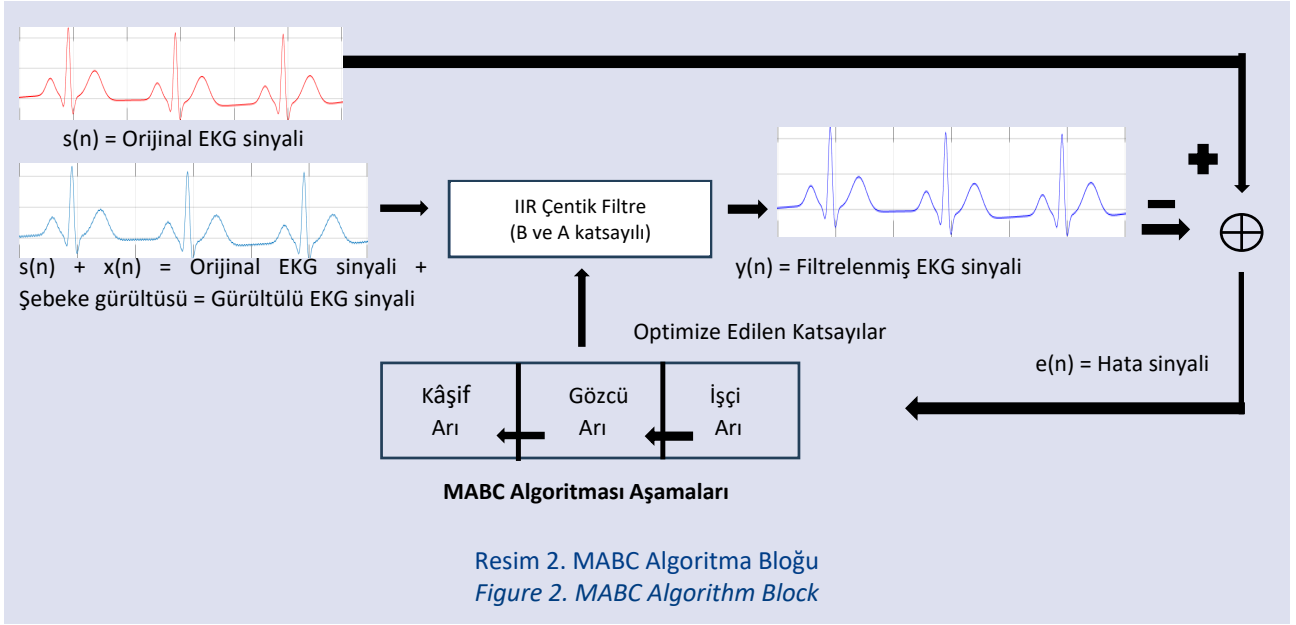
Çentik filtre tasarımında parametre değerlerini optimize eden modifiye yapay arı kolonisi (MABC) algoritmasının çalışması sırasında izlenen adımlar önem arz etmektedir. Bu çalışma sırasında kullanılan MABC algoritmasına ait algoritma bloğu resim 2'de verilmiştir.

Blok diyagramdaki,  $s(n)$  üretilen orijinal EKG sinyalini,  $x(n)$  50 Hz şebeke gürültüsünü,  $s(n) + x(n)$  50 Hz şebeke gürültüsüyle kirlenmiş sentetik EKG sinyalini,  $y(n)$  MABC algoritması ile parametreleri optimize edilen IIR Çentik Filtre tarafından süzgeçten geçirilmiş ve 50 Hz şebeke gürültüsünden arındırılmış EKG sinyalini,  $e(n)$  üretilen orijinal EKG sinyalinden süzgeçten geçirilmiş EKG sinyalinin çıkarılması sonucu elde edilen hata sinyalini ifade etmektedir.

### Bulgular

Bu çalışmada, sentetik EKG sinyali üretilmesi aşamasında faydalanılmak üzere bir model kullanılmıştır. Kullanılan bu model,  $(x, y, z)$  koordinatlarına sahip üç boyutlu (3-B) durum uzayında bir yörünge oluşturur. EKG'nin yarı periyodikliği, yörüngeyi  $(x, y)$  düzlemindeki birim yarıçapın çekici bir sınır döngüsü etrafındaki hareketi ile yansıtılır. Bu daire üzerindeki her devir bir RR aralığı veya kalp atışına karşılık gelir. EKG'deki aralar arası varyasyon, yörüngeyi  $z$  yönündeki hareketi kullanılarak yeniden üretilir. EKG'deki P, Q, R, S ve T gibi farklı noktalar,  $z$  yönünde negatif ve pozitif çekicilere/iticilere karşılık gelen olaylarla tanımlanır. Bu olaylar  $Q_P$ ,  $Q_Q$ ,  $Q_R$ ,  $Q_S$  ve  $Q_T$  tarafından verilen birim çember boyunca sabit açılarda yerleştirilir [15]. Bu model resim 3'te gösterilmektedir.



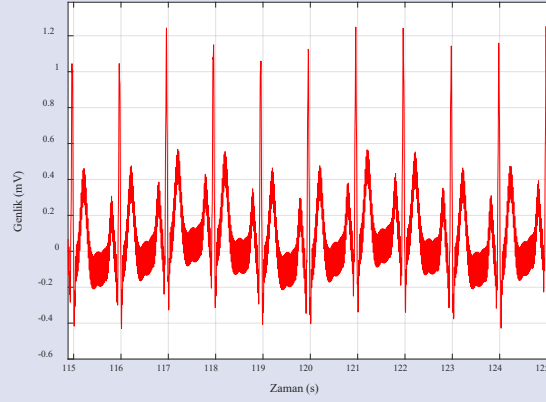


Sentetik olarak üretilen ve P dalgası, QRS kompleksi, T dalgası ve ST segmentine sahip olan EKG sinyalinin yapısal özellikleri arasında ortalaması sıfır, örnekleme frekansı 256 Hz, örnek sayısı 256, genliği -0.4 ile +1.2 mV değerleri bulunmaktadır. Sentetik olarak üretilen sinyalin ve diğer tüm

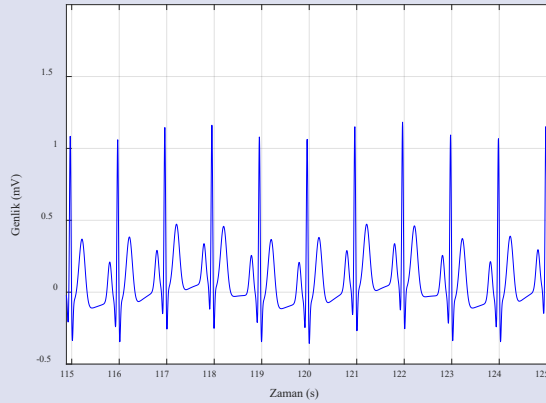
sinyallerin açık ve doğru bir şekilde incelenebilmesi için, yalnızca 115 ile 125 saniye aralığındaki sinyallerin grafiksel gösterimi kullanılmıştır. Üretilen EKG sinyali, şekil 4'te verilmiştir.

Elde edilen bu ham EKG sinyali üzerine 50 Hz şebeke gürültüsü eklenerek gürültülü EKG sinyali elde edilir. 50 Hz şebeke gürültüsüyle kirlenmiş EKG sinyali resim 5'teki gibidir.

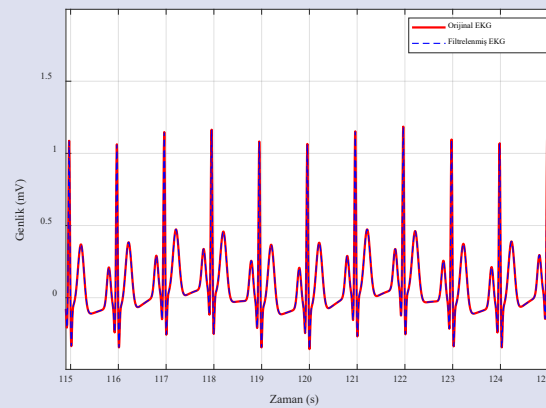
50 Hz şebeke gürültüsüyle kirlenmiş sinyali, MABC algoritması ile parametreleri optimize edilen IIR Çentik Filtreden geçirdikten sonra elde edilen filtrelenmiş temiz EKG sinyali resim 6'da gösterilmektedir.



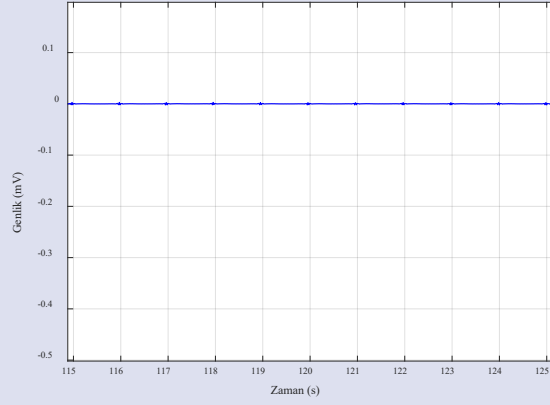
Resim 5. Gürültülü EKG sinyali (50 Hz şebeke gürültüsü eklenmiş EKG sinyali)  
Figure 5. Noisy ECG signal (ECG signal with 50 Hz grid noise added)



Resim 6. MABC algoritması ile filtrelenmiş EKG sinyali  
Figure 6. ECG signal filtered with MABC algorithm



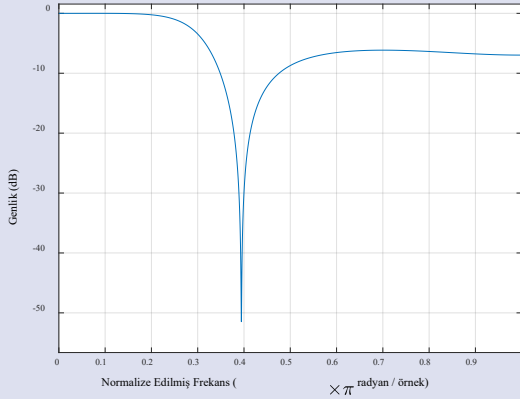
Resim 7. Orijinal ve filtrelenmiş EKG sinyali  
Figure 7. Original and filtered ECG signal



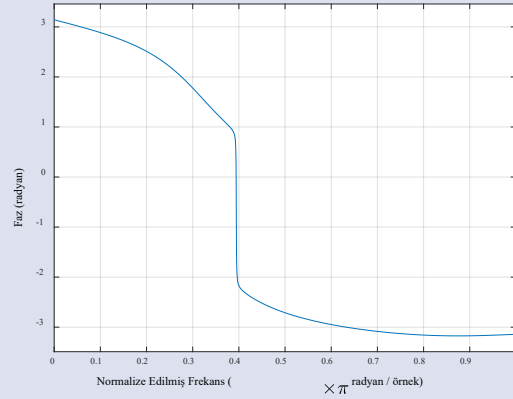
Resim 8. Hata sinyali  
Figure 8. Error signal

Üretilen orijinal sentetik EKG sinyali ile filtrelenerek şebeke gürültüsünden arındırılan sinyal arasındaki farkın ne kadar az olduğunu görebilmemiz için, üretilen orijinal sentetik EKG sinyali ile filtrelenmiş EKG sinyali resim 7'de üst üste çizdirilerek gösterilmiştir.

Elde edilen hata sinyalinin oldukça küçük olması MABC algoritması tarafından tasarlanan IIR Çentik Filtre performansının iyi olduğunu göstermektedir. MABC algoritmasıyla tasarlanan IIR Çentik Filtresine ait genlik cevabı resim 9'da, faz cevabı resim 10'da gösterilmektedir.



Resim 9. Genlik cevabı (dB)  
Figure 9. Magnitude response (dB)



Resim 10. Faz cevabı (dB)  
Figure 10. Phase response (dB)

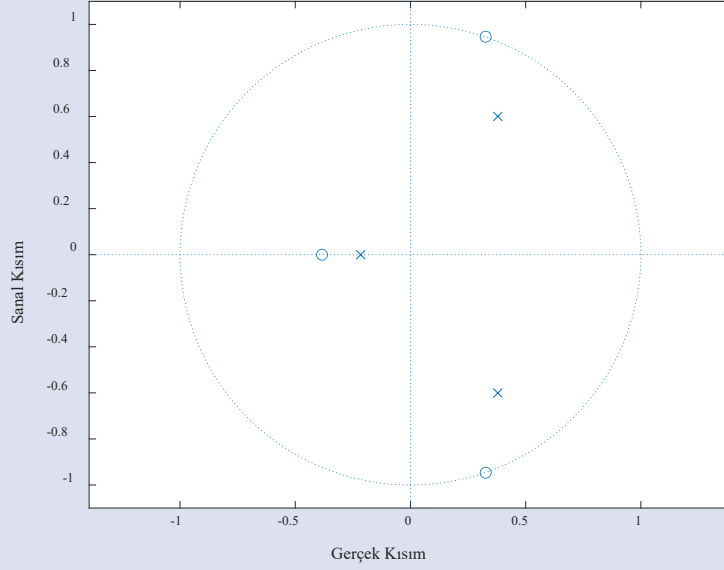
Optimize edilen IIR Çentik Filtreye ait katsayılar çizelge 1'de gösterilmektedir.

Tasarlanan IIR Çentik Filtrenin katsayılarına bağlı olarak çizilmiş birim çember resim 11'de gösterilmektedir.

Resim 11 incelendiğinde kutuplar ve sıfırlar birim çemberin içerisinde olduğundan, tasarlanan IIR çentik filtrenin kararlılığı açıkça görülmektedir.

B0	B1	B2	B3	A0	A1	A2	A3
-0.8271	0.0389	-0.5287	-0.4923	1.0000	0.2405	0.0605	0.5083

Çizelge 1. Katsayı parametreleri (B, A)  
Table 1. Coefficient parameters (B, A)



Resim 11. Birim çember (Kutup-Sıfır)  
Figure 11. Unit circle (Pole-Zero)

Birim çemberdeki kutup-sıfırların, birim çemberin içinde olması sistemin kararlı olduğunu göstermektedir.

### Sonuç

Bu çalışmada, sentetik olarak üretilen EKG sinyaline daha önceki bölümlerde anlatıldığı üzere, önce 50 Hz şebeke gürültüsü eklenmiştir. Ardından bu şebeke gürültüsü modifiye yapay arı kolonisi (MABC) algoritması tarafından parametreleri optimize edilen IIR Çentik Filtre ile gürültüden arındırılmıştır. Daha sonra orijinal EKG sinyali ile filtrelenmiş EKG sinyali arasındaki fark iki ayrı şekilde gösterilmiştir. Çalışmada, 3. dereceden bir çentik filtre kullanılarak 50 Hz'lik şebeke gürültüsü, EKG sinyali üzerinden başarıyla arındırılmış ve temizlenmiş bir EKG sinyali elde edilmiştir. Sonraki çalışmalarda, EKG sinyali üzerindeki 50 Hz şebeke gürültüsünün MABC algoritması ile tasarlanan çentik filtre ile giderilmesinin yanı sıra, diğer girişim ve gürültülerin de giderilmesi adına bu çalışmanın kapsamı genişletilecektir.

### Teşekkür

Çalışmamızı değerlendiren ve olumlu katkılarıyla, çalışmamızın daha iyi noktalara gelmesini sağlayan hakemlerimize teşekkür ederim.

### Referanslar

- [1] McSharry PE, Clifford GD, Tarassenko L, Smith L. A dynamical model for generating synthetic electrocardiogram signals. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 50(3): 289-294; March 2003.
- [2] Geeta Kadam, P.C.Bhaskar. Reduction of power line interference in ecg signal using fir filter. Ms. Geeta Kadam,

Prof.P.C.Bhaskar /International Journal Of Computational Engineering Research / ISSN: 2250–3005

- [3] Taşkıran U., Temporomandibular eklem bozukluklarının belirlenmesinde sinyal işleme ve yapay zekâ teknikleri kullanılması, Doktora Tezi, sf. 45.
- [4] J. Pan and W. J. Tompkins, "A real-time QRS detection algorithm." IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-32, pp. 220-236, Mar. 1985.
- [5] D. T. Kaplan, "Simultaneous QORS detection and feature extraction using simple matched filter basis functions," in Computers in Cardiology. Los Alamitos, CA: IEEE Comput. Soc. Press, 1991, pp.503-506.
- [6] Proakis, J. G., & Manolakis, D. G. (2006). Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications.
- [7] Andreas Antoniou, (2006). Digital Signal Processing. Signal, System and Filters.
- [8] [Artech House microwave library] Djurdj Budimir - Generalized filter design by computer optimization (1998, Artech House) - libgen.li
- [9] Haykin, S., & Van Veen, B. (2005). Signals and Systems.
- [10] Mitra, S. K. (2005). Digital Signal Processing: A Computer-Based Approach.
- [11] Oppenheim, A. V., & Schaffer, R. W. (1999). Discrete-Time Signal Processing.
- [12] Yasin Kabalci, Serdar Koçkanat, Ersan Kabalci. "Güç sistemi harmonik tahmin problemleri için değiştirilmiş bir ABC algoritması yaklaşımı"
- [13] D. Karaboğa, B. Akay, Kısıtlı optimizasyon problemleri için değiştirilmiş bir yapay arı kolonisi algoritması, Uyg. Yumuşak Bilgisayar. 11 (2011) 3021–3031.
- [14] B. Akay, D. Karaboğa, Gerçek parametre optimizasyonu için değiştirilmiş bir Yapay Arı Kolonisi algoritması, Inf. Bilim. 192 (2012) 120–142.
- [15] Patrick E. McSharry, Gari D. Clifford, Lionel Tarassenko, and Leonard A. Smith. A Dynamical Model for Generating Synthetic Electrocardiogram Signals. (2003)



## Use of the quality function deployment method for decision making in risk assessment processes

Murat Bostancıoğlu<sup>1,a,\*</sup>, Mustafa Keren<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sivas, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Kahramanmaraş, TÜRKİYE

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 01/08/2024

Accepted: 04/09/2024

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

The rapid increase in the construction sector in recent years also has an impact on occupational accidents. Therefore, the importance of Occupational Health and Safety (OHS) and risk assessment is gradually increasing. With a good risk assessment, it is possible to minimize accidents and casualties.

Quality Function Deployment (QFD) method is an analysis system that determines the shaping of any product or system from the design stage to customer requirements. The method relates the matrix system called the "Quality House with the customer requirements and the technical specifications required to meet these requirements. In this way, it is ensured that customer requests can be responded more effectively by determining which technical feature is the priority.

In this study, risk analysis for a construction company was made by using L Type Matrix, Fine-Kinney and Fault Modes and Effects Analysis (FMEA) methods and the results were compared with KFY technique. In this way, the effect of the analysis method used for risk analysis on the risk hierarchy was investigated and at the same time a new method was proposed by using the PFM method together with a risk analysis method and sorting the measures to be taken according to their importance.

**Keywords:** Risk assessment; quality function deployment; FMEA; Fine-Kinney; L type matrix; occupational health and safety

## Kalite fonksiyon yayılımı yönteminin risk değerlendirme süreçlerinde karar verme amacıyla kullanımı

#### Süreç

Geliş: 01/08/2024

Kabul: 04/09/2024

#### Öz

İnşaat sektöründe son yıllardaki hızlı artış iş kazalarında da etkisini göstermektedir. Bu nedenle İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) ve risk değerlendirmesinin önemi giderek artmaktadır. İyi bir risk değerlendirmesi ile yaşanan kazaların ve buna bağlı can kayıplarının en aza indirilmesi mümkündür.

Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) yöntemi herhangi bir ürün ya da sistemin tasarım aşamasından başlanarak müşteri istekleri doğrultusunda şekillendirilmesini sağlayan bir analiz sistemidir. Yöntem "Kalite Evi" adı verilen matris sistemi ile müşteri istekleri ve bu istekleri karşılamak için gerekli teknik özellikleri ilişkilendirir. Bu sayede hangi teknik özelliğin öncelikli olduğu belirlenerek müşteri isteklerine daha etkin bir şekilde cevap verilmesi sağlanır.

Bu çalışmada bir inşaat firması için risk analizi L Tipi Matris, Fine-Kinney ve Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) metotları ile yapılarak sonuçlar KFY tekniği ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede risk analizi için kullanılan analiz metodunun risk hiyerarşisine etkisi araştırılmış ve aynı zamanda KFY yöntemi bir risk analiz yöntemiyle birlikte kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Risk Değerlendirme; kalite fonksiyon yayılımı; HTEA; Fine-Kinney; L tipi matris, iş sağlığı ve güvenliği

<sup>a</sup> [bostancioglu@cumhuriyet.edu.tr](mailto:bostancioglu@cumhuriyet.edu.tr)

<sup>id</sup> 0000-0001-6820-2213

<sup>b</sup> [mustafakeren@hotmail.com](mailto:mustafakeren@hotmail.com)

<sup>id</sup> 0009-0005-0238-0160

**How to Cite:** Bostancıoğlu M, Keren M (2024) Use of the quality function deployment method for decision making in risk assessment processes, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 85-94

## Giriş

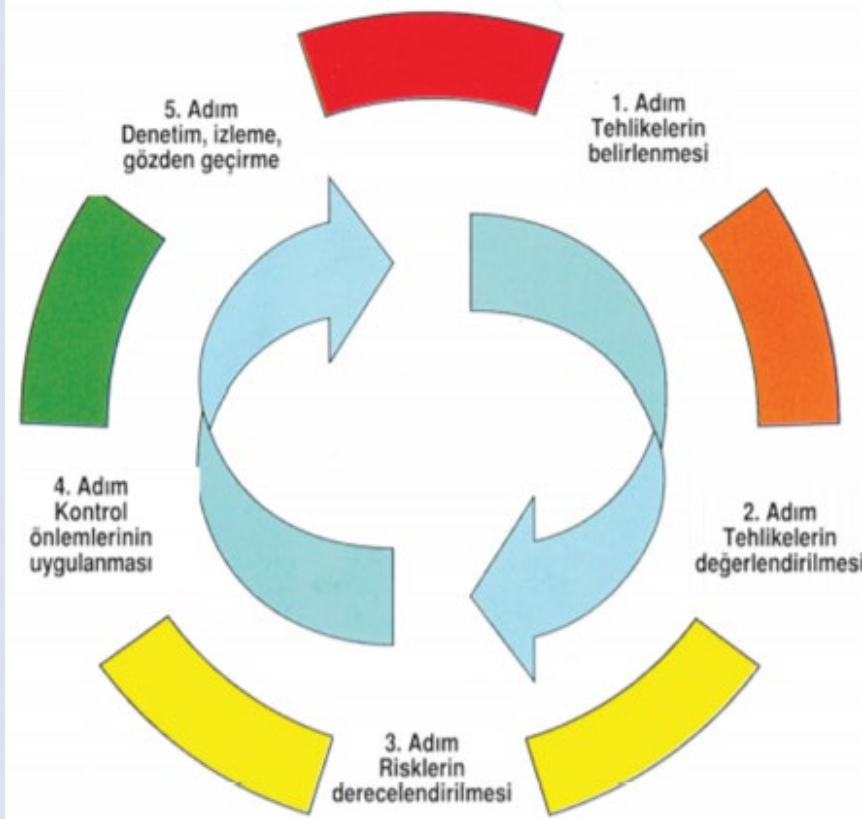
İş Sağlığı ve Güvenliği, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslar Arası Çalışma Örgütü (ILO) tarafından “Çalışanların bedensel, ruhsal ve sosyal yönden tam iyilik hallerinin korunması ve geliştirilmesi olarak tanımlanmıştır. Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından 2008 yılında yayınlanan TS18001 standardında ise “Çalışanların, geçici işçi ve yüklenici personelinin, ziyaretçi ve çalışma alanındaki diğer insanların sağlık ve güvenliğini etkileyen veya etkilemesi muhtemel şartlar” olarak tanımlanmıştır [1].

Kısaca İSG için yürütülmesi sırasında iş yerindeki tehlikelere bağlı ortaya çıkan risklerin ortadan kaldırılması veya kabul edilebilir seviyeye indirilmesi için yapılan sistematik çalışmaların tümü şeklinde tanımlanabilir. İSG'nin genel amacı çalışana, çalışan yakınlarına ve işyerine gelebilecek fiziksel ve ruhsal zararların azaltılması ve böylece hem topluma hem de ülke ekonomisine katkı sağlanmasıdır [2,3].

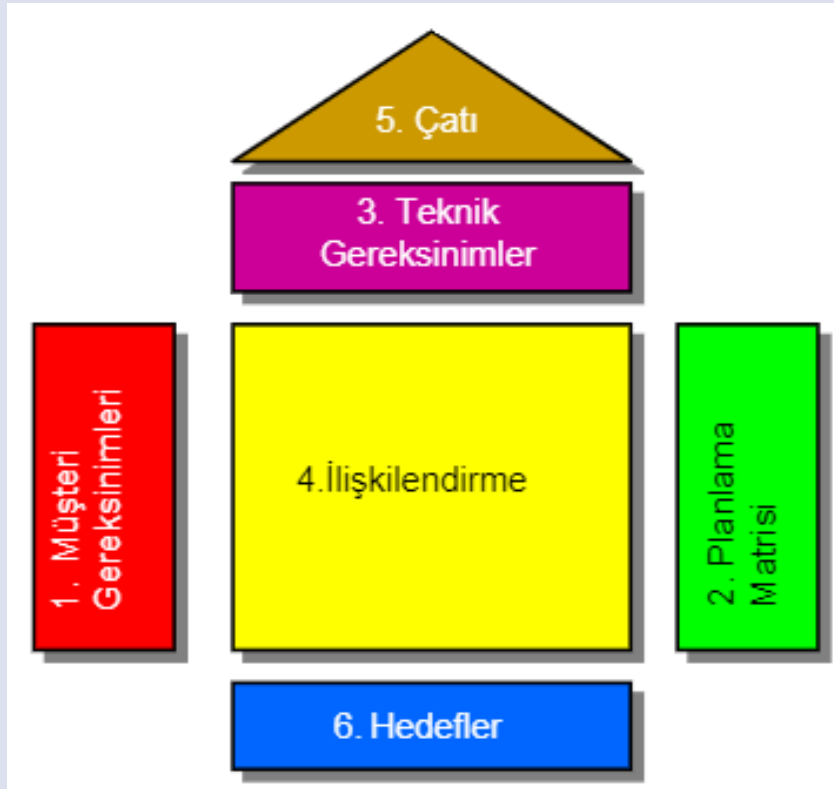
Ülkemizde 2012 yılında yürürlüğe giren 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu tüm çalışanları kapsayan, müstakil bir İSG kanunudur. Kanun iş kazası ve meslek hastalıklarına karşı zarar ortaya çıkmadan önce önlem alan proaktif bir yaklaşım benimsemeyerek sorunu değil sorumluyu veya sebebi bulmayı amaçlamaktadır. 6331

sayılı İSG kanununda “çalışma ortamında bulunan risklerin önlenmesi ve/veya önlenemeyen riskleri asgari seviyeye indirerek sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamının sağlanması” vurgusu yapılmaktadır. Söz konusu durum ancak risk değerlendirmesiyle gerçekleştirilebileceğinden tüm işletmeler için risk değerlendirme çalışması zorunlu hale getirilmiştir [4,5]. Risk değerlendirmesinin usul ve esasları 19.12.2012 tarihinde yürürlüğe giren “İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Yönetmeliği” ile belirtilmiştir [6].

İş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesinde risk değerlendirmesi büyük önem arz etmektedir. İşin yapısına uygun ve doğru metodların seçildiği bir risk değerlendirmesi tehlikeleri belirleyecek ve riskleri öngörebilecektir. Risk değerlendirme sürecinde ilk olarak iş yerindeki tehlikeler ve tehlikelerden doğan riskler belirlenir ve risklerin büyüklükleri nitel veya nicel olarak derecelendirilerek kabul edilebilir düzeye indirmek için gereken ilave kontrol önlemleri belirlenir. Bu kontrol önlemlerinin riski istenilen seviyeye indirip indirmediği kontrol edilerek, risk kabul edilebilir seviyeye gelene kadar bu işleme devam edilir. Risk değerlendirmede bu aşamalar, Deming'in (1993) [7], Toplam kalite yönetimi için belirttiği “PUKÖ Döngüsü” olarak bilinen Planla, Uygula, Kontrol et ve Önlem al işlemlerinin İSG'ye uyarlamasıdır (Şekil 1) [8,9].



Resim 1. Risk değerlendirme aşamaları [7]  
Figure 1. Risk assessment stages [7]



Resim 2. Kalite evi [15]  
Figure 2. House of quality [15]

Risk değerlendirme için kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler kabaca nicel (kantitatif) ve nitel (kalitatif) olarak iki ana gruba ayrılır. Nicel risk analiz yöntemlerinde, risk skoru hesaplanırken sayısal yöntemlere başvurulur. Riskin olma ihtimali, olduğunda meydana gelecek hasarın şiddeti gibi risk bileşenlerine sayısal değerler verilir ve bu değerler matematiksel ve mantıksal metotlar ile işlem görüp risk değeri bulunur. Kalitatif risk analizi, tanımlanan risklerin olasılık ve etkilerinin niteliksel analiz metotları kullanılarak değerlendirildiği bir süreçtir. Genelde risk seviyesinin belirlenmesinde kullanılır. Kalitatif risk analizi, riski tanımlamak için yapılan eleme çalışmasında veya kantitatif analizde ihtiyaç duyulan miktarda sayısal veri bulunmadığında yapılır. L tipi matris yöntemi, Fine-Kinney yöntemi, hata türleri ve etkileri analizi, X tipi matris yöntemleri sıklıkla kullanılan nicel yöntemler olarak sayılabilir. Ön tehlike analizi, tehlike ve işletilebilirlik yöntemi, olursa ne olur yöntemi, neden sonuç analizi ve hata ağacı analizi ise literatürde sıklıkla kullanılan nitel yöntemler arasında sayılabilir [2,8,10-14].

Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) ilk olarak 1970'li yılların başlarında Japonya'da Mitsubishi'nin Kobe tersanesinde gemilerin tasarımında kullanılmıştır. Daha sonraları metot Japonya'da otomotiv, elektronik, tarım makineleri gibi birçok sektörde üreticiler tarafından kullanılmıştır. Ayrıca alışveriş merkezleri ve yeni apartmanların yerleşim planlarının hazırlanması gibi birçok alanda KFY'den faydalanılmıştır. Yöntem 1980'lerin sonlarına doğru Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'de yoğun olarak kullanılmaya başlamıştır. KFY müşteri ihtiyaç ve beklentilerini belirleyerek

bu ihtiyaçların nasıl karşılanacağını gösteren bir çizgisel analiz tekniğidir. KFY'nin amacı ürün geliştirme aşamasında müşterinin talep ve beklentilerini belirleyip analiz etmek ve bu talepleri en iyi şekilde karşılayarak bunun ilerisine geçmektir. KFY asıl olarak ürün geliştirme, kalite yönetimi ve müşteri istekleri analizi süreçlerinde kullanılan bir yöntem olsa da daha sonraları yöntem genişletilmiş ve tasarım, planlama, mühendislik, kara verme, yönetim, zamanlama ve maliyet gibi amaçlar için de kullanılmaya başlanmıştır.

KFY'nin temel dizayn aracı kalite evidir (Şekil 2), kalite evi, müşteri beklentileri (NE'ler) ile bu beklentileri karşılayacak teknik özelliklerin (NASIL'lar) ilişkilendirilmesini sağlayan bir matris sistemidir. Kalite evi oluşturulurken aşağıdaki sorulara cevap aranır [15-17];

- Müşteri beklentileri nelerdir?
- Beklentilerin önem dereceleri aynı mıdır?
- Beklentileri karşılamak ürüne bir katkı sağlar mı?
- Üründe nasıl değişiklik yapılabilir?
- Bir teknik özelliğin değişimi diğer özellikleri nasıl etkiler?

Kalite evi oluşturulurken ilk adım müşteri beklentilerinin (NE'ler) belirlenmesidir. Bunun için yüz yüze görüşme, anket, pazar araştırmaları gibi yöntemlerle müşterilerin üründen beklentileri sağlıklı bir şekilde belirlenerek matrisin NE'ler kısmına yazılır (Şekil 2'de 1 numaralı bölüm). Kalite evinin amacı müşterilerin beklentilerini karşılayacak ürünü tasarlamak ya da mevcut ürünü müşterilerin istekleri doğrultusunda geliştirmektir. Bunun için müşteri isteklerinin teknik gereksinimlere (NASIL'lar) (Şekil 2'de 3 numaralı

bölüm) dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu tanımlar kalite evinin ikinci katını oluşturur [16]. İlişkilendirme bölümünde (Şekil 2'de 4 numaralı bölüm), teknik gereksinimlerin, her bir müşteri isteğini nasıl etkilediği gösterilmektedir [18]. Bu bölüme yapılan çalışmaların müşteri isteklerini ne kadar karşıladığının sayısallaştırması denilebilir [16]. NE'ler ve NASIL'lar arasındaki ilişkinin derecesine bağlı olarak ilişki katsayıları Amerikan sisteminde güçlü, orta ve zayıf ilişki için sırasıyla 9, 3 ve 1 olarak, Japon sisteminde ise 5, 3 ve 1 olarak kullanılmaktadır [19]. Kalite evinin çatısını oluşturan korelasyon matrisi teknik özelliklerin birbirlerine olan olumlu veya olumsuz etkilerini göstermek için kullanılır. Korelasyon matrisinde güçlü, orta ve zayıf ilişkiler için sırasıyla 9,3 ve 1 katsayıları kullanılır [16]. Kalite evinin sağ tarafında yer alan planlama matrisi ile firma kendisinin ve rakiplerinin müşteri isteklerini karşılama durumlarını değerlendirir [20]. Kalite evi oluşturulurken sistemi oluşturan tüm bölümlerin kullanılması gerekmez. Hangi bölümlerin oluşturulacağına harcanacak zaman ve para ile yapılacak çalışmalar sonucu sağlanacak faydalara göre karar verilir [21].

Bu çalışmada bir inşaat iş yerine ait risk değerlendirme işlemi KFY yöntemi ile yapılmıştır. İş yerine ait riskler kalite evinde NE'ler, alınacak önlemler ise NASIL'lar olarak tanımlanmıştır. Alınacak önlemlerin sıralamasının belirlenmesi için her bir önlemin önem

dereceleri belirlenmiştir. Bu amaçla geleneksel L tipi matris, Fine-Kinney ve HTEA analizleri ile yapılarak elde edilen risk skorları KFY yönteminde sütun ağırlığı olarak kullanılmıştır.

### Materyal ve Yöntem

Bu çalışma kapsamında alt yapı ve üst yapı işleri yapmakta olan orta ölçekli bir inşaat firmasında HTEA, Fine-Kinney ve L Tipi Matris metodlarıyla risk değerlendirme yapılmıştır. Yöntemlere ait olasılık, şiddet, frekans ve fark edilebilirlik parametrelerinin sayısal değerlere dönüştürülmesinde firmadaki İSG uzmanının deneyimlerinden faydalanılmıştır. Her bir risk analizinde elde edilen sonuçlara göre riskler en yüksek risk skoruna sahip olandan başlayarak sıralanmış ve risk gruplarına ayrılmıştır. L tipi matris, Fine-Kinney ve HTEA yöntemlerine ait risk skoru (RS) belirleme denklemleri ve skora bağlı kabul edilebilirlik değerleri sırasıyla Eşitlik 1-3'te ve Çizelge 1-3'te verilmiştir [2,13,14,22-25].

$$RS = O \times \$ \quad (1)$$

$$RS = O \times \$ \times F \quad (2)$$

$$RS = O \times \$ \times FE \quad (3)$$

Eşitliklerde O, riskin oluşma olasılığını, \$, şiddetini, F frekansını ve FE, fark edilebilirliğini temsil etmektedir.

Çizelge 1. L Tipi matris yöntemi kabul edilebilirlik değerleri  
Table 1. L Type matrix method acceptability values

	Zararın Şiddeti				
<b>Zararın Olasılığı</b>	[1]Çok Hafif	[2]Hafif	[3]Orta	[4]Ciddi	[5]Çok Ciddi
[1]Çok Düşük	Önemsiz 1	Düşük 2	Düşük 3	Düşük 4	Düşük 5
[2]Düşük	Düşük 2	Düşük 4	Düşük 6	Orta 8	Orta 10
[3]Orta	Düşük 3	Düşük 6	Orta 9	Orta 12	Yüksek 15
[4]Yüksek	Düşük 4	Orta 8	Orta 12	Yüksek 16	Yüksek 20
[5]Çok Yüksek	Düşük 5	Orta 10	Yüksek 15	Yüksek 20	Durdur 25

Çizelge 2. Fine Kinney yöntemi kabul edilebilirlik değerleri  
Table 2. Fine Kinney method acceptability values

Risk önem derecesi	Risk skoru	Eylem
Tolere Gösterilemez Risk (Durdur)	400<R	Hemen gerekli tedbirler alınmalı ve çalışmaya ara verilmelidir.
Esaslı(Yüksek)	200<R≤400	Kısa vadeli eylem planı alınmalı ve iyileştirme yapılmalıdır.
Önemli(Orta)	70<R≤200	Dikkatli izlenmeli ve uzun sürede iyileştirme yapılmalıdır.
Olası(Düşük)	20<R≤70	Eylem planı denetim ve gözetim altında alınmalıdır.
Önemsiz	R≤ 20	Öncelikli tedbir gerekmez.

Çizelge 3. HTEA yöntemi kabul edilebilirlik değerleri  
Table 3. FMEA method acceptability values

Risk önlem derecesi	Risk skoru	Düzenleyici önleyici faaliyet
Katlanılamaz Riskler [durdur]	RÖS >400	Risk kabul edilebilir bir seviyeye düşürülür. Devam eden bir iş varsa durdurulur, Herhangi bir iş başlatılmaz. Riskin düşürülmesi olası değilse faaliyet engellenir.
Önemli Riskler [yüksek]	100≤ RÖS< 400	Risk azaltılincaya kadar iş başlatılmaz. Devam eden işler durdurulur. Risk için önlemler alınmalı ve önlemler sonucu faaliyetin devamın karar verilmelidir.
Orta Düzeydeki Riskler [orta]	40≤ RÖS<100	Risk değerlerini düşürmek için risk azaltma önlemleri alınır.
Katlanılabilir Riskler [düşük]	10≤RÖS< 40	Mevcut kontroller sürdürülmeli ve kontrollerinde sürdürüldüğü denetlenmelidir. Ek kontrol proseslerine ihtiyaç duyulmayabilir.
Önemsiz Riskler [önemsiz]	RÖS≤ 10	Riskleri yok etmek amacıyla kontrol prosesleri planlamaya ve gerçekleştirilecek faaliyet kayıtlarını biriktirmeye gerek yoktur.



Toplamda belirlenen 94 riskten; HTEA metoduna 27, L tipi matris metodunda 33 ve Fine-Kinney metodunda 27 adet risk “yüksek” ve “durdur” seviyelerinde tespit edilmiş ve kalite evi matrisinin NE’ler bölümüne bu skordaki riskler yazılmıştır. Alınması gereken önlemler ise kalite evinin NASIL bölümünü oluşturmuştur.

Kalite evinin NASIL’lar bölümünde yer alan her bir farklı önlemin hiyerarşik olarak dizilebilmesi için her bir sütunun görelî önem derecesinin (GÖD<sub>i</sub>), her bir satırdaki riskin skoru (RS<sub>i</sub>), Satır Önem Derecesi (ÖD<sub>r</sub>), Sütun Önem Derecesi (ÖD<sub>c</sub>) ve İlişki Derecesi (İD<sub>i</sub>) değerleri dikkate alınarak hesaplanması gerekir (Eşitlik 4-6).

$$\text{ÖD}_r = \frac{RS_i}{\sum RS_i} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{ÖD}_c = \sum \text{ÖD}_r \times \text{İD}_i \quad (5)$$

$$\text{GÖD}_i = \frac{\text{ÖD}_c}{\sum \text{ÖD}_c} \times 100 \quad (6)$$

KFY yaklaşımında NE ve NASIL’lar matrise yerleştirildikten sonra aralarındaki ilişki dereceleri uzman görüşü ve deneyime bağlı olarak 1,3 veya 9 katsayıları ile belirlenir. Aralarında herhangi bir ilişki bulunmayan tehlike ve önlemler için herhangi bir ilişkilendirme yapılmaz yani matrisin bu bölümleri boş bırakılır. Kalite evinin 1,3 ve 4. bölümleri doldurulduktan sonra her bir satırdaki risk için yüzde önem dereceleri, ilgili satırdaki sütun ağırlığının toplam sütun ağırlığına bölünmesi ile elde edilir. Herbir sütundaki önlem için önem derecesi, o sütundaki tüm ilişki derecesi değerlerinin karşılığındaki yüzde önem derecesi ile çarpılıp toplanması sonucu elde edilir. Bütün sütunlar için önem dereceleri elde edildikten sonra, sütun önem

derecesi, önem dereceleri toplamına bölünerek görelî önem derecesi değerleri elde edilir. Görelî önem derecesi alınacak tüm önlemler arasında ilgili sütundaki önlemin öncelik değerini vermektedir. L tipi matris yöntemi için KFY uygulaması EK 1’de verilmiştir.

## Bulgular ve Tartışma

Çalışmada seçilen inşaat iş yeri için belirlenen 94 adet riskten “yüksek” ve “durdur” seviyelerinde belirlenen riskler her bir risk değerlendirme yöntemi için ayrı ayrı olmak üzere Çizelge 4-6’da verilmiştir. L tipi matris yönteminde 25 skoruna sahip 1 risk, 20 skoruna sahip 10 risk, 16 ve 15 skoruna sahip ise 11er adet risk tespit edilmiştir. Diğer bir deyişle 33 adet risk 4 farklı risk skoruna ayrılmıştır. Bu durumda hangi risk için hangi önlemin alınacağına dair net bir bakış açısı söz konusu değildir. Benzer şekilde Fine-Kinney yönteminde riskler 540, 480, 450, 360, 300 ve 270 skorlarına sırasıyla 10, 2, 1, 9, 1 ve 4 adet olmak üzere dağılmıştır. HTEA yönteminde 27 adet risk daha fazla sayıda skora dağılım göstermiş (16 adet) ve risk hiyerarşisi daha net bir şekilde ortaya çıkmıştır.

Risk skorlarının net bir şekilde birbirlerinden ayrılması sebebiyle alınacak önlemlerin önem derecesini belirlemek üzere KFY yöntemi L tipi matris, Fine-Kinney ve HTEA yöntemlerinden elde edilen risk listelerine uygulanmış (EK 1) ve alınacak önlemlere ait GÖD değerleri Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 4. L tipi matris yöntemi risk skoru değerleri

Table 4. L type matrix method risk score values

Tehlike	Risk	O	Ş	RS
Risk Analizinin yapılmaması ve çalışanlara anlatılmaması	Risklerin tanımlanmaması sonucu ölüm,yaralanma	5	5	25
Gerekli iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin alınmamış olması	Bilgisizlik sebebiyle yaşanacak kazalar	4	5	20
İşçilere yapılan iş ve kullanılan ekipmanlarla ilgili bilgi verilmemesi	Bilgisizlik sebebiyle yaşanacak kazalar	4	5	20
KKD kullanılmaması veya uygun olmaması	Yaralanma, ölüm	5	4	20
Yüksekten düşme	Yaralanma, ölüm	5	4	20
Söküm yapılan alanın geçişlere kapatılmaması	Sökülen parçaların çalışanların üzerine düşmesi	4	5	20
Sökümün sistemsiz yapılması	Kalıbın hepsinin çökmesi sonucu yaralanma	4	5	20
Bağlantıların uygun yapılmaması	İskelenin çökmesi	4	5	20
Sökümün bilinçsiz yapılması sonucu iskelenin çökmesi	İşçilerin aşağı düşmesi, diğer işçilerin üzerine düşme	4	5	20
Manhhollerin çok dar olması, ergonomik olmayan çalışma ortamı	İskelet ve kas sistemi rahatsızlıkları	5	4	20
Ortamdaki doğal gaz,elektrik vb. tesisatların ek risk oluşturması	Patlama, yangın, elektrik çarpması	4	5	20
Acil durum uyarı ve ikaz işaretlerinin uygun veya yeterli olmayışı	Çalışanları riskleri görememesi	4	4	16
El aletlerinin bakımsız veya yıpranmış olması	Elektrik çarpması	4	4	16
El aletlerinin zorlanması	Parça fırlamaları	4	4	16
El aletlerinin çalışır vaziyette bırakılması	Diğer çalışanların yaralanması	4	4	16

Hareketli kısımlar	Uzuv kesilmeleri	4	4	16
Manhole'lerin üzerinin açık bırakılması	Yüksekten düşme	4	4	16
Manholelere giriş	Yüksekten düşme	4	4	16
çıkışlarda merdiven kullanılmaması				
İstifleme alanının çalışma alanı içerisinde seçilmesi	Malzemelerin İşçilerin Üzerine Düşmesi	4	4	16
Kazi alanına uygun şev verilmemesi	Kazi alanında toprak kayması/çökmesi	4	4	16
Merdivenlerde uygun olmayan çalışma	Yüksekten düşme	4	4	16
Kolon/kiriş üzerindeki işçinin emniyet kemersiz olması	İşçinin dengesini kaybederek aşağıya düşmesi	4	4	16
Ziyaretçilerin KKD'leri kullanmadan işletme içerisine girmeleri	Ölüm, yaralanma	3	5	15
Çalışanların sahada tespit ettikleri tehlikeleri vb. durumları üst yönetime iletecekleri kayıtlı bir sistemin olmaması	Zamanında müdahale edilememesi sonucu ölüm, yaralanma	3	5	15
Acil durum planının hazırlanmamış olması	Panik veya müdahalede gecikme, yaralanma, ölüm	3	5	15
Acil durum ekiplerinin belirlenmemesi	Panik veya müdahalede gecikme, yaralanma, ölüm	3	5	15
Yangınla mücadele ekipmanlarının uygun ve çalışır vaziyette bulunmaması	Yanma, yangınlar, işyerinde maddi hasar	3	5	15
İskelenin fazla yüklenmesi	İskelenin çökmesi	3	5	15
Manholelerde biriken toz ve gazlar	Solunum yetersizliği zehirlenme	3	5	15
Yanıcı maddelerin yakınında çalışma	Yangın ve patlama	3	5	15
Tüplerin açıkta depolanması	Yangın ve Patlama	3	5	15
İstiflenen malzemeyi tanımlayan bilgilerin olmaması	Patlama ve yangın	3	5	15
Beton dökümü sırasında kalıbın açılması	Yüksekten düşme, diğer işçilerin üzerine düşme, malzemelerin diğer işçilerin üzerine düşmesi	3	5	15

Çizelge 5. Fine-Kinney yöntemi risk skoru değerleri  
Table 5. Fine-Kinney method risk score values

Tehlike	Risk	O	F	Ş	RS
Gerekli iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin alınmamış olması	Bilgisizlik sebebiyle yaşanacak kazalar	6	6	15	540
İşçilere yapılan iş ve kullanılan ekipmanlarla ilgili bilgi verilmemesi	Bilgisizlik sebebiyle yaşanacak kazalar	6	6	15	540
Risk Analizinin yapılmaması ve çalışanlara anlatılmaması	Risklerin tanımlanmaması sonucu ölüm, yaralanma	6	6	15	540
Acil durum uyarı ve ikaz işaretlerinin uygun veya yeterli olmayışı	Çalışanları riskleri görememesi	6	6	15	540
KKD kullanılmaması veya uygun olmaması	Yaralanma, ölüm	6	6	15	540
Yüksekten düşme	Yaralanma, ölüm	6	6	15	540
Sökümün sistemsiz yapılması	Kalıbın hepsinin çökmesi sonucu yaralanma	6	6	15	540
Manhole'lerin üzerinin açık bırakılması	Yüksekten düşme	6	6	15	540
Manholelere giriş çıkışlarda merdiven kullanılmaması	Yüksekten düşme	6	6	15	540
Kolon/kiriş üzerindeki işçinin emniyet kemersiz olması	İşçinin dengesini kaybederek aşağıya düşmesi	6	6	15	540
Ortamdaki doğal gaz, elektrik vb. tesisatların ek risk oluşturması	Patlama, yangın, elektrik çarpması	4	3	40	480
Bağlantıların uygun yapılmaması	İskelenin çökmesi	6	2	40	480
Söküm yapılan alanın geçişlere kapatılmaması	Sökülen parçaların çalışanların üzerine düşmesi	10	3	15	450

Çalışanların sahada tespit ettikleri tehlikeleri vb. durumları üst yönetime iletecekleri kayıtlı bir sistemin olmaması	Zamanında müdahale edilememesi sonucu ölüm, yaralanma	3	3	40	360
Acil durum planının hazırlanmamış olması	Panik veya müdahalede gecikme, yaralanma, ölüm	3	3	40	360
Acil durum ekiplerinin belirlenmemesi	Panik veya müdahalede gecikme, yaralanma, ölüm	3	3	40	360
Sökümün bilinçsiz yapılması sonucu iskelenin çökmesi	İşçilerin aşağı düşmesi, diğer işçilerin üzerine düşme	3	3	40	360
Manholelerde biriken toz ve gazlar	Solunum yetersizliği zehirlenme	3	3	40	360
Yanıcı maddelerin yakınında çalışma	Yangın ve patlama	3	3	40	360
Tüplerin açıkta depolanması	Yangın ve Patlama	3	3	40	360
Kazı alanına uygun şev verilmemesi	Kazı alanında toprak kayması/çökmesi	3	3	40	360
Beton dökümü sırasında kalıbın açılması	Yüksekten düşme, diğer işçilerin üzerine düşme, malzemelerin diğer işçilerin üzerine düşmesi	3	3	40	360
Manhollerin çok dar olması, ergonomik olmayan çalışma ortamı	İskelet ve kas sistemi rahatsızlıkları	10	10	3	300
El aletlerinin bakımsız veya yıpranmış olması	Elektrik çarpması	6	3	15	270
El aletlerinin zorlanması	Parça fırlamaları	6	3	15	270
El aletlerinin çalışır vaziyette bırakılması	Diğer çalışanların yaralanması	6	3	15	270
İstifleme alanının çalışma alanı içerisinde seçilmesi	Malzemelerin İşçilerin Üzerine Düşmesi	6	3	15	270

Çizelge 6. HTEA yöntemi risk skoru değerleri  
Table 6. FMEA method risk score values

Tehlike	Risk	O	FE	Ş	RS
Ortamdaki doğal gaz, elektrik vb. tesisatların ek risk oluşturması	Patlama, yangın, elektrik çarpması	7	8	10	560
Yüksekten düşme	Yaralanma, ölüm	10	7	7	490
Gerekli iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin alınmamış olması	Bilgisizlik sebebiyle yaşanacak kazalar	10	6	8	480
Çalışanların sahada tespit ettikleri tehlikeleri vb. durumları üst yönetime iletecekleri kayıtlı bir sistemin olmaması	Zamanında müdahale edilememesi sonucu ölüm, yaralanma	5	9	10	450
Söküm yapılan alanın geçişlere kapatılmaması	Sökülen parçaların çalışanların üzerine düşmesi	8	7	8	448
İşçilere yapılan iş ve kullanılan ekipmanlarla ilgili bilgi verilmemesi	Bilgisizlik sebebiyle yaşanacak kazalar	10	5	8	400
Risk Analizinin yapılmaması ve çalışanlara anlatılmaması	Risklerin tanımlanmaması sonucu ölüm, yaralanma	8	5	10	400
Sökümün sistemsiz yapılması	Kalıbın hepsinin çökmesi sonucu yaralanma	7	7	8	392
Kalıp malzemelerinin çivilerini sökülmemesi	Çalışanların uzuvlarına çivi batması	10	8	4	320
Acele etme sonucu dikkatsiz davranmak	Uzuv takılması/çarpması ve/veya denge kaybı sonucu yaralanma	10	4	7	280
El aletlerinin bakımsız veya yıpranmış olması	Elektrik çarpması	8	5	7	280
Beton dökümü sırasında kalıbın açılması	Yüksekten düşme, diğer işçilerin üzerine düşme, malzemelerin diğer işçilerin üzerine düşmesi	4	7	10	280

Acil durum uyarı ve ikaz işaretlerinin yeterli olmayışı	Çalışanları riskleri görememesi	4	8	8	256
Manholelerde biriken toz ve gazlar	Solunum yetersizliği zehirlenme	7	4	9	252
Merdivenlerde uygun olmayan çalışma	Yüksekten düşme	9	4	7	252
Sökümün bilinçsiz yapılması sonucu iskelenin çökmesi	İşçilerin aşağı düşmesi, diğer işçilerin üzerine düşme	5	5	10	250
Ortamın tozunun çalışanları etkilemesi	Meslek hastalığı	8	5	6	240
Manhollerin çok dar olması, ergonomik olmayan çalışma ortamı	İskelet ve kas sistemi rahatsızlıkları	10	4	6	240
Kolon/kiriş üzerindeki işçinin emniyet kemersiz olması	İşçinin dengesini kaybederek aşağıya düşmesi	8	4	7	224
Beton dökümünde pompa bomunun hareketi	Bomun işçiye çarpması	8	4	7	224
Acil durum planının hazırlanmamış olması	Panik veya müdahalede gecikme, yaralanma, ölüm	3	8	9	216
Acil durum ekiplerinin belirlenmemesi	Panik veya müdahalede gecikme, yaralanma, ölüm	3	8	9	216
Yangınla mücadele ekipmanlarının uygun ve çalışır vaziyette bulunmaması	Yanma, yanıklar, işyerinde maddi hasar	3	8	9	216
Kazı alanına uygun şev verilmemesi	Kazı alanında toprak kayması/çökmesi	6	4	9	216
Titreşim yapan aletlerle çalışma	Meslek hastalığı	7	5	6	210
Manholelere giriş çıkışlarda merdiven kullanılmaması	Yüksekten düşme	10	3	7	210
Yanıcı membran	Membran ısıtılırken alev alması	5	6	7	210

Çizelge 7. Alınacak önlemler için KFY ile elde edilen GÖD değerleri

Table 7. GOD values obtained with QFD for the measures to be taken

HTEA		Fine-Kinney		L Tipi Matris	
Alınacak Önlem	GÖD	Alınacak Önlem	GÖD	Alınacak Önlem	GÖD
Eğitim ve bilgilendirme	13,06	Eğitim ve bilgilendirme	10,10	Eğitim ve bilgilendirme	12,26
Çalışma talimatı ve sistematik çalışma	10,61	Çalışma talimatı ve sistematik çalışma	9,53	Korkuluk, güvelik ağı vb. toplu koruma önlemleri alınmalı	12,23
Saha denetimi ve Ortam ölçümleri	8,81	Risk analizi yapılması	9,21	Çalışma talimatı ve sistematik çalışma	11,31
Risk analizi yapılması	8,14	Korkuluk, güvelik ağı vb. toplu koruma önlemleri alınmalı	9,06	Risk analizi yapılması	8,90
Uyarı ve ikaz işaretleri	7,37	KKD kullanılması	8,53	Uyarı ve ikaz işaretleri	8,71
Çalışma alanının sınırlanması ve istif alanları oluşturma	7,13	Tehlikeli davranışlardan kaçınma	7,69	KKD kullanılması	8,34
Korkuluk, güvelik ağı vb. toplu koruma önlemleri alınmalı	6,96	Saha denetimi ve Ortam ölçümleri	7,49	Çalışma alanının sınırlanması ve istif alanları oluşturma	7,36
KKD kullanılması	6,85	Uyarı ve ikaz işaretleri	7,12	Saha denetimi ve ortam ölçümleri	6,85
Acil durum planı hazırlanması ve Yangın söndürücü bulundurma	6,47	Çalışma alanının sınırlanması ve istif alanları oluşturma	5,97	Acil durum planı hazırlanması ve Yangın söndürücü bulundurma	6,54
Periyodik kontrol ve bakımlar	5,04	Acil durum planı hazırlanması ve Yangın söndürücü bulundurma	5,20	Periyodik kontrol ve bakımlar	4,21
Merdiven veya Çalışma platformu uygun kullanımı	4,57	Kazı yapılmadan önce alt yapı ile ilgili bilgi alınması ve	4,40	Kazı yapılmadan önce alt yapı ile ilgili bilgi alınması ve şevli kazı çalışması	3,29

Tehlikeli davranışlardan kaçınma	4,46	şevli kazı yapılması		Merdiven veya çalışma platformu kullanma	2,93
Kazı yapılmadan önce alt yapı ile ilgili bilgi alınması ve şevli kazı yapılması	3,73	İşe giriş ve periyodik sağlık muayeneleri	3,77	İşe başlamadan alet ve ekipman kontrolü	1,95
Kayıt sistemi oluşturulması	2,80	Merdiven veya Çalışma platformu uygun kullanımı	3,77	Ergonomik çalışma ortamı sağlanmalı	1,83
İşe giriş ve periyodik sağlık muayeneleri	1,50	Periyodik kontrol ve bakımlar	2,46	Kayıt sistemi oluşturulması	1,37
İşe başlamadan alet ve ekipman kontrolü	1,35	İşe başlamadan alet ve ekipman kontrolü	2,25	İşe giriş ve periyodik sağlık muayeneleri	1,07
Ergonomik çalışma ortamı sağlanmalı	1,15	Kayıt sistemi oluşturulması	1,88	Tehlikeli davranışlardan kaçınma	0,85
		Ergonomik çalışma ortamı sağlanmalı	1,57		

Çizelge 7’de görüldüğü gibi KFY’nin farklı yöntemler için uygulanması sonucu aynı önlem farklı GÖD skorlarına sahip olmuştur. Eğitim ve Bilgilendirme önlemi tüm yöntemler için en yüksek GÖD değerine sahip iken diğer önlemlerin GÖD değerleri değişmiştir. Çizelge 7’nin daha rahat takip edilebilmesi için her yönetime ait 10 adet önlem aynı renk ile gösterilmiştir. Çalışma talimatı ve sistematik çalışma, risk analizi yapılması gibi önlemler her ne kadar farklı GÖD değerlerine sahip olsalar da önem sıralamalarında çok önemli değişiklikler olmamıştır. Ancak periyodik kontrol ve bakımlar, tehlikeli davranışlardan kaçınma gibi bazı önlemlerin farklı yöntemlerdeki sıralamasının dikkate değer şekilde değiştiği görülmektedir. Bu durum risk değerlendirmesinde kullanılan yöntem seçiminin ve sütun ağırlıklarının oluşturulması sebebiyle RS değerine etki eden parametrelere sayısal değer atamanın önemini göstermektedir.

## Sonuçlar ve Öneriler

İş kazalarının en çok görüldüğü sektörlerden biri olan inşaat sektöründe faaliyet gösteren orta ölçekli bir inşaat firması için 3 farklı geleneksel risk değerlendirme yöntemi ile risk analizinin yapıldığı ve alınacak önlemlerin KFY yöntemi ile sıralandığı bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır;

- Literatürde sıklıkla kullanılan Fine-Kinney ve HTEA gibi çok değişkenli metotlarda risk hiyerarşisi sağlıklı bir şekilde belirlenebilirken L Tipi Matris metodunda risk değerlendirme aralığı dar olduğundan uygulaması daha kolay olmasına rağmen bu konuda diğer yöntemlerin gerisinde kalmaktadır.
- İnşaat sektörü gibi karmaşık sektörlerde bu eksikliğinden dolayı kullanılması tavsiye edilmeyen L Tipi Matris yönteminin, KFY yöntemi ile birleştirilerek kullanılması durumunda alınacak önlemler arasında öncelik sıralaması daha etkili bir şekilde yapılarak daha sağlıklı sonuç alınabilecektir. Aynı şekilde diğer yöntemlerde KFY yöntemiyle birlikte kullanılması durumunda önlem alınırken risk skorunun yanı sıra alınacak tedbirin önem derecesi de değerlendirilerek önlemlerin öncelik sıraları daha sağlıklı bir şekilde belirlenebilmektedir.

- Doğru bir şekilde yapılan bir risk analizi, yöntem ne olursa olsun KFY metoduna da iyi bir şekilde aktarılırsa risk hiyerarşisi sağlıklı bir şekilde belirlenmiş olacak ve bu sayede önlemlerin hangi sırayla alınacağı belirlenebilecektir.
- KFY metodu risk değerlendirme metotlarıyla birlikte kullanılan bütünlük bir yöntem olarak risk değerlendirmede kullanılabilir. Yöntem farklı risk analiz teknikleriyle birlikte kullanılarak geliştirilebilir ve farklı sektörlerde uygulanabilir.

## Referanslar

- [1] Anonim, (2008). TS18001, İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [2] Özkiliç, Ö. (2005). İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri. TİSK Yayınları, Ankara, 336.
- [3] Anonim (2012). İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmet Yönetmeliği, TC Resmi Gazete, 29.12.2012
- [4] Çebi, A. (2014). Şantiyelerde İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Risk Değerlendirmesinde Bulanık Çıkarım Tekniğinin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, KATÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- [5] Eker, T. (2013). İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Risk Analizi ve Metal Sektöründe Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [6] Kaçak, D. (2014). Demiryolu Çalışanlarında İş Sağlığı ve Güvenliği Vagon Onarım Atölyesi Risk Değerlendirme Örneği, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim Uzmanlığı Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim Araştırma Merkezi, Ankara.
- [7] Moen, R. (2009). Foundation and history of the PDSA cycle. Associates in Process Improvement-Detroit (USA), 2–10.
- [8] Saat, M. B. (2009) İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Metotlarının Kontrol Listesi ve Matris Metotlarının Entegre Biçimde Bir İnşaat Şantiyesinde Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [9] Esin Alp, (1999). Toplam Kalite: ISO9000 Işığında, Makine Mühendisleri Odası, Ankara,
- [10] Çakmak, E. (2014). Atölye Tipi Üretim Yapan Sanayi İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim Uzmanlığı Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim Araştırma Merkezi, Ankara
- [11] Aytekin, O., Kaya, M., Ü. Kuşan, H. (2015). Yapı İşlerinde Proje Tip ve Verilerine Göre Uygun İSG Risk Değerlendirme Yöntemi Seçimi için Öneriler, 5. İşçi Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, TMMOB

- [12] Semerci, O. (2012). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Risk Değerlendirmesi Metal Sektöründe Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir
- [13] Oturakçı, M. (2017). Dağsuyu, C., Risk Değerlendirmede Bulanık Fine- Kinney Yöntemi ve Uygulaması, Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, Cilt: 1, Sayı: 1
- [14] Taşan, K. (2006). Bir Risk Değerlendirme ve Güvenilirlik Metodu Olarak Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) Yöntemi, Bir Otomotiv Yan Sanayi İşletmesinde Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi,
- [15] Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir Chan, L. K, Wu, M. L. (2002). Quality Function Deployment; A Literature Review, European Journal of Operational Research
- [16] Eymen, U. E. (2006). Kalite Fonksiyon Göçerimi, Kalite Ofisi Yayınları
- [17] Kathawala, Y, ve Motwani, J. (1994) Implementing Quality Function Deployment, The TQM Magazine, Vol. 6, No:6,P.P:31-37
- [18] Shillito, M. L. (1994). Advanced QFD-Linking Technology to Market and Company Needs, John Wiley&Sons, Inc., NewYork
- [19] Hauser, J. R. ve Clausing, D. (1998) The House of Quality, Harvard Business Review, No: 3
- [20] Savaş, H., Ay, M. (2005). Üniversite Kütüphanesi Tasarımında Kalite Fonksiyon Göçerimi Uygulaması, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt:7, Sayı:3 ,İzmir
- [21] Yenigol, F. (2000). Yeni Ürün Geliştirmede Müşteri İstek ve İhtiyaçlarını Teknik Karakteristiklere Dönüştürmeyi Sağlayan Bir Yöntem: Kalite Fonksiyon Göçerimi, İzmir
- [22] Fine, W. T. (1971). Mathematical Evaluation for Controlling Hazards, Journal of Safety Research
- [23] Kinney, G. F. , Wiruth, A. D. (1976). Practical Risk Analysis for Safety Management, NWC Technical Populations 5865, Naval Wepon Center, China Lake LA, USA,
- [24] Babut, G. Mororu, R. , Cioca, L. (2011). Kinney-Type Methods Useful for Harmful Tools in the Risk Assesment and Management Process, International Conference on Manufacturing Science and Education, SIBIU, Romania
- [25] Anonim (2011). Çimento Sektöründe İSG Yaklaşımı ve Genel İSG Uygulamaları, Türkiyede Mesleki ve Teknik Eğitim Kalitesinin Artırılması (METEK) Hibe Programı, İş Sağlığı ve Güvenliği Etkinliğinin Artırılması Projesi



## Evaluation of Salt Tectonics Structures as Geological Storage Fields in the Sivas Basin

Yusuf Pençeçelik<sup>1,a</sup>, Kaan Şevki Kavak<sup>2,b</sup>, \*

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Sanayi Teknolojileri ve Stratejileri Ana Bilim Dalı, 58140 Sivas, Türkiye

<sup>2</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas, Türkiye

\*Corresponding author

### Research Article

History

/

Received: 07/08/2024

Accepted: 09/08/2024

### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

In geological terms, the usability of underground salt tectonic structures as storage areas began to be revealed with studies conducted in the 1970s. In addition to the structural role of salt structures in the formation of hydrocarbons known to cause climate change and damage to nature, such as oil and natural gas, their usability in geological storage, one of the roles of countries in the current energy transition initiative, also reveals an irony in terms of salts and salt tectonics. The energy transition and therefore the concept of storage, which also holds a very important place in terms of the Sustainable Development Goals (SDGs), which the United Nations proposes to implement in all countries by 2030, has once again revealed the importance of salt and salt tectonics. Considering that although a significant portion of the salt tectonic structures in the world are generally observed under the sea, the salt tectonic structures, especially in the central part of the Sivas Basin, contain the best structures observed on land, the basin in question has a high potential for the safe storage of energy resources such as natural gas, hydrogen, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in Turkey, as well as for the storage of carbon and nuclear waste from an environmental perspective. When considered from this perspective, the existence of an 89 m salt layer cut in a 3643 m drilling conducted by the MTA in the central part of the basin for oil purposes in 1974 is an important data. Since it is located in the central inland part of Turkey, the geological conditions in the Sivas Basin stand out as a strategic location suitable for military purposes as well as energy and waste storage areas. In order to reveal the potential of oil, natural gas, mineral deposits and industrial raw materials, the basin has been studied for a long time by foreign researchers and companies, MTA, university earth science departments and state institutions such as State Hydraulic Works (DSİ) and General Directorate of Highways (KGM). The approximately 13,000 km thick stratigraphic thickness, drilling data and seismic sections in the basin should be revealed and examined in detail by earth scientists, especially geologists, geophysicists, environmental and mining engineers, from an integrated perspective.

Keywords: energy transition, geological storage, Sivas Basin, sustainable development goals, salt tectonics

## Sivas Havzası'nda Jeolojik Depolama Alanları Olarak Tuz Tektoniği Yapılarının Değerlendirilmesi

Süreç

Geliş: 07/08/2024

Kabul: 09/08/2024

### Öz

Jeolojik anlamda yer altındaki tuz tektoniği (salt tectonics) yapılarının depolama alanları olarak kullanılabilirliği, 1970'li yıllarda yapılan çalışmalarla ortaya konulmaya başlanmıştır. Tuz yapılarının petrol ve doğal gaz gibi iklim değişikliği ve doğaya verdiği zarar bilinen hidrokarbonların oluşumundaki yapısal rolüne ek olarak, ülkelerin güncel enerji geçişi inisiyatifindeki rollerinden birisi olan jeolojik depolamada da kullanılabilirliği, tuzlar ve tuz tektoniği açısından bir ironiyi de ortaya çıkarmaktadır. Birleşmiş Milletler'in 2030 yılına kadar tüm ülkelerde hayata geçirilmesini önerdiği Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Sustainable Development Goals, SDG) açısından da çok önemli bir yer tutan enerji geçişi ve dolayısıyla depolama kavramı, tuz ve tuz tektoniğinin önemini bir kez daha ortaya çıkarmıştır. Dünya üzerinde tuz tektoniği yapılarının önemli bir bölümünün genelde deniz altında gözlenmesine rağmen Sivas Havzası'nın özellikle orta kesimindeki tuz tektoniği yapılarının karada gözlenen en iyi yapıları barındırdığı dikkate alındığında, söz konusu havzanın Türkiye açısından doğal gaz, hidrojen, karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) gibi enerji kaynaklarının güvenli bir şekilde depolanmasına ek olarak çevresel açıdan da karbon ve nükleer atıkların depolanmasında kullanılabilmesinde yüksek bir potansiyeli de bulunmaktadır. Bu açıdan düşünüldüğünde, 1974 yılında petrol amaçlı olarak havzanın orta kesiminde MTA tarafından yapılan 3643 m'lik bir sondajda kesilen 89 m'lik bir tuz katmanının varlığı önemli bir veridir. Türkiye'nin orta iç kesiminde bulunması sebebiyle Sivas Havzası'ndaki jeolojik koşulların stratejik konum olarak askeri amaçlar yanında, enerji ve atık depolama alanları için uygun bir konuma sahip olabileceği ön plana çıkmaktadır. Petrol, doğal gaz, maden yatakları ve endüstriyel hammadde potansiyelinin ortaya çıkarılması amacıyla çok uzun süredir yabancı araştırmacılar ve şirketler, MTA, üniversitelerin yer bilimci bölümleri ve DSİ ve Karayolları Denel Müdürlüğü gibi devlet kurumlarınca da incelenen havzadaki yaklaşık 13.000 km'lik kalınlıktaki stratigrafik kalınlık, sondaj verileri ve sismik kesitlerin tümünün ortaya çıkarılması ve bütünlük bir bakış açısıyla başta jeologlar, jeofizikçiler, çevre ve maden mühendisleri olmak üzere yer bilimci tarafından ayrıntılı bir şekilde incelenmelidir.

**Anahtar Kelimeler:** enerji geçişi, jeolojik depolama, Sivas Havzası, sürdürülebilir kalkınma hedefleri, tuz tektoniği

## Giriş

Günümüzde enerji kullanımının büyük bir bölümü fosil yakıtlardan karşılanmakta olup söz konusu yakıtların kullanımının azaltılarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması enerji geçişi olarak adlandırılmaktadır. Söz konusu geçiş yenilenebilir enerji geçişi olarak da nitelendirilebilir. Bu geçiş, mümkün olduğunca düşük karbonlu ve elektrik kullanılarak sera gazı emisyonlarını hızlı ve sürdürülebilir bir şekilde azaltmayı amaçlamaktadır.

Birleşmiş Milletler (BM), gezegenimiz için küresel bir eylem çağrısı olarak Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'ni (Sustainable Development Goals-SDG) 2015 yılında kabul etmiştir. Bu eylem çağrısı 2030 yılına kadar sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için bir yol haritası olarak kabul edilmekte olup 17 küresel çaplı hedeften oluşmaktadır (Resim 1). Bunlar; yoksulluğa son, açlığa son, sağlıklı bireyler, nitelikli eğitim, toplumsal cinsiyet eşitliği, temiz su ve sıhhi koşullar,

toplumsal cinsiyet eşitliği, temiz su ve sıhhi koşullar, erişilebilir ve temiz enerji, insana yakışır iş ve ekonomik büyüme, sanayi-yenilikçilik ve altyapı, eşitsizliklerin azaltılması, sürdürülebilir şehir ve yaşam alanları, sorumlu tüketim ve üretim, iklim eylemi, sudaki yaşam, karasal yaşam, barış-adalet-güçlü kurumlar ve hedefler için ortaklıklardır (Resim 1).

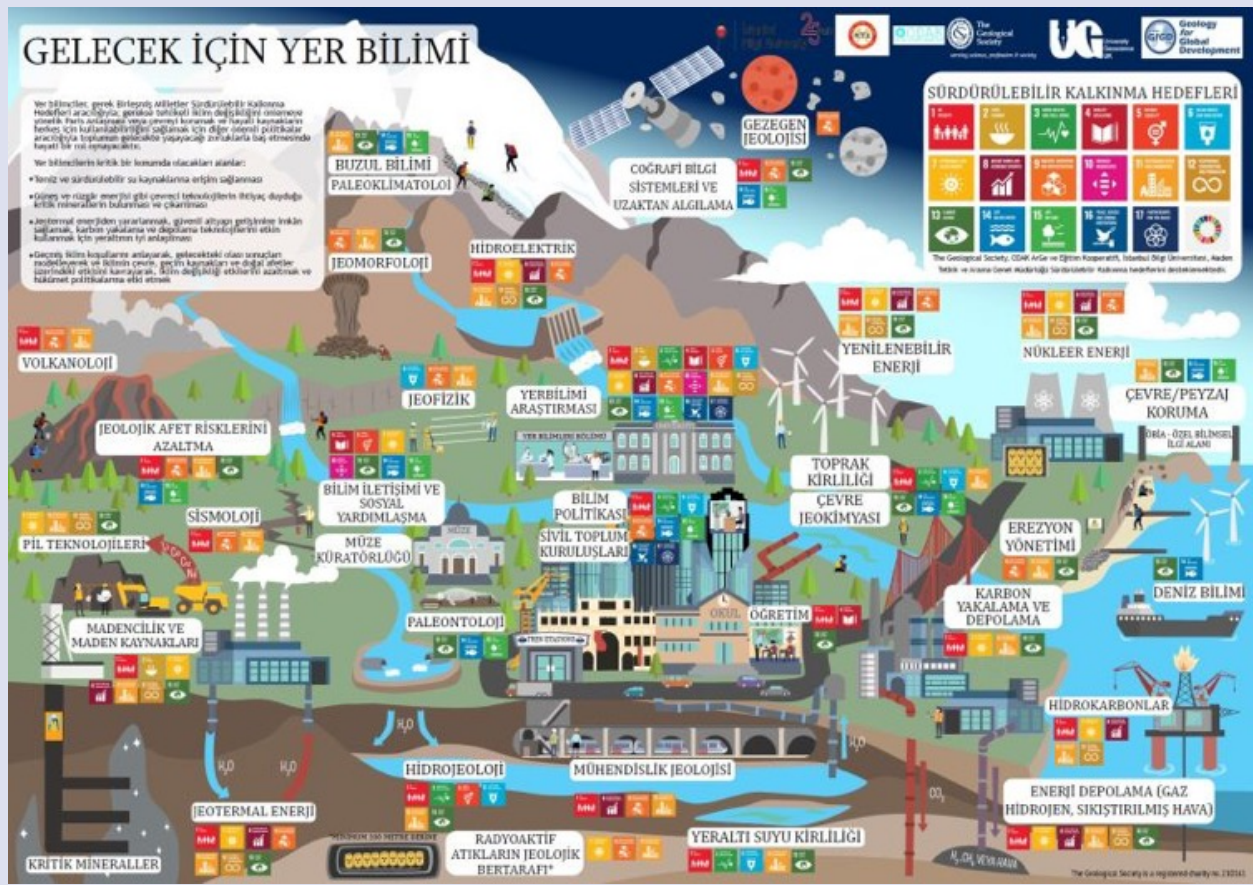
Jeoloji dahil jeofizik, çevre, maden, coğrafya, atmosfer, deniz bilimleri dahil olmak üzere tüm yer bilim dallarının, SDG içindeki yeri ve katkısı ayrıntılı bir şekilde Resim 2'de görülmektedir. Resim 2 incelendiğinde jeolojik depolamanın da bunlar içerisinde yer aldığı açıkça görülür. Tümünün birbiriyle ve söz konusu hedeflerle etkileşimine bakıldığında, küresel anlamda hedeflere ulaşmak için yapılması gereken çok iş olduğu ve bunların tümünün yönetiminin BM başta olmak üzere ülkeler arasında başlı başına bir eş zamanlama ve çaba gerektirdiği görülmektedir.



Resim 1. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri (<https://turkiye.un.org/tr/sdgs>)

Figure 1. Sustainable development goals (<https://turkiye.un.org/tr/sdgs>)





Resim.2: Yerbilimlerinin sürdürülebilir kalkınma hedefleri içerisindeki önemi

(<https://www.geolsoc.org.uk/~media/shared/documents/education%20and%20careers/Resources/Posters/Geoscience%20for%20the%20Future%20poster.pdf?la=en>)

Figure 2. The importance of geosciences in sustainable development goals

(<https://www.geolsoc.org.uk/~media/shared/documents/education%20and%20careers/Resources/Posters/Geoscience%20for%20the%20Future%20poster.pdf?la=en>)

Depolama, tarih boyunca insanlığın önemli ihtiyaçlarından birisi olmuştur. Günümüzde ise bu ihtiyaç toplumsal, bilimsel ve teknolojik gelişmelerle daha da artmaktadır. Gıda, enerji ve atıklar gibi birçok maddenin depolanması için uygun koşul ve alanların belirlenmesi gerekmektedir. Birçok depolama yöntemi bulunmakta olup, özellikle enerji geçişi sürecinde, jeolojik depolama da bu önemli yöntemlerden biridir. Jeolojik depolama alanları, petrol-doğal gaz, hidrojen, karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), atık, mühimmat vb. ürünlerin depolanmasını mümkün kılar. Jeolojik depolamaya olan ilgi giderek artmakta olup fosil yakıtlardan başlayarak hidrojen gibi daha temiz yakıtlara geçişte depolama alanlarına olan ihtiyaç da giderek artacaktır. Bu doğrultuda SDG "Sorumlu Tüketim ve Üretim" hedefi, doğal kaynakların kullanımının düzenlenmesi ve etkin bir atık yönetiminin oluşturulması bağlamında önemlidir. Atık üretiminin azaltılması yoluyla doğaya verilen zararı yönetmek bu hedef kapsamındadır. Jeolojik depolama alanlarında atık depolama da bu hedefle doğrudan ilgilidir. Diğer önemli konu başlığı ise iklim eylemi hedefi olup, küresel bir kriz olan iklim değişikliği ile mücadele için Türkiye'nin de acilen harekete geçmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla, iklim değişikliği için gerekli

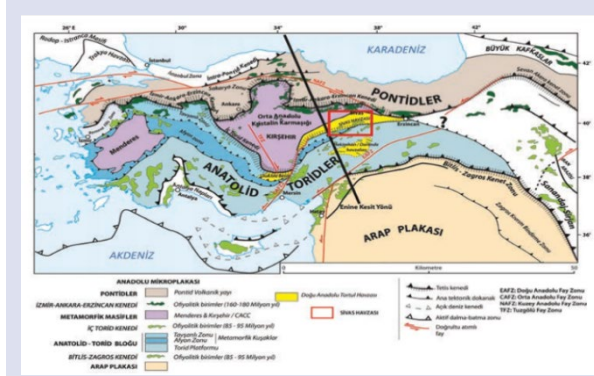
önlemler alınarak ülkeler ulusal politika ve stratejilerini düzenlemelidir. İklim odaklı riskleri yönetebilme kapasitesinin tüm ülkelerde geliştirilmesi, etkili bir iklim krizi yönetimi için gerekli görülmektedir. Öte yandan karbon salınımı her geçen gün giderek artmaktadır. Jeolojik depolama alanlarında gerçekleştirilebilecek olan karbon dioksit depolanması ile karbon artışının önüne geçilebilecek ve jeolojik depolama alanları iklim eylemi hedefine de doğrudan katkı sağlayacaktır. Günümüzde savunma sanayinin önemli unsurlarından birisi de depolamadır. Mühimmat, hammadde, gıda gibi ürünlerin uygun koşullarda depolanması önemli unsurlardandır. Tuz tektoniği içinde tanımlanan boşlukların keşfi ile gerçekleştirilecek alanlar savunma anlamında doğal depolama alanları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu alanların keşfi ile çok daha uygun maliyetlerle depolama alanları elde edilebilecektir.

### Sivas Havzası ve Jeolojik Özellikleri

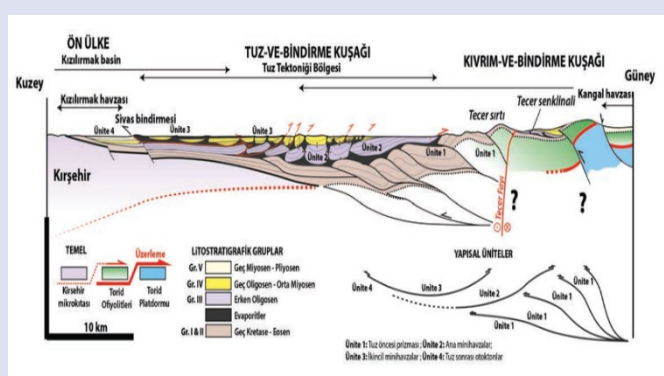
Türkiye anakarası; jeolojik açıdan kabaca kuzeyde Karadeniz Dağları'na karşılık gelen ve Pontidler olarak bilinen Avrasya'nın güney parçası ve güneyde ise Afrika

kitasına ait Toridler adı verilen ve Toros Dağları olarak da bilinen karbonat-kireçtaşı kaya kütlelerinden oluşur (Resim 3.A). Bölgesel jeolojik anlamda düşünüldüğünde Anatolid-Torid Bloğu Türkiye'nin güneyinin büyük bir kısmını oluşturur ve Pontid kıtasal parçalarının aksine, Arap Platformuna ve dolayısıyla Gondwana'ya benzer bir Paleozoyik stratigrafi gösterir. Geç Kretase-Paleosen'deki üzerleme (obdüksiyon), dalma ve kıtasal çarpışma olayları

sırasında Anatolid-Torid Bloğu taban konumundadır ve bu nedenle Pontid zonunda gözlenenlerden çok daha güçlü Alpid deformasyonuna ve bölgesel metamorfizmaya maruz kalmıştır. Senoniyen sırasında, Anatolid-Torid Bloğu üzerine devasa bir ofiyolit kütle ve yığılma kompleksi yerleşmiştir [1,2]. Sivas Havzası, Anatolid-Torid Bloğunun İç Torid Okyanusu ile olan sınırında ve Kırşehir Masifi üzerinde yer alır (Resim 3.A).



3.A



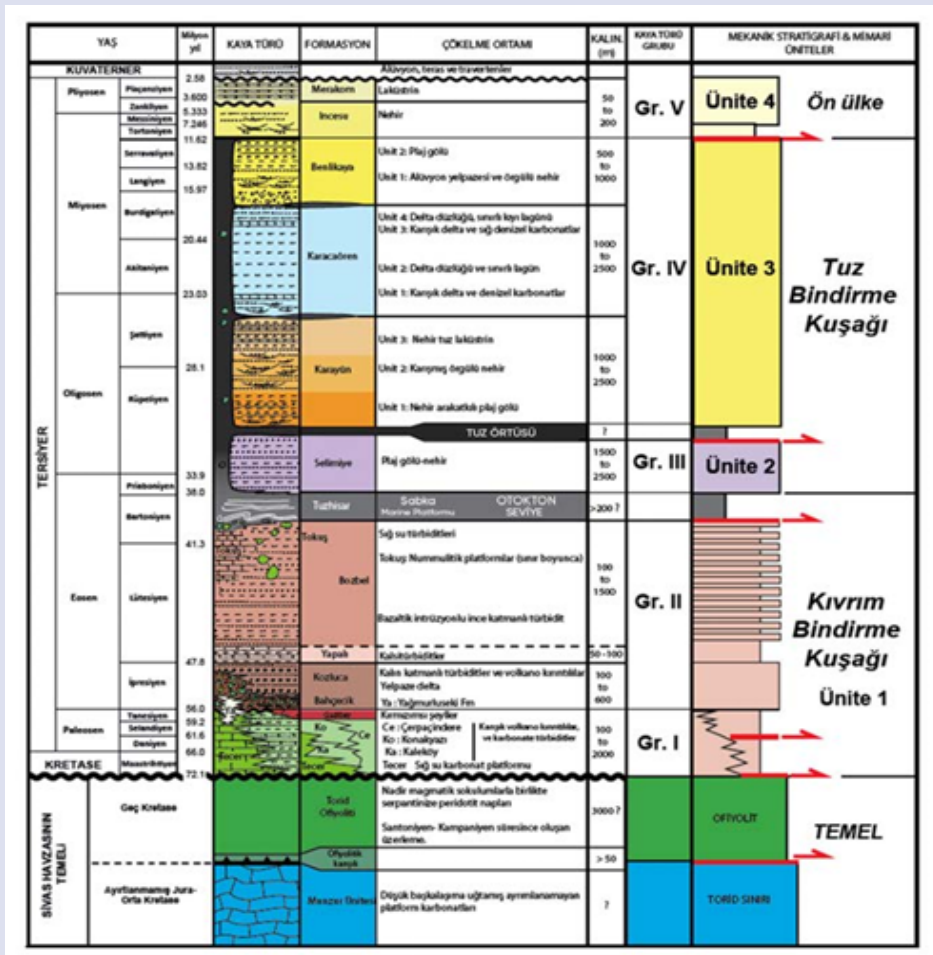
3.B

Resim.3.A Anadolu'nun tektonik taslak haritası [2]'den değiştirilmiştir. Sivas Havzası'nın konumu, Sivas Havzası'nın ana yapısal alanları ve değiştirilip tamamlanmış enine jeolojik kesiti [3]'den değiştirilmiştir [4]  
 Figure 3.A. Tectonic sketch map of the Anatolian domain (modified 3), and location of the Sivas Basin. 3.B. Cross-section of the Sivas Basin which presents the main structural domains, modified and completed from [3], [4].

Değişik metamorfik, yapısal ve stratigrafik özellikler gösterse de tüm bu zonlarda ortak olan ve Anatolid-Torid Bloğu'nu tek bir tektonik varlık olarak ayıran bazı stratigrafik unsurlar vardır. Bunlar, Prekambriyen kristalli bir temel, silisli klastik kayaların hâkim olduğu Kambriyen'den Devoniyen'e kadar süresiz bir istif, ara katkılı kireçtaşı, şeyl ve kuvarsitten oluşan Permo-Karbonifer dizisi ve kalın bir Üst Triyas-Üst Kretase karbonat seviyesidir. Öte yandan Sakarya Zonu'nun karakteristik özellikleri olan Hersiniyen deformasyon veya metamorfizma ve Triyas dalma-batma-yığılma birimleri Anatolid-Torid Bloğunda görülmemektedir. İzotop yaşlarına göre başlıca Kretase yaşlı metamorfik ve granitik kayalardan oluşan Kırşehir Masifi, tartışmalı İç Torid Keneti [1] boyunca Anatolid-Torid ile dokanak halindedir. Kırşehir Masifi'ndeki yüksek sıcaklık-düşük basınç ve granitik magmatizma karakterli bölgesel metamorfizmanın olası nedeni Kretase ortalarında İç Torid Okyanusu'nun Kırşehir Masifi altına kuzeye doğru dalmasıdır [2, 3].

Sivas il sınırlarının önemli bir kısmı genel olarak jeolojik açıdan yer kabuğunda çökellerle doldurulmuş çukurluk alanlar da olarak bilinen "havza" kavramı içinde tanımlanır [4,5]. Havza, doğuda İmranlı ilçesinden başlayıp, güneybatıda Gemerek ilçesine kadar olan bir bölgede

yaklaşık 200-250 km uzunluğa ve 50 km genişliğe sahiptir (Resim 3.A). Sivas Havzası; güneyde bir ofiyolitik temel üzerinde Maestrihtiyen-Eosen tortullarını içeren kuzeye eğimli bir kıvrım ve bindirme kuşağı; onun kuzeyinde ise "tuz tektoniği" tarafından şekillendirilmiş ve mini havzaların yer aldığı Oligo-Miyosen yaşlı bir tuz ve bindirme kuşağı ve en son olarak da en kuzeyde Kırşehir başkalaşım kayalarının üzerinde gelişmiş yaklaşık 2.5-5.3 milyon yıl öncesi döneme ait Pliyosen yaşlı bir çökel alanından oluşan Kızılırmak ön ülke (foreland) havzasından oluşur. (Resim 3.B). Havza içinde, tortullar yanal kalınlık değişimleri ve muhteşem açılı uyumsuzluklar göstermektedir. Gözlenen bu geometriler, tuz tektoniğinden fazla etkilenmiş petrol havzalarından (Meksika Körfezi, Hazar öncesi havza, Angola kenarı) alınan sismik verilerle benzerlikler göstermektedir. Havzaya ait stratigrafik kesit ve dolayısıyla tuz depolama alanlarının genel kaya birimi olarak nitelendirilebilecek tuzları da içeren ve genel olarak evaporitik kayaları temsil eden Üst Eosen-Oligosen yaşlı Tuzhisar Formasyonu'nun bulunduğu seviyeler Resim 4'de görülmektedir. Sivas Havzası Erken Tersiyer'de şekillenmeye başlayan bir havzadır. Güney ve kuzeyde yer alan temel kayaları birbirinden farklı litolojik ve yapısal özelliklere sahiptir.



Resim.4. Sivas Havzası'nın orta kesiminin stratigrafik kesiti ve jeolojik depolamaya uygun olan ve tuzları temsil eden Üst Eosen-Oligosen yaşlı Tuzhisar Formasyonu'nun yeri [4]

Figure 4. Stratigraphic section of the central part of the Sivas Basin and the location of the Upper Eocene-Oligocene Tuzhisar Formation, which is suitable for geological storage and represents salts [4].

## Tuz ve Tuz Tektoniği

Tuzların da içinde yer aldığı evaporitler; sedimanter kayaların kimyasallar grubu içerisinde karbonatlı kayalardan sonra en yaygın olanlarıdır. Genellikle deniz veya göl suyunun buharlaşmasıyla oluşurlar ve kurak iklim kuşaklarında yaygındırlar. Çoğu zaman buharlaşma (evaporasyon) kimyasal çökelimleri tetikleyen mekanizmadır. Genellikle bu şekilde çökelen mineraller yemek tuzu olarak da bilinen kaya tuzunun ana bileşeni olan tuz (halit, NaCl, sodyum klorid) ve kaya olarak sulu kalsiyum sülfat olarak da bilinen jipstir (alçıtaşı, CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O). Bazı evaporit mineralleri denizel, bazıları karasal ve bazıları da hem karasal hem de denizel ortamlarda oluşurlar. Evaporitik bir ortamda sıcaklık artıp buharlaşma başlangıcı olan evaporasyonda başlıca üç çökelim evresi vardır. Bunlar sırasıyla; 1) Karbonat çökelim fazı, 2) Sülfat çökelim fazı ve 3) Klorür çökelim fazıdır. Bu nedenle, evaporitik kayalar başlıca sülfat ve klorür grubu olarak ikiye ayrılırlar. Bunlardan sülfatlar (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) grubuna örnek olarak; anhidrit (CaSO<sub>4</sub>), jips (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O), sölestin (SrSO<sub>4</sub>) ve barit (BaSO<sub>4</sub>) verilebilir. Klorür (Cl<sup>-</sup>) grubuna ise halit yani tuz (NaCl) ve silvin (KCl) örnek verilebilir.

Tuzlarda yan kayaya göre düşük yoğunluğundan dolayı yükselme eğilimi gösteren ve plastik davranış gösterebilen jips, anhidrit, halit gibi evaporitik mineraller söz konusudur. Tuz kütleleri değışik miktarda evaporitik malzemeyi de içerebilir (anhidrit ya da hidrat formundaki jips). Bazı durumlarda evaporitik olmayan kayalar da tuz içerebilir [6].

Halk dilinde vurulduğunda çabuk parçalanan, yumuşak taş veya alçıtaşı anlamında kullanılan pur (jips, anhidrit) terimi havzadaki yaygın evaporitik kayalar için kullanılmakta olup Sivas ilindeki tarım ve su potansiyelini olumsuz yönde etkileyen bir çökil kayadır ve halokinetik özelliğiley tuzu niteler. Jips alçının ana hammaddesi olup, duvar kaplaması ve siva için inşaat endüstrisinde sıklıkla kullanılır. Evaporitlerden olan ve öz direnci yüksek ve mekanik direnci düşük olan jipsler, içerdikleri stronsiyum minerali yardımıyla buldukları ortam ve oluştukları jeolojik zamanın bulunmasına da yardımcı olur. Söz konusu birimlerden elde edilen kaya tuzu, halen Sivas il merkezine yakın Bingöl köyüyle, Zara, İmranlı ve Hafik civarındaki ocaklardan çıkarılmaktadır. Sivas Havzası'nın genel stratigrafik kesitine bakıldığında tuz içeren bu evaporitik

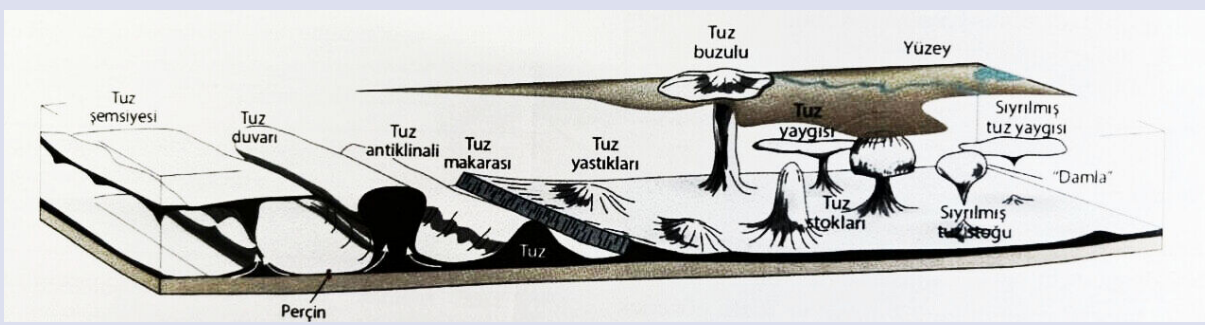
seviyelerin Üst Eosen-Oligosen yaşlı Tuzhisar Formasyonu'nun içinde yer aldığı görülmektedir [4].

Tuzun yemeklerde ve besinlerin baharatlanmasında kullanıldığı herkes tarafından bilinir. Tuz genellikle doğada tuz göllerinden, denizel tuzlalardan ve gömülü kaya tuzu mağaralarından edilir [7]. Ayrıca, kaya tuzunun yollardaki buzun çözünmesinden hidroklorik asit elde etmeye kadar çok sayıda kullanım alanı da vardır. Tuzlar genellikle sedimanter havzaların en yaygın bileşenlerinden birisidir. Mekanik olarak zayıf olan tuzun yoğunluğu düşük ve geçirgenliği azdır ( $2.160 \text{ g/cm}^3$ ) ve yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Neredeyse sıkıştırılmaz yapıda ve geçirimsiz olup akışkan yapıdadır ve sıvı gibi davranır. Geniş alanlarda deformasyona neden olur. Yapısal olarak da sıvı kapanları oluşturur. Tuzların yaşlarının İran Zagros Dağları'nda 500-800 milyon yıl Meksika Körfezi'nde ise 175 milyon yıl olduğu saptanmıştır. Tuz çoğunlukla rift havzalarında, yarı grabenlerde, düşmüş bloklarda ve pasif kıta kenarları boyunca oluşur. Akdeniz'de geçmiş jeolojik dönemlerden Messiniyen'de olduğu gibi deniz seviyesindeki değişikliklerle ilgili olarak evaporasyonla da oluşabilir. Kendilerine özgü reoloji (akış özelliği) sunan tuzlar jeolojik zaman olarak örneğin ay gibi kısa zaman ölçeğinde bile plastik olarak akar ve viskoz olarak da deforme olur. Basınç altında su gibi davranan tuzlarda deformasyon tuzun

kendisi tarafından sürdürülemez. Tuz öncelikle pasif olarak yer çekimi gibi dış kuvvetlerden, sedimantasyon ve erozyonla da doğrudan ilişkili durumlardan etkilenir. Tuzun yoğunluğu derinliğe bağlı olarak basınçla birlikte değişir.

Sivas Havzası'nın orta kesiminde yer alan ve petrol belirteci olabileceği düşünülerek Celalli Antiklinali'nde 1974 yılında yapılan 3643 m'lik sondajda 2111-2200 m'ler arasında, 89 m'lik bir tuz tabakası (Tuzhisar formasyonu) kesilmiştir (Resim 4) [7]. Sivas Havzası'ndaki tuz yapıları ise Üst Eosen-Oligosen yaşlı olup yaklaşık olarak 35 milyon yaşlı olduğu öngörülmektedir[5].

Tuz tektoniği kavramı; bölgede tuzun akışı etkisiyle gelişen deformasyon ve buna bağlı olarak gelişen yapılar bütünüdür. Tuz tektoniği sonucu oluşan yapılar Resim 5'te görülmektedir. Bölgede gelişen karmaşık yapıların tipi, geometrileri, konumları göz önünde bulundurularak ifade edilir. Tuz tektoniği yapıları depolama alanları olarak oldukça verimli kullanılabilen depolama alanlarıdır. Tuz tektoniği alanları askeri teçhizat, doğal gaz, petrol, hidrojen, karbon dioksit ve atık depolama alanları olarak kullanılmaktadır. Tuz tektoniği petrol ve doğalgaz endüstrisinde önemli yere sahiptir ve ayrıca bu yapılar karbon dioksit, atık depolama alanları için de uygun koşullar sağlamaktadır.



Resim.5. Genel tuz tektoniği yapıları [7]

Figure 5. General structures of salt tectonics [7]

Kendilerine has şekilleriyle tuz domları (tuz içeren kubbeler) son zamanlarda jeologların dikkatlerini üzerlerinde toplamıştır. Jeologlar, bu domlardaki yarıklar ve çöküntülerin dünyanın çeşitli bölgelerinde aynı tipte olduklarını kaydetmişlerdir. Öte yandan tuzlar radyoaktif atıkların depolanmasında da kullanılabilir. Tuzlardaki kabarmanın yarattığı düşük basınçla birlikte örtü yükü içerisinde tuz akışına bağlı olarak tuz antiklinalleri bu yolla oluşur ve antiformal kapanlar meydana getirerek istifin kıvrımlanmasına da sebep olur. Sivas Havzası'nda olduğu gibi tuz tabakasını üzerleyen sedimanter seriler bölgesel bir sıkışmanın etkisiyle (tektonik ya da gravitasyonel) ve tuzun etkisiyle kabarmaya başlar. Sivas Havzası'na ek olarak tuz tektoniği ve sıkıştırılmalı tektonik rejimdeki önemli bölgelere İran ve Meksika'dan La Popa bölgesi örnek verilebilir.

Bölgesel sıkışmaya bağlı olarak gelişen kabarma ve ters faylanma, tuz diyapirleşmesinin başlayabilmesinin bir yoluyken, sıkıştırmanın egemen olduğu bölgelerde bulunan çoğu büyük ölçekteki diyapirlerin bir kısmı açılma/uzama rejimlerinin egemen olduğu bölgelerde de oluşarak, sıkışmanın etkisiyle güçlü bir şekilde gelişerek son halini alır. Bunun

sonucunda, Sivas Havzası'nın orta kesiminde farklı boyut ve türde tuz tektoniği yapıları sıklıkla görülmektedir. Bunlara örnek olarak Resim 6.A ve 6.B örnek verilebilir [8]). Kırıntılılarla evaporitik birimlerin dokanağında gözlenen tuz duvarları Resim 6.A' daki gibi Emirhan mini havzasında tuz duvarı (salt wall), kanca (hook) ve perçin (weld) olarak adlanan tuz tektoniği yapılarını oluşturur.

Sismik yansıma kesitlerinden Sivas Havzası'nın orta kesimindeki yeraltı tuz yapılarının ortaya çıkarılmasında önemli veriler sağlanmıştır (Resim 7). En üstteki sismik yansıma kesiti yaklaşık 25 km'lik bir uzaklığa sahip ve kuzey-güney yönlü olup, araştırma derinliği ise yaklaşık 40 km'dir. Bu sismik yansıma kesit Transatlantik Petrol Şirketi tarafından Sivas Havzası'nda petrol amaçlı olarak elde edilmiştir (Kergaravat, 2016). Resim 7'de aslında havzanın orta kesiminden kuzey-güney yönünde alınmış bir sismik kesitle ondan çıkarılan enine jeolojik kesit görülmektedir. Buna göre en alttaki jeolojik kesitte, depolanmanın yapılabileceği tuz formasyonlarının farklı seviyelerde kendisiyle ve diğer jeolojik birimlerle ilişkisi ve bölgedeki mini havzaların konumu görülmektedir. Ayrıca bu tür

kesitlerden tuz yapılarının türüne dair sonuçlar da ortaya çıkarılabilmektedir (Resim 7).

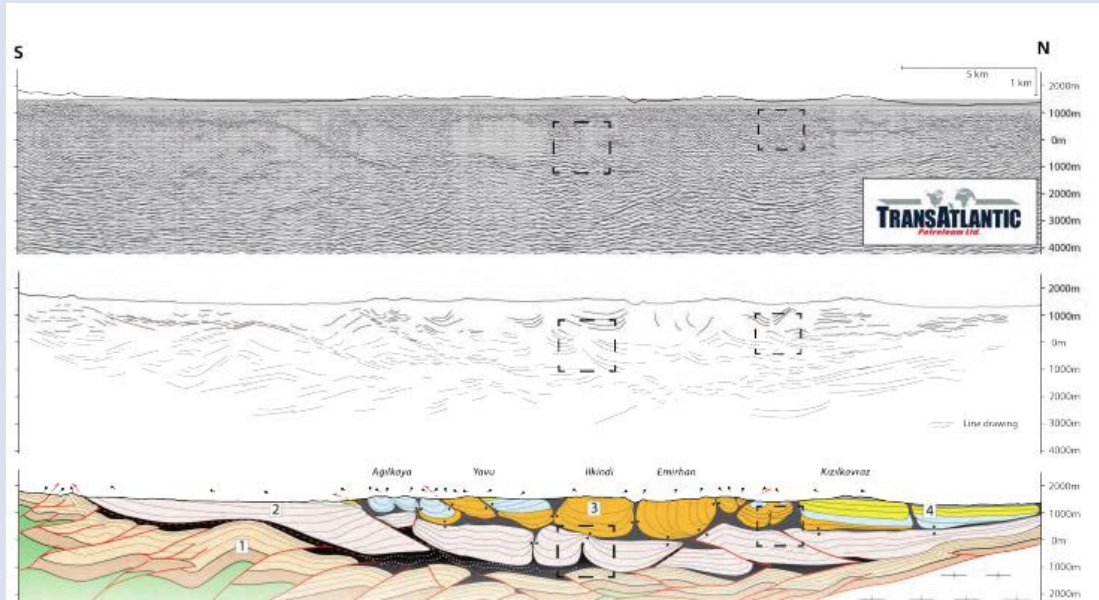
Benzer şekilde, depolama yeri belirleme için kullanılabilecek diğer bir yöntem ise jeolojik yöntemlerde araç olarak kullanılan ve sıklıkla tercih edilen önemli yöntemlerden biri olan uydu görüntülerine uygulanan sayısal görüntü işleme yöntemleridir. Bu yöntemle uydu görüntülerinden tuz ve evaporitik birimler orta çıkarılabilmektedir. Resim 8, görüntü işleme çalışmaları

sonucunda ASTER 631 (RGB) görüntü kombinasyonundan elde edilmiş olup kızılötesi ve görünür bantların birlikteliğini temsil etmektedir [9]. Bu analizde Sivas Havzası'nın orta-kuzey kesimlerindeki kaya türlerini oluşturan diğer jeolojik birimlerden depolamada etkin olarak kullanılabilen tuzları ve evaporitleri ifade eden birimler turkuaz mavi renkle ortaya çıkarılmıştır (Resim 8).



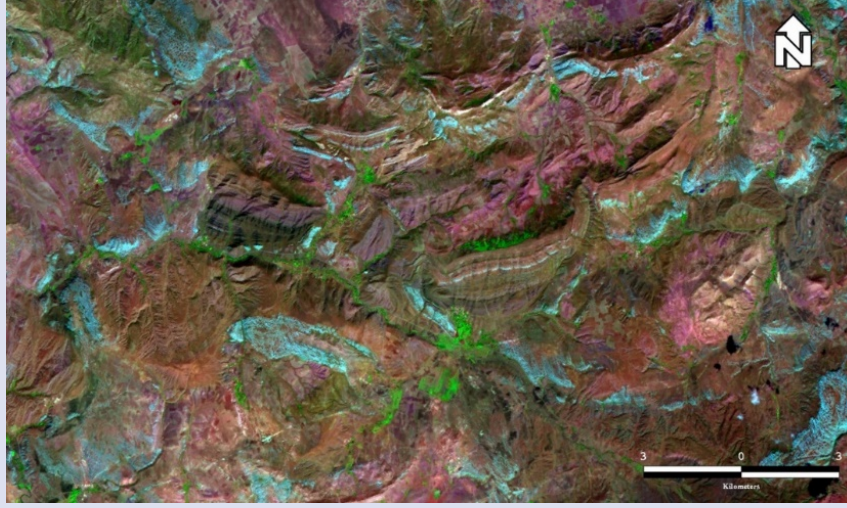
Resim. 6.A.ve B: Sivas Havzası içindeki Emirhan mini havzasında tuz ve detritik birimlerin dokanaklarındaki tuz duvarı, kanca (a) ve perçin (weld) yapıları [8]

Figure. 6.A.and B: Salt wall, hook (a) and weld structures at the contacts of salt and detrital units in the Emirhan mini basin within the Sivas Basin [8]



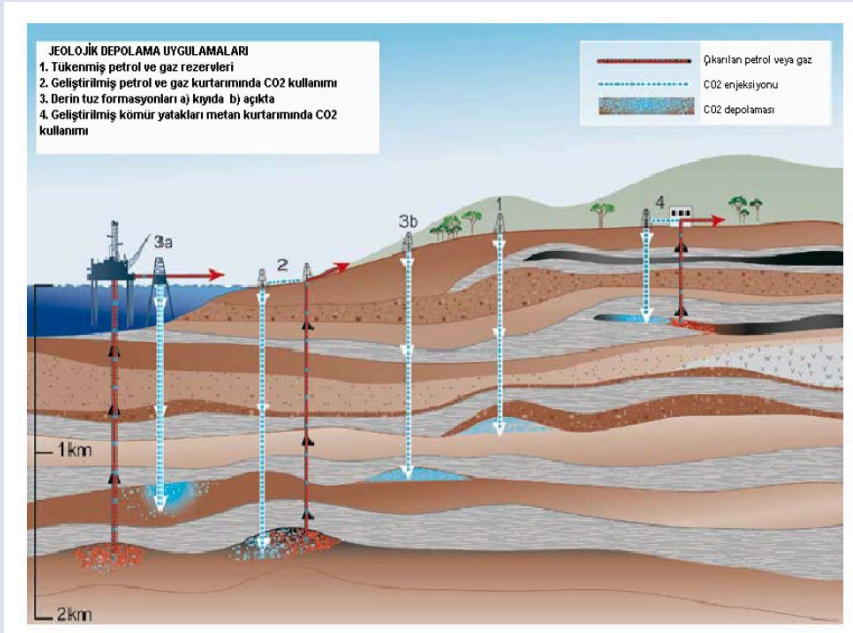
Resim. 7. Sivas Havzası'nın orta kesiminde jeolojik depolama yapılabilecek Üst Eosen-Oligosen yaşlı Tuzhisar formasyonunun bulunduğu seviyeler ve tuz tektoniği yapılarıyla birincil, ikincil mini havzaların genel görünümü [8].

Figure 7. General view of the primary and secondary mini basins with salt tectonic structures and levels of the Upper Eocene-Oligocene aged Tuzhisar formation, which can be used for geological storage in the central part of the Sivas Basin [8]



Resim 8. ASTER 631 (RGB) kombinasyonu Sivas Havzası'nın orta kesiminde yüzeyleyen ve turkuaz renginde gözlenen evaporitik kayalar ve tuzların görünümü [8]

Figure 8. The appearance of evaporitic rocks and salts exposed in the central part of the Sivas Basin and observed in turquoise color by the ASTER 631(RGB) combination [8]



Resim 9: Yer altında jeolojik depolama olanakları [10]  
Figure 9: Underground geologic storage possibilities [10]

## Jeolojik depolama

Karbon dioksit başta olmak üzere jeolojik depolama, sedimanter (tortul) havzalarda başta olmak üzere jeolojik ortamlar içerisinde yapılabilmektedir (Resim 9). Bu havzalar içerisinde petrol sahaları, tükenmiş gaz sahaları, derin kömür yatakları ve tuz formasyonları önemli depolama alanlarıdır. Jeolojik depolama karada ve denizde uygulanabilir; enerji depolama maksatlı olarak petrol, doğal gaz, hidrojen depolanabilir. Çevre kirliliğini azaltmak ve karbon salınımını azaltma adına atık ve karbon dioksit depolama (Carbon

Capture Usage and Storage, CCUS) gerçekleştirilebilir. Savunma sanayinde ise savaş araçlarının ve patlayıcı maddelerin güvenliğinin sağlanması önemli bir gerekliliktir. Jeolojik depolama alanları askeri amaçlı da kullanılabilir.

Jeolojik depolama alan ihtiyacı söz konusu hedeflerden "Sürdürülebilir Kentler ve Yaşam Alanları", "Sorumlu Tüketim ve Üretim" ve "İklim Eylemi" ile oldukça ilgilidir. Bu hedeflerden ilkiyle kentlerin daha sürdürülebilir bir yapıya sahip olması hedeflenmekte herkesin uygun fiyatlı konutlara ve temel hizmetlere eriştiği kapsayıcı ve güvenli sürdürülebilir

kentlerin inşa edilmesi amaçlanmaktadır. Şehirlerdeki nüfus artışı enerji artışını da doğurmaktadır. Enerji talebindeki bu artış enerjinin depolanması ihtiyacında artışa neden olmuştur. Jeolojik depolama alanları sürdürülebilir kentler ve topluluklar hedefine katkı sağlayacaktır. Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden erişilebilir temiz enerji ile ilgili olarak herkes için uygun fiyatlı, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerjiye erişimin garanti altına alınması önemli bir faktördür.

Yer kabuğunda jeolojik depolama, karada ve denizde uygulanabilir. Derin-deniz sedimanter havzaları, denizdeki muhtemel depolama sahalarıdır. Terk edilmiş doğalgaz, petrol ve maden sahaları, tuz formasyonları başlıca depolama yapılabilecek alanlar olarak görülmektedir (Resim 9). Ülkemizde BOTAŞ (Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi) tarafından Tuz Gölünün altında yaklaşık 1500 m derinlikte doğal gaz depolama tesisi yapılmış olup halen kullanılmaktadır.

Petrol, doğal gaz ve maden sahalarının jeolojik yapısı ve fiziksel özellikleri, kapsamlı bir şekilde çalışılmış ve tanımlanmıştır. İlgili sahaların alt yapılarının tamamlanmış olması ise depolama alanı oluşturmak için gerekebilecek maliyeti de düşürecektir. Tuz yatakları gerek kullanılabilir endüstriyel hammaddelerin ve stratejik önem taşıyan enerji hammaddelerinin, tehlikeli gaz ve atıkların depolanması için en uygun yapıya sahiptir [10;11;12]. Tuz yataklarının geçirimsiz olması, depolanan maddelerle reaksiyona girmemesi, yeterli kalınlığa sahip olmaları ve düşük maliyetlerle elde edilebilmesinden ötürü oldukça verimli depolama alanları olarak gözümüze çarpmaktadır.

Genellikle savaş endüstrisinde ileri bir teknolojiye sahip ülkelerde savaş araçlarının ve patlayıcı maddelerin üretimi için gerekli ham maddenin sağlanması ve bunun güvenliği, dünyada bilinen maden yataklarının da sınırlılığı nedeniyle bazı sorunlar yaratmaktadır. Günümüzde darlığı duyulan birçok petro-kimyasal, metalürjik ve endüstriyel ham maddenin savaş anında sağlanması ve yüksek düzeyde işlenmesinin büyük zorluklar doğuracağı açıktır. Gerekli mühimmatın depolanması güvenliğinin sağlanması büyük önem arz etmektedir. Tuz boşluklarında depolanan ürünlerin reaksiyona girmemesi, geniş depolama alanları sunabilmesi ve maliyetin düşük olması sebebiyle tuz boşluklarında depolama imkanlarının geliştirilmesi askeri amaçlı kullanımı artırabilecektir.

Dünyanın birçok bölgesinde gaz depoları dahil olmak üzere yoğun doğal gaz boru hattı şebekeleri bulunmaktadır. Depolama hacimlerinin sırasına göre, jeolojik yer altı oluşumlarındaki bu gaz depoları neredeyse tamamen tükenmiş gaz alanlarında, akifer oluşumlarında veya yapay olarak inşa edilmiş tuz mağaralarında bulunmaktadır. Çok nadir durumlarda ise kullanılmış petrol sahalarında, terk edilmiş madenlerde veya kaya mağaralarında da depolar inşa edilmektedir. Kaya mağaraları, gaz depoları oluşturma amacıyla madencilik teknikleri kullanılarak kasten kazılan yer altı çalışmaları olarak tanımlanmaktadır.

Madencilikten arta kalan veya özel olarak inşa edilmiş tuz mağaraları, yüksek enjeksiyon ve çekme oranları sağlayan depolama alanları olarak kullanılır. Bu özel olarak inşa edilmiş mağaralar 100 ila 200 m genişliğinde ve 600

ila 1.000 m yüksekliğindedir. Tuz mağaralarında hafif hidrokarbonlar depolanabilir.

Tuz mağaraları ayrıca düşük seviyeli hastane atıklarından nükleer reaktör yakıtı ve kullanılmış yakıt çubuklarının yeniden işlenmesinden kaynaklanan yüksek seviyeli atıklara kadar radyoaktif atıkların jeolojik depoları olarak kapsamlı bir şekilde incelenmiştir ve bunların yüz binlerce yıl boyunca da izole edilmesi gerekir. Örneğin çoğunlukla plütonyumla kirlenmiş olan atıklar, New Mexico'daki Chihuahua Çölü'ndeki Atık İzolasyon Pilot Tesisi'nde yataklı tuzda depolanır. Almanya'daki Gorleben ve Asse diyapirlerindeki diğer pilot tesisler, düşük seviyeli ve orta seviyeli nükleer atıkları geçici olarak depolarken, yüksek seviyeli nükleer atıkları kalıcı olarak depolamak için tartışmalı durumlar da vardır. Tuz mağaraları, ultra yüksek enerjili nötrino saçılması ve karanlık madde etkileşimleri (örneğin, Saltdome Shower Array) gibi son derece nadir nükleer reaksiyonları incelemek amacıyla tuzun istenmeyen parçacıkları filtrelediği gözlemleri için de düşünülmüştür [13].

Yer altı gaz depolaması, üretim ve aktarımda aksamalar olması durumunda arz güvenliği sağladığından stratejik olarak önemli bir yere sahiptir. Doğal gaz satış fiyatındaki değişimlere veya siyasi/teknik sebeplerden ötürü yaşanan kesintilere bağlı olarak gaz temininde aksaklıklar yaşanabilmektedir. Yer altında gaz depolaması, tüketimdeki mevsimsel değişimleri dengelemek için de kritik bir öneme sahiptir. Bunlara ek olarak gazın kullanıldığı yerde yerel olarak depolanabilme imkânı sağlayacağından gazın nakliyesi ile ilgili yaşanabilecek olumsuzluklar ortadan kaldırılmış olacak ve üretimin etkinliğini arttıracaktır. Üç ana yer altı depolama yöntemi var olup bunlar sırasıyla tükenmiş petrol veya gaz rezervuarları, akiferler, tuz mağaralarıdır.

Türkiye doğal gaz arz talep dengesi dikkate alındığında yıllık gaz talebinin karşılanmasında herhangi sorun yaşamamaktadır. Ancak, talebin yoğun olduğu kış aylarında ve talebin en üst noktaya çıktığı dönemlerde kaynak ülkelerdeki veya güzergâh ülkelerdeki aksamaların neden olabileceği dönemsel arz talep dengesizliklerini ortadan kaldırmak için çalışmalar devam etmektedir. Kuzey Marmara ve Değirmenköy Sahası, Tuz Gölü Doğal Gaz Yer Altı Depolama Projesi, Yüzer LNG Depolama ve yeniden Gazlaştırma Tesisi (FSRU)'ları Aliğa/İzmir ve Dörtöy/Hatay'da işletmeye alınmıştır. Üçüncü Yüzer LNG Depolama ve Gazlaştırma Ünitesi (FSRU)'ya Sistemine yönelik çalışmalar ise devam etmektedir.

Endüstriyel uygulamalarda, taşımacılıkta ve güç üretim sistemlerinde fosil yakıt bazlı enerji kaynaklarının kullanımı küresel ısınma ve hava kirliliğine sebep olan toksik gazların atmosfere salınımına sebep olmaktadır. Özellikle şehir içi taşımacılıkta fosil yakıt kullanımı ciddi sağlık problemlerine sebep olmakta ve günlük hayatta yaşamsal konforu olumsuz etkilemektedir. Rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklı enerjilerin kimyasal olarak depolanmasında ve sıfır-atık ile güç üretilmesinde hidrojen teknolojisinden yararlanılabilir. En basit anlamda güneş panellerinden veya rüzgâr türbinlerinden elde edilen elektrik enerjisi suyun elektrolizi yoluyla hidrojenin elde edilmesinde kullanılabilir. Elde edilen hidrojen, uygun

depolama teknikleri kullanılarak sıvı veya gaz formunda üretildiği yerde saklanabilir veya farklı bir yerde tüketilmek üzere taşınabilir. Yakıt pilleri hidrojen elektrik elde edilmesinde kullanılmaktadır. Yakıt pilinde hidrojen elektrığe dönüşürken yalnızca su açığa çıktığından çevreye ve insan sağlığına olumsuz yan etkiler içermemektedir. Hidrojen teknolojisi bu nedenle üretiminden tüketime kadar bütünüyle çevre dostu olarak işletilebilmektedir. Hidrojenin yakıt olarak ulaşım, güç üretim tesisleri veya endüstriyel uygulamalarda yaygınlaşması için verimli, güvenli ve ekonomik depolama sistemlerinin tasarımı çok önemlidir [13].

Günümüzde artan nüfus ve tüketim sebebiyle atıkların bertaraf edilmesi önemli çevre sorunlarından birisi haline gelmiştir. Bu tür bir çevre sorununun giderilmesi için tercih edilen yöntemlerden birisi de uygun ortamlarda atıkların depolama alanlarında toplanmasıdır. Yeraltında, çoğunlukla sıvı ve gazlara karşı geçirimsiz olan yeterli kalınlıktaki evaporitik tuz yatakları (kaya tuzu, tuz domları vb.), potansiyel olarak aranan jeolojik engel özelliklerine sahip olabilmektedir. Bu depolama ortamlarının genellikle geçirimsiz killi birimler ile çevrilmiş olması da uzun süreli güvenlik açısından oldukça olumlu etki yaratmaktadır. Bu açıdan, özellikle suya karşı hassas olan tuz yatakları ve dolayısıyla yeraltı tuz madenlerinde (kaya tuzu, vb.) üretim çalışmaları sonucunda ortaya çıkan açıklıklar, endüstriyel atıkların depolanabilmesi için önemli bir potansiyel teşkil etmektedir.

Günümüzde fosil yakıtların (petrol ve türevleri, kömür ve doğal gazın) sanayide kullanılması sonucu atmosfere yoğun miktarda karbon dioksit karışmaktadır. Bu yolla atmosfere karışan karbondioksit gazı, toplam karbon dioksit emisyonlarının % 80-85'ini oluşturmaktadır. Geriye kalanı (% 15-20) canlıların solunumundan ve organik maddeleri ayrıştırmasından kaynaklanmaktadır. Fosil yakıt kullanımının hızla artması ve fotosentez için tonlarca karbon dioksiti harcayan ormanların ve bitkisel alanların tahribi, atmosferdeki karbon dioksit miktarını son yılların en yüksek seviyesine ulaştırmıştır. Günümüzde, karbon dioksiti depolayacak alanlar sınırlıdır. Açığa çıkan karbon dioksitin büyük miktarı sera etkisinin azaltılabilmesi için depolanmak zorundadır. Bu gaz, tüketilmiş petrol ve doğal gaz rezervuarlarında, derin tuzlu formasyonları ve işletilemeyen tuz damarları gibi jeolojik yapılarda sıkıştırılarak yüksek miktarlarda depolanabilmektedir.

Gelişmiş olan ülkelerde, yeraltı madenlerinde endüstriyel atık depolama seçeneği atık yönetimi sistemleri içerisinde yerini almaktadır. Gelecekte yer üstünde depolama alanlarında yaşanacak azalmalara ve güçleşen izin sorunlarına paralel olarak, uygun yeraltı tuz boşluklarında depolanan endüstriyel atık miktarında artış olabilecektir.

Gelişmekte olan ülkelerde atık yönetimi sistemlerinde yeraltında atık depolama faaliyetlerin yer alabilmesi için, öncelikle tuz boşluk alanlarının belirlenmesi gerekmektedir. Depolama alanlarının tespiti, açıklıkları, faydalanabilir boşluk hacimleri ve özellikleri jeolojik ve jeofiziksel yöntemlerle belirlenip, uygulanabilecek depolama yöntemine göre sınıflandırılmalıdır. Tüm bu

bilgilerin ışığında, hukuki ile teknolojik ölçütlerin belirlenmiş olması ve faaliyetin ekonomik olarak gerçekleştirilebilmesi koşuluna bağlı olarak, yeraltında depolama olanakları değerlendirilmelidir.

Tuz yatakları gerek kullanılabilir endüstriyel hammaddelerin ve stratejik önem taşıyan enerji hammaddelerinin, gerekse tehlikeli atıkların depolanması için uygun bir yapıya sahiptir. Bu uygunluğun başlıca nedenleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- Tuz yataklarının yeryüzü genelinde yaygın ve sık oluşumu,
- Tuz yataklarının geçirimsizliği, su geçişlerinin (akifer) bulunmaması,
- Kaya tuzunun özel jeomekanik özellikleri, tuza özel plastik özellik (tuzun plastisitesi),
- Kaya tuzunun depolanan maddelerin büyük bir çoğunluğu ile reaksiyona girmemesi,
- Tuz yataklarının ihtiyaç duyulan depolama hacimlerinin oluşturulabilmesi için yeterli kalınlığa sahip olabilmeleri,
- Daha düşük maliyet.

Günümüzde büyük değişiklikler gösteren ülkeler arasındaki kuvvet dengesi savunmada gerekli bilimsel önlemlerin alınmasını zorunlu kılabilmektedir. Yer bilimlerinin askeri hareketlerde önemli derecede rol oynaması çok eski tarihlere dayanırsa da bilinçli şekilde ilk incelemeler 2. Dünya Savaşı sırasında gerçekleşmiştir. Yakın tarihe göz atıldığında askeri bütünlüğe karşı arazisini ve bölgesinin doğal koşullarını iyi tanıyan birliklerin savaştan zaferle çıktıkları görülmüştür. Daha önceleri yeterince tanınmayan ve doğal engel olarak kabul edilen topografya ve morfoloji bugün uydu ve hava fotoğrafları ile ayrıntılı olarak incelenmektedir. Bu nedenlerle yer bilimlerinde yapılan araştırmaların, yurt savunmasını yüklenmiş olan silahlı kuvvetlerce, yer altına gizlenme ve gerekli hammadde güvenliği gibi amaçlarla kullanılması bakımından büyük önem taşımaktadır.

Genellikle savaş endüstrisinde ileri bir teknolojiye sahip ülkelerde savaş araçlarının ve patlayıcı maddelerin üretimi için gerekli hammaddenin sağlanması ve bunun güvenliği, dünyada bilinen maden yataklarının da sınırlılığı nedeniyle bazı sorunlar yaratabilmektedir. Savaş araçlarının yapımı sivil, askeri endüstri ile sıkı bir ilişki içerisinde yürütülmektedir. Günümüzde sık sık darlığı duyulan bir çok petro-kimyasal, metalürjik ve endüstriyel hammaddenin savaş anında sağlanması ve yüksek düzeyde işlenmesinin büyük zorluklar doğuracağı öngörülmektedir. Bu nedenle maden ve hammadde sahalarının ileri yöntemlerle ve daha ayrıntılı bir şekilde jeolojik ve jeofizik etütlerinin yapılması zorunludur. Öte yandan gelişen teknoloji gerek atom ve nötron bombalarının yapımında gerekse enerji kaynağı olarak kullanılan radyoaktif minerallerine olan ihtiyacın oldukça fazla olduğu büyük bir gerçekliktir. Ülkemiz ise, jeolojik yapısı göz önüne alındığında uranyum ve toryum bakımından şanslı olduğu görülmektedir.



Stok olarak bulunması gerekli petrol, petrolden elde edilen ürünler, çeşitli gazlar gibi hayati önem taşıyan maddelerin yeraltında ya da deniz tabanında da depolanarak saklanması önem taşımaktadır. Genellikle yüzey şekillerinin özel biçimleri, yer altındaki mağaralar ve gözenekli tuz tabakaları, terk edilmiş büyük maden galerileri ve tuz mağaraları (kavern) gibi yerler ayrıntılı jeolojik bilgilere dayanılarak depo olarak kullanılabilir. Sivas Havzası'nda ve özellikle Sivas kent merkezi civarında evaporitik kayaçlar olan jips ve anhidritlerde bu yönde bir depolama olabileceğine dair değerlendirme yapmak yanlış olmaz.

## Sonuçlar

Tuz formasyonlarında bulunan boşlukları kullanılarak birçok alanlarda depolama faaliyeti gerçekleştirilebilmektedir. Sivas Havzasında yapılan araştırmalar neticesinde, özellikle havzanın orta kesimi olan Emirhan yöresinde tuz tektoniği yoğun olarak gözlenmektedir. Tuz tektoniği alanları askeri teçhizat, doğal gaz, petrol, hidrojen, karbon dioksit ve atık depolama alanları olarak kullanılabilir. Sivas'ta jeopolitik konumu itibarıyla güvenli bölge içinde yer alması sebebiyle askeri, enerji ve atık depolama alanlarına ihtiyacın yoğun olabileceği bir konumdur. Dünyada ve ülkemizde depolama alanlarına rastlanmaması Sivas'ta tespit edilecek tuz alanlarında askeri, enerji ve atık depolama maksatlı alanların tespitine de oldukça ihtiyaç olduğu ortaya çıkmıştır.

Depolamalar için tuz mağaralardan (cavern) ve tuz boşluklarından yararlanılabilir. Fakat bunların teknik bakımdan güvenceli olabilmesi için aşağıdaki noktaların iyi araştırılması gerekmektedir;

1. Kaya tuzu içindeki mağaraların çevresinin sağlamlığının saptanması gerekmektedir.
2. Kayaç çevresinin sıkışma yeteneğinin ve kaymaya karşı direncinin saptanması gerekmektedir.
3. Sıvı ve gaz halindeki malzemenin akmasına, veya çevresine sızmasına karşı kayacın geçirgenliği, gözenekliliği, dokusu ve mineralojik özelliklerinin bilinmesi gereklidir.
4. Yer sarsıntılarında etkilenmemeleri için gerekli jeolojik ve jeofizik araştırmalar yapılmalıdır.
5. Radyoaktif etkenlerden ve artıklardan etkilenmemesi için gerekli emniyet uygulamaları göz önüne alınarak gerekli tedbirler alınmalıdır.
6. Tuz ve jips gibi kayaçların suyla çözülerek, mağara oluşturma yetenekleri incelenmelidir. Depolama sonrası ilerleyen zamanlarda depolama alanlarında meydana gelebilecek değişimler tespit edilmelidir.
7. Tuz tektoniği yapılarında gerçekleştirilecek depolamalarda, depolanacak malzemelerin tuz ile tepkimeye girebilecek malzeme olmamasına özen gösterilmelidir.

Petrol içerebilecek bir sedimanter havza olması dolayısıyla 1960 yıllardan itibaren MTA ve TPAO, üniversiteler ve yabancı petrol şirketleri tarafından ayrıntılı olarak incelenen Sivas Havzası'nda yapılmış sismik kesitler ve sondajlarla ilgili tüm veriler ortaya çıkarılmalı ve yer bilimciler tarafından bütüncül ve çok disiplinli yaklaşımlarla değerlendirilmelidir. Özellikle Sivas Havzası'nda MTA, TPAO ve yerli/yabancı petrol şirketleri tarafından yapılan jeolojik çalışmalar, sondaj verileri ve sismik kesitlerin tümü ortaya çıkarılmalı ve bütünlük bir bakış açısıyla başta jeologlar, jeofizikçiler olmak üzere yer bilimci araştırmacılar tarafından ayrıntılı bir şekilde incelenmelidir.

Sonuç olarak bu makalenin konusu olan çalışmada kullanılan jeofizik yöntemlerden sismik yansıma yöntemi tuz domu belirlemede ve derin araştırmalarda tercih edilen önemli bir yöntemdir. Sivas'ın jeopolitik konumu ve jeolojik yapısı geniş tuz tektoniği yapıları sebebiyle savunma ve enerji amaçlı depolama alanlarının, ayrıntısı yukarıda verilen Sivas Havzası'nda geniş alanlarda bulunabileceği düşünülmektedir. Jeolojik, jeofizik yöntemlere ek olarak görüntü işlem yöntemleriyle tuz ve evaporitleri arazideki yüzlemlerde tespit etmek mümkündür. Jeolojik depolamada özellikle sismik kesitlerle başta tuz tektoniği olmak üzere tuz domları ve mağaralarının kısa sürelerde ortaya çıkarılmasının mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

## Kaynaklar

- [1] Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. ve Ketin, t., 1982 Remnants of a pre-late Jurassic ocean in northern Turkey \* Fragments of Permian - Triassic Paleo - Tethys? Reply : Geol. Soc. America Bull., 93,932 - 936.
- [2] van Hinsbergen, D. J. J. et al. Tectonic evolution and paleogeography of the Kırşehir Block and the Central Anatolian Ophiolites, Turkey. Tectonics 35, 983-1014, doi:10.1002/ (2016).
- [3] Okay, A.I. ve 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 ve M. Séranne), Geological Society of London, Special Publication 156, 475-515.
- [4] Legeay, E., Pichat, A., Kergaravat, C., Ribes, C., Callot, J.P., Ringenbach, J.C., Bonnel, C., Hoareau, G., Poisson, A., Mohn, G., Crumeyrolle, P., Kavak, K.Ş., Temiz, H., 2019, Geology of the Central Sivas Basin (Turkey), 2018, Journal of Maps, Cilt 15, Sayı 2, s. 406-417
- [5] Kurtman , F., (1973), Sivas- Hafik -Zara ve İmranlı Bölgesinin Jeolojik ve Tektonik Yapısı: MTA Derg. , 80, s.1-33.
- [6] Hudec, M and Jackson, M.P.A. Michael R. Hudec, Martin P.A. Jackson, 2007, Terra infirma: Understanding salt tectonics, Earth-Science Reviews, Volume 82, Issues 1–2, p. 1-28

[7] Fossen, H. (2010) Structural Geology. Cambridge University Press, Cambridge, 463.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511777806>

[8] Kergaravat, C. (2016). Dynamique de formation et de déformation de minibassins en contexte compressif: exemple du bassin de Sivas, Turquie-Approche terrain et implications structurales multiéchelles (PhD Thesis). University of Pau, France.

[9] Cicekliyurt, S. B., Kavak, K. S., Callot, J., & Ringenbach, J., (2016). Detection and discrimination of complex thrust and salt tectonics structures using field data and RASAT images around the Emirhan region (Sivas, Turkey) . 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU) (pp.2225-2228). Zonguldak, Turkey

[10] Cook, P.J., 1999, Sustainability and nonrenewable resources. Environmental Geosciences, 6(4), 185-190

[11] Anıl M, Bastacioğlu B (2013). Tuz Tabakalarında Çözelti Madenciliği ve Oluşan Boşlukta Doğalgaz Depolama İmkanlarının Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(2), 149 - 160

[12] Kahraman, B., Arslan, A. T., Koca, M. Y., Pamukçu, Ç., Pamukçu, O., & Gök, E., (2013). Oligosen Miyosen Yaşlı Jipslerin Yeraltı Doğalgaz Depolama Amaçlı Kullanılabilirliği. Türkiye 19. Uluslararası Doğal ve Petrol Gaz Kongre ve Sergisi 15-17 Mayıs 2013 Ankara

[13] Bektaşoğlu İ.(2016). Tuz Gölü havzasında doğal gaz depolama amaçlı yer altı açıklıklarının oluşturulmasında kayaç özelliklerinin çözünme hızına etkisinin incelenmesi [Yüksek Lisans Tezi]. Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2016



## Hybrid Use and Analysis of Solar and Wind Energy Systems for Hill Radio Station

İsa Karabulut<sup>1,a,\*</sup>, Serdar Koçkanat<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> Türk Telekom A.Ş. Sivas, 58040, Turkey

<sup>2</sup> Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of, Electrical and Electronics Engineering, Sivas, 58140, Turkey

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 12/06/2024

Accepted: 21/06/2024

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

## Tepe Radyo İstasyonu İçin Güneş ve Rüzgar Enerji Sistemlerinin Hibrit Kullanım ve Analizi

#### Süreç

Geliş: 12/06/2024

Kabul: 21/06/2024

### ABSTRACT

In today's world, communication and energy technologies are constantly evolving and hold critical importance in every aspect of our lives. While the widespread availability of both communication and energy infrastructure in large cities facilitates our daily lives, the lack of these infrastructures in rural areas poses a significant challenge. Particularly in small villages, the absence of communication infrastructure hinders access to information and social interaction, and delays the ability to receive assistance in emergency situations. To address this issue, a hybrid solar and wind powered Radio Link (RL) communication infrastructure has been established in Karayaprak village. This innovative solution stems from the challenges of installing traditional fiber or copper cable infrastructure due to high costs and the remoteness of energy infrastructure from the grid. To overcome the communication problems arising from this infrastructure gap, the sustainable energy source provided by solar and wind power has been combined with the long-distance communication capabilities of RL technology. The hybrid solar and wind powered RL system ensures uninterrupted and affordable communication for the residents of Karayaprak village. This system is more cost-effective compared to traditional infrastructure and is more sustainable as it can operate independently from the grid. As a result, villagers can meet their basic needs such as internet access, phone calls, and emergency communication, and can also easily access information in areas such as education and healthcare. The hybrid energy-powered RL system implemented in Karayaprak village goes beyond simply solving the communication problem of a single village and serves as an inspiring example for the establishment and development of communication infrastructure in rural areas. This innovative solution provides an applicable model for other villages and regions facing similar challenges.

**Keywords:** Hybrid, Radio Link Station, Wind Power Plant (WPP), Solar Power Plant (SPP).

### Öz

Günümüzde iletişim ve enerji teknolojileri sürekli gelişmekte olan ve hayatımızın her alanında kritik öneme sahip iki sektördür. Büyük şehirlerde hem iletişim hem de enerji altyapısının yaygın olması hayatımızı kolaylaştırırken, kırsal bölgelerde bu altyapıların eksikliği önemli bir sorun teşkil etmektedir. Özellikle küçük köylerde iletişim altyapısının olmaması, bilgiye erişim ve sosyalleşmeyi zorlaştırmakta, acil durumlarda yardım alabilmeyi geciktirmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için Karayaprak köyünde güneş ve rüzgar enerjisi ile çalışan bir hibrit Radyo Link (RL) iletişim altyapısı kurulmuştur. Bu inovatif çözümün temelinde, geleneksel fiber veya bakır kablo altyapısının kurulmasının maliyetli ve enerji altyapısının da şebekeden uzak olması gibi engeller yatmaktadır. Bu altyapı eksikliğini yol açtığı iletişim sorununu çözmek için, güneş ve rüzgar enerjisinin sunduğu sürdürülebilir enerji kaynağı ve RL teknolojisinin uzun mesafelerde haberleşme yeteneği bir araya getirilmiştir. Hibrit güneş ve rüzgar enerjili RL sistemi, Karayaprak köyünde yaşayan insanların kesintisiz ve uygun fiyatlı bir şekilde iletişim kurmasını sağlamaktadır. Bu sistem, geleneksel altyapıya kıyasla daha düşük maliyetlidir ve şebekeden bağımsız çalışabildiği için daha sürdürülebilirdir. Bu sayede köy sakinleri, internet erişimi, telefon görüşmeleri ve acil durum iletişimi gibi temel ihtiyaçlarını karşılayabilmekte, eğitim ve sağlık gibi alanlarda da bilgiye kolayca ulaşabilmektedir. Karayaprak köyünde uygulanan hibrit enerjili RL sistemi, sadece bir köyün iletişim sorununu çözmenin ötesinde, kırsal alanlarda iletişim altyapısının kurulması ve geliştirilmesi için ilham verici bir örnek teşkil etmektedir. Bu inovatif çözüm, benzer sorunlarla karşı karşıya kalan diğer köyler ve bölgeler için de uygulanabilir bir model oluşturmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Hibrit, Radyo Link İstasyonu, Rüzgar Enerji Santrali (RES), Güneş Enerjisi Santrali (GES)

<sup>a</sup> m.isakarabulut@gmail.com

<sup>id</sup> 0009-0002-9542-2945

<sup>b</sup> skockkanat@cumhuriyet.edu.tr

<sup>id</sup> 0000-0001-6415-0241

**How to Cite:** Karabulut İ, Koçkanat S (2024) Hybrid Use and Analysis of Solar and Wind Energy Systems for Hill Radio Station, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 107-118

## Giriş

Modern dünyada iletişim, yaşamın her köşesine işleyen bir damar gibi hayati önem taşımaktadır. Bu damarı besleyen ve işlevini sürdüren enerji ise sinir sistemi gibi kritik bir rol oynar. Bu iki hayati alanın kesiştiği noktada, şebekeden bağımsız ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla güçlendirilmiş haberleşme santralleri, geleceğe bağlı ve sürdürülebilir bir iletişim altyapısı inşa etmenin anahtarı konumundadır.

Güneş, rüzgar, su ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir kaynaklar, haberleşme santrallerinin ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlayarak karbon ayak izini sıfıra indirir ve enerji güvenliğini artırır. Akıllı şebekeler ve enerji yönetim sistemleri gibi BİT çözümleri ile üretilen enerji optimize edilir, depolanır ve şebeke kesintilerinden etkilenmeden iletişimin kesintisiz devam etmesini sağlar [1]. Bu yenilikçi yaklaşım sadece çevreye duyarlı bir iletişim altyapısı inşa etmekle kalmaz, aynı zamanda uzak ve gelişmekte olan bölgelere de internet erişimi sağlayarak dijital eşitsizlikleri ortadan kaldırır. Yenilenebilir enerjili haberleşme santralleri, bilgiye erişimin demokratikleşmesine ve dijital kalkınmaya katkıda bulunur.

Sonuç olarak, yenilenebilir enerjili haberleşme santralleri sürdürülebilir bir geleceğin temelini oluşturur. Bu santraller, iletişimin kesintisiz devam etmesini sağlarken, enerji güvenliğini artırır, çevreyi korur ve dijital eşitsizlikleri ortadan kaldırır. Kamu ve özel sektörlerin iş birliğiyle bu vizyonu hayata geçirmek, hepimizin yararına olacak bir gelecek inşa etmemizi sağlayacaktır.

Sivas ili Hafik ilçesine bağlı Karayaprak köyünde iletişim için herhangi bir altyapı bulunmamaktaydı. İletişim altyapısının olmamasından dolayı köy halkı, bilgiye erişim de ve sosyalleşme de zorluklar yaşamakta, acil durumlarda ise geç yardım alabilmekteydi. Bu sorunun üstesinden gelmek için Karayaprak köyünde güneş ve rüzgar enerjisi ile çalışan bir hibrit Radyo Link (RL) iletişim altyapısı kurulmuştur. Bu inovatif çözümün temelinde, geleneksel fiber veya bakır kablo altyapısının kurulmasının maliyetli ve enerji altyapısının da şebekeden uzak olması gibi engeller yatmaktadır. Bu altyapı eksikliğinin yol açtığı iletişim sorununu çözmek için, güneş ve rüzgar enerjisinin sunduğu sürdürülebilir enerji kaynağı ve RL teknolojisinin uzun mesafelerde haberleşme yeteneği bir araya getirilmiştir [2].

Hibrit güneş ve rüzgar enerjili RL sistemi, Karayaprak köyünde yaşayan insanların kesintisiz ve uygun fiyatlı bir şekilde iletişim kurmasını sağlamaktadır. Bu sistem, geleneksel altyapıya kıyasla daha düşük maliyetlidir ve şebekeden bağımsız çalışabildiği için daha sürdürülebilirdir.

Bu hibrit enerjili RL sistemi, Karayaprak köyünün sadece iletişim sorununu çözenin ötesinde, kırsal alanlarda iletişim altyapısının kurulması ve geliştirilmesi için ilham verici bir örnek teşkil etmektedir. Sistemin sağladığı internet erişimi, telefon görüşmeleri ve acil durum iletişimi gibi temel ihtiyaçları karşılama imkanı, köy sakinlerinin yaşam kalitesini önemli ölçüde artırmıştır. Eğitim ve sağlık gibi alanlarda bilgiye kolayca ulaşabilmeleri ise, bu alanlarda da gelişmelerine katkıda bulunmaktadır. Bu inovatif çözüm, benzer sorunlarla karşı karşıya kalan diğer köyler ve bölgeler için de uygulanabilir bir model oluşturmaktadır. Bu sayede, kırsal alanlarda yaşayan insanların da temel ihtiyaçlarını karşılamaları ve bilgiye erişimleri kolaylaştırılabilir, bu da bölgesel kalkınmaya ve refaha katkıda bulunabilir.

Sistemin sunduğu avantajlar sadece bunlarla sınırlı değildir. Hibrit enerjili RL sistemi, güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak çalışmaktadır. Bu sayede, hem çevre dostu bir çözüm sunmakta hem de enerji maliyetlerini düşürmektedir. Ayrıca, sistemin modüler yapısı, farklı ihtiyaçlara göre kolayca ölçeklendirilebilmesini ve yeni teknolojilere entegre edilebilmesini sağlamaktadır.

## Güneş Enerjisi, Rüzgar Enerjisi ve RL Haberleşme Sistemleri

### Güneş Enerjisi

Güneş, Dünya'mıza 150 milyon km uzaklıkta muazzam bir yıldızdır. Yaklaşık 5.800°C sıcaklığındaki çekirdeğinde hidrojen atomları helyuma dönüşerek enerji üretir. Bu enerji, Dünya'ya ışık ve ısı olarak ulaşır ve yaşamın kaynağını oluşturur [3].

Güneş enerjisi, 1970'lerden beri gelişen teknolojilerle temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak öne çıkmıştır. Güneş panelleri, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürerek binalarda, arazilerde ve hatta yüzen platformlarda kullanılabilir. Fosil yakıtlara kıyasla daha az karbon salınımı ile iklim değişikliğine karşı mücadelede önemli rol oynar. Güneş enerjisi, silikon gibi bol bulunan malzemelerle üretilebilir ve farklı ihtiyaçlara göre uyarlanabilir [4].

### Fotovoltaik Hücre Çeşitleri

Güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken sistemler olan fotovoltaik hücreler, modern enerji teknolojisinin temel taşlarından biridir. Güneş pilleri veya güneş hücreleri olarak da adlandırılan bu sistemler, çoğunlukla silisyumdan üretilir. Fakat saflaştırma işleminin maliyetli olması, güneş pillerinin yüksek fiyatının temel sebeplerinden biridir.

Farklı teknolojilere göre sınıflandırılan fotovoltaik hücreler, üç ana gruba ayrılır: Kristalin silikon (c-Si) hücreler yüksek verimlilik ve uzun ömürleriyle öne çıkarken, ince film hücreler daha az malzeme kullanımı ve düşük üretim maliyeti sunar. Organik fotovoltaik (OPV) hücreler ise esneklik ve düşük maliyet gibi avantajlar sunarlar, ancak ticari olarak yaygınlaşma aşamasındadır ve verimleri diğer teknolojilere göre düşüktür.

Son yıllarda yapılan çalışmalar ile üretim maliyetleri düşürülmekte ve verimlilikleri artırılmaktadır. Bu gelişmeler ışığında, güneş enerjisinin önümüzdeki yıllarda çok daha yaygınlaşması ve önemli bir enerji kaynağı haline gelmesi beklenmektedir [5].

### Fotovoltaik Pilin Çalışma Prensibi

Güneş pili, güneş ışığından elektrik enerjisi üreten bir cihazdır. Bu işlem, fotovoltaik adı verilen bir süreç ile gerçekleşir. Güneş pilinin temel çalışma prensibi, yarı iletken bir malzemenin iki farklı tipte (N ve P tipi) kakalanmasıyla oluşturulan PN eklemine dayanır. Güneş ışığı bu eklemeye çarptığında, fotonlar adındaki enerji paketleri elektronları serbest bırakır. Bu serbest kalan elektronlar, N tipi bölgeden P tipi bölgeye doğru hareket ederek bir elektrik akımı oluşturur. Oluşan elektrik akımının gücü, güneş ışığının yoğunluğuna ve güneş pilinin verimliliğine bağlıdır. Güneş pillerinin verimliliği, genellikle %15-20 civarındadır. Tek bir güneş pili, nispeten düşük miktarda elektrik üretebilir. Bu nedenle, daha fazla güç elde etmek için, güneş hücreleri seri veya paralel olarak bağlanarak güneş panelleri oluşturulur. Bir güneş paneli, onlarca veya yüzlerce güneş hücresinden oluşabilir [6].

### Güneş Enerji Santrallerinin Faydaları

- Sera gazı emisyonu ve hava kirliliği yaratmaz, bu sayede çevreye duyarlı bir enerji kaynağıdır.
- Güneş ışığı tükenmez bir kaynak olduğundan, uzun vadede sürdürülebilir bir çözüm sunar.
- Güneş panelleri nispeten kolay kurulabilir ve taşınabilir. Bu sayede farklı alanlarda ve koşullarda kullanıma uygundur.
- Modüler bir yapıya sahip olan güneş enerjisi sistemleri, ihtiyaç duyulan enerji miktarına göre kolayca uyarlanabilir.
- Kurulumdan sonra güneş ışığı dışında herhangi bir yakıtı ihtiyaç duymaz. Bu sayede, yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalardan etkilenmez ve işletme maliyetleri düşer.
- Güneş panelleri, hareketli parça içermediklerinden mekanik aşınmaya maruz kalmazlar. Bu sayede uzun yıllar sorunsuz bir şekilde çalışabilirler.
- Elektrik şebekesine bağlı olmadan çalışabilir. Bu sayede şebeke erişimi olmayan bölgelerde de kullanılabilir.
- Enerjinin üretildiği yerde tüketilmesi iletim ve taşıma sırasında oluşabilecek enerji kayıplarını önler.
- Uzun vadede önemli bir tasarruf sağlar.
- Ülkelerin enerji ithalatına olan bağımlılığını azaltarak enerji güvenliğini artırır.
- Farklı alanlarda kullanılabilir, sessiz ve titreşimsiz çalışır, düşük bakım gerektirir, estetik açıdan da hoş bir görünüme sahiptir [7].

### Rüzgar Enerjisi

Güneşin havayı ısıtması, atmosferde termal farklılıkların oluşmasına ve bu farklılıkların neden olduğu hava hareketlerine sebep olmaktadır. Bu atmosferik hareketler, rüzgarların oluşmasını sağlar. Rüzgarın temel oluşumunu etkileyen ve dünya atmosferindeki hava kütlelerinin hareketini sağlayan belli başlı kuvvetler; basınç gradyan kuvveti, coriolis kuvveti, merkezkaç kuvveti ve sürtünme kuvveti olarak tanımlanmaktadır [8].

### Rüzgâr Türbini

Rüzgâr türbini, rüzgarın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistem olarak tanımlanmaktadır. Rüzgâr türbinleri ile rüzgarın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilmekte ve dönüş hızı dişli kutusu kullanan sistemlerde bu komponent vasıtasıyla artırılarak türbinin gövde bölümünde yer alan jeneratörlere aktararak elektrik enerjisi üretilmektedir [9].

### Rüzgâr Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgâr türbinleri dönme eksenlerine, devirlerine, güçlerine, kanat sayılarına, rüzgâr etkisine, dişli özelliklerine ve kurulum konumlarına göre sınıflandırılabilirler [10].

En yaygın tür, yatay eksene bağlı kanatlara sahip yatay eksenli türbinlerdir. Bu türbinler, yüksek güç üretimi ile öne çıkar. Daha az yer kaplayan ve düşük rüzgarlarda da çalışabilen dikey eksenli türbinler ise daha az güç üretir.

Hem yatay hem de dikey eksenli türbinlerin avantajlarını sunan eğik eksenli türbinler de mevcuttur [11].

Kanat sayısına göre tek, çift, üç ve çok kanatlı türbinler sınıflandırılırken, rüzgarı alışı yönüne göre rüzgarı önden veya arkadan alan türbinler ayrılır [12].

Güç kapasitesine göre ise ev ve işletmeler için uygun küçük güçlü, küçük rüzgar santralleri için orta güçlü, büyük rüzgar santrallerinin temelini oluşturan büyük güçlü ve büyük ölçekli rüzgar enerjisi projelerinde kullanılan çok büyük güçlü türbinler tanımlanır [12].

Dişli kutusu kullanımı da türbinleri ikiye ayırır: Dişli kutulu türbinlerde pervanelerin dönüşü dişli kutusu aracılığıyla jeneratöre aktarılırken, dişli kutusu kullanmadan çalışan türbinlerde bu aktarım direkt gerçekleşir [10].

Son olarak, kurulum yerine göre karadaki açık alanlara kurulumu yapılan kara üstü ve denizin sığ sularına kurulumu yapılan deniz üstü türbinler sınıflandırılır [12].

### Rüzgar Enerjisi Santralleri Enerji Üretimi

Rüzgar türbinleri, dev pervaneleri ile rüzgarın kinetik enerjisini yakalar ve bunu bir jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürür. Türbin kanatları, rüzgarın hızını ve yönünü en iyi şekilde kullanacak şekilde tasarlanmıştır. Jeneratör, rotorun dönüş hareketini elektrik akımına çevirir. Üretilen elektrik, yüksek gerilim hatları ile şebekeye taşınır ve evlere ve işyerlerine dağıtılır. Rüzgar enerjisi, temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olması ile öne çıkarak, sera gazı emisyonu ve hava kirliliğini engellemeye yardımcı olur.

### Rüzgar Enerjisi Santralleri Avantajları

- Rüzgar santrallerinin üretim hayatı boyunca yakıt maliyeti yoktur ve işletme maliyetleri oldukça düşüktür. Bu da onları uzun vadede ekonomik bir enerji kaynağı haline getirir.
- Rüzgar enerjisi, yerli bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle, ülkelerin enerjide dışa bağımlılığını azaltmaya yardımcı olur.
- Rüzgar türbinleri modülerdir ve herhangi bir büyüklükte imal edilebilirler. Bu sayede tek başına veya gruplar halinde kullanılabilirler.
- Rüzgar enerjisi, kirlilik yaratmayan ve çevreye yok denecek kadar az zarar veren bir kaynaktır. Bu da onu sürdürülebilir bir enerji kaynağı haline getirir.
- Rüzgar tarlalarının geniş alan istemesi bir sorun olarak görülebilir. Fakat, rüzgar santralinde türbinlerin kapladığı gerçek alan santral toplam alanının %1-1,2'si kadardır. Türbinlerin aralarında tarım ve hayvancılık yapılabildiğinden arazi kaybı olmamaktadır ve çiftçilik faaliyetlerine engel olmamaktadır.
- Rüzgar enerjisinde üretimde kullanılan doğaya hiçbir zararı olmayan rüzgar türbinleri hem fazla alan kaplamamakta hem de kuruldukları alanda yaşayan insanlar için iş alanı oluşturmaktadır.
- Rüzgar çiftlikleri kolayca sökülebilmekte ve buldukları arazi kolayca eski haline getirilebilmektedir. Bu da rüzgar enerjisini sürdürülebilir bir enerji kaynağı haline getirir [13].

### Radyo Link Haberleşme Sistemleri

Birbirinden bağımsız iki nokta arasında elektromanyetik dalgalar aracılığıyla iletişimi sağlayan mekanizmalara radyo bağlantıları denir. Radyolink ile iletişim yalnızca iki nokta arasında kurulabilmektedir. Radyolink cihazları radyo veya TV vericisi olarak çalışmaz ve geniş kapsama alanı sağlamaz. Bu iletim yalnızca dar bir koridorda gerçekleşir ve o koridorun dışında gözlemlenemez. Radyo bağlantısı ekipmanının uygulamaları genellikle telefon santralleri veya televizyon stüdyoları ve vericileri arasındadır [14-15].

Radyolink tarafından oluşturulan iletişim kanalları genellikle uzak mesafe aramaları için kullanılır. Burada, bir santral görevi gören nokta, "çoğullama" adı verilen bir işlemle radyo bağlantısı iletişimini sağlamak için kanalları temel taşıyıcılar halinde birleştirir. Çoğullama işleminde 10 - 60 - 180 - 960 - 1800 veya daha fazla kanal bir alıcı veya verici görevi görecektir şekilde birleştirilebilir.

Radyolink sistemlerinde kullanılan frekansların kalitesi, ilettikleri veri miktarına göre değişmektedir. Radyo link sistemlerinde kullanılan veri iletim frekansı genellikle 10 GHz veya daha yüksektir. Bu frekansları almak için parabolik antenler kullanılır. Ancak bazı radyo bağlantı istasyonları UHF bandını tercih etmekte ve iletimi yakalamak için YAGI antenlerini kullanmaktadır.

Birbirine yakın iki nokta arasında radyo bağlantısı iletilirken genellikle bir alıcı istasyon ve bir verici istasyon yeterlidir. Ancak uzak mesafelere gelindiğinde radyo link istasyonları arasına başka ara istasyonlar (tekrarlayıcılar) eklenir. Bu tür sistemlere zincirleme radyo link istasyonları adı verilmektedir ve her istasyon bir önceki istasyondan aldığı verileri iletişim frekansını değiştirerek bir sonraki istasyona iletmektedir. Bu frekans kaymaları çok düşük ara frekanslarda da meydana gelebilir [16].

Radyolink sisteminin kurulumu için öncelikle iki istasyon arasında optik görüş hattının kurulması gerekmektedir.

#### Optik Görüş Sağlanması

Görüş hattı, alıcı ve verici, iletimi antenlerin birbirini doğrudan görebildiği ve elektromanyetik dalgaların engellerden etkilenmeden iletildiği bir iletişim yöntemidir. 30 MHz'den yüksek frekanslarda, yer ve gök dalgası yayılımının mümkün olmaması ve iyonosferden yansımaların istenmeyen sapmalara ve gecikmelere yol açması nedeniyle, uydu iletişiminlerinde yer istasyonu ve uydu arasında görüş hattı iletimi tercih edilir [17].

#### Fresnel Bölgesi

Fresnel Bölgesi, iki anten arasındaki bölgede radyo dalgalarının yayılımını etkileyen ve engellerden arınmış olması gereken hayati bir alandır. Bu bölge, temiz ve engelsiz bir görüş hattı sağlayarak radyo sinyallerinin verimli bir şekilde iletilmesini sağlar. Fresnel Bölgesi'nin boyutu, kullanılan frekansa ve antenler arasındaki mesafeye bağlı olarak değişir [18].

#### Radyolink Sistemlerinin Avantajları

- Kablo döşemenin zor veya imkansız olduğu alanlarda veri iletişimi kurmak için idealdir.
- Mobil cihazlar ve araçlar ile iletişim kurmak için kullanılabilir.
- Kurulum ve bakım maliyeti kablolu sistemlere göre daha düşüktür.
- Kablo döşeme ihtiyacını ortadan kaldırdığı için kurulumu daha kolay ve hızlıdır.

- Kablolu sistemlere göre daha az bakım gerektirir.
- Kablo kopması veya hasarı gibi kablolu sistemlerde sıklıkla görülen sorunlardan etkilenmez.
- Kablolu sistemlere göre daha geniş bir kapsama alanına sahiptir.
- Kablolu sistemlere kıyasla daha yüksek veri aktarım hızları sağlayabilir.
- Veri şifreleme ve kimlik doğrulama gibi gelişmiş güvenlik özelliklerine sahiptir.
- İhtiyaç duyulduğu kolayca genişletilebilir.
- Kablo döşeme ihtiyacını ortadan kaldırdığı için çevreye daha az zarar verir.
- Gürültüye ve parazitlere karşı dayanıklılık, lisans gerektirmeme ve farklı frekans bantlarında çalışma gibi ek avantajlar da sunar.

### Tepe Radyo İstasyonu İçin Güneş Ve Rüzgar Enerji Sistemlerinin Hibrit Kullanımı

#### Sivas Karayaprak Köyü Hakkında

Sivas'ın Hafik ilçesine bağlı Karayaprak köyü, Kızılırmak havzasında, 1654 metre rakıma sahip bir köydür. Sivas il merkezine 63 km, Hafik ilçe merkezine ise 35 km uzaklıktadır. 2020 yılı nüfus sayımına göre 152 kişilik bir nüfusa sahip olan köy, geleneksel tarım ve hayvancılık ekonomisi ile geçimini sürdürmektedir. Karayaprak köyü güneş ve rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından da oldukça zengindir.

Köyün yıllık ortalama güneşlenme süresi 2.700 saat civarındadır ve güneş ışınları yoğunluğu yıllık ortalama olarak 1.500 kWh/m<sup>2</sup> civarındadır. Bu da güneş enerjisi santrallerinin yüksek verimlilikle çalışmasını sağlar. Ortalama rüzgar ise 6-8 m/s civarındadır. Bu hız, rüzgar enerjisi santrallerinin verimli bir şekilde çalışmasını sağlar.

Bu değerler köyün güneş ve rüzgar enerjisi yatırımları için oldukça uygun olduğunu gösteriyor. Köyde güneş ve rüzgar enerjisi yatırımları için uygun alanlar mevcuttur [19-24].

Kırsal alanlarda, enerji altyapısı eksikliği veya yetersizliği, iletişim altyapısının kurulmasını ve işlevini önemli ölçüde zorlaştırmaktadır. Bu durum, birçok köy ve küçük yerleşim yerinde olduğu gibi, Sivas'ın Hafik ilçesine bağlı Karayaprak köyünde de yaşanmaktadır. Karayaprak köyünde enerji altyapısı mevcut olmasına rağmen, internet, sabit telefon ve GSM gibi iletişim hizmetlerine erişim imkanı bulunmamaktadır. Bunun temel sebebi, fiber veya bakır kablo döşemenin yüksek maliyetidir. Bu maliyet, uzun mesafeler ve engebeli araziler gibi faktörler göz önüne alındığında daha da artmaktadır. Türk Telekom A.Ş. bu tür sorunlar için Radyo Link (RL) Santrallerini alternatif bir altyapı çözümü olarak kullanmaktadır. RL santralleri, uzun kablo metrajlarına ihtiyaç duymadan radyo frekansları aracılığıyla haberleşme imkanı sunar. Bu sistemin iki istasyonda da enerjiye ihtiyaç duyması ve DC akımla çalışması, enerji altyapısı eksikliği olan bölgelerde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Karayaprak köyünde, şebeke enerjisine erişimin zorluğu, RL istasyonunun kurulum ve işletme maliyetlerini artırmaktadır. Bu sorunun çözümü için, yüksek maliyetli çözümler yerine, RL istasyonunun Güneş Enerji Santrali (GES) ve Rüzgâr Enerji Santrali (RES) kullanılarak hibrit bir şekilde çalıştırılması hedeflenmiştir. Bu sayede, şebekeden bağımsız ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı oluşturulmuştur. Ayrıca, akü depolama sistemi sayesinde enerji kesintilerine karşı da önlem alınmıştır.

Karayaprak köyü sakinleri, bu çözüm sayesinde internet ve sabit telefon gibi iletişim hizmetlerine erişebilmektedir. Bu durum, köy sakinlerinin yaşam kalitesini ve kalkınma imkanlarını önemli ölçüde artırmaktadır. Kırsal alanlarda iletişim altyapısı kurma ve işletme sorununa hibrit enerji çözümü, önemli bir katkı sağlayabilir. Bu çözüm, diğer köylere de örnek teşkil ederek, dijital uçurumu kapatmaya ve kırsal kalkınmaya katkıda bulunabilir.

### **Karayaprak Köyü Tepe RL İstasyonunda Kullanılan Malzemeler**

#### **Güneş Paneli**

Güneş paneli, güneş ışığının fotonlarını elektrik enerjisine dönüştüren, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır. Fotovoltaik hücreler adı verilen özel malzemeden oluşan bu paneller, güneş ışığındaki enerjiyi doğrudan elektriğe çevirerek evlerde, işletmelerde ve elektrik şebekesine bağlı olmayan sistemlerde kullanılabilir.

Çalışmamızda, 28 güneş paneli kullanılarak haberleşme sistemlerine güç verecek bir sistem tasarladık. Paneller, 7'şer paralel bağlantı halinde 4 seri grup olacak şekilde kuruldu. Bu sayede her panelden ortalama 20 Volt gerilim ve 7.5 Amper akım elde ederek toplamda 80 Volt gerilim ve 52.5 Amper akım üretmeyi başardık. Elde edilen elektrik enerjisi, bir regülatör yardımıyla istenilen gerilim aralığına düşürülerek baraya aktarılıyor. Baraya bağlı

radio cihazları maksimum 2.5 Amper akım çekerken, tam deşarj olan 300 Amper saat kapasiteli jel aküler ise 1:10 şarj mantığı ile yaklaşık 30 Amper akım çekmektedir. Bu bilgiler ışığında, toplam sürekli akım ihtiyacımız 32.5 Amper olarak hesaplandı. Sistemimiz, bu ihtiyacı karşılamak için fazlasıyla yeterli kapasiteye sahiptir.

#### **Rüzgar Türbini**

Rüzgar türbini, rüzgârdaki kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren bir cihazdır. Rüzgar türbinleri, kanat adı verilen pervanelerden ve bu pervaneleri döndüren bir milten oluşur. Rüzgar, kanatlara çarparak onları döndürür ve mil de bir jeneratöre bağlıdır. Jeneratör, dönen milin mekanik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür.

Projemiz kapsamında, 1200 Watt gücünde bir rüzgar türbini kullanılarak 48-110 Volt aralığında DC enerji üretilmiştir. Rüzgar hızıyla orantılı olarak 12 kW'a kadar maksimum çıkış gücü sağlayabilen türbin, 250 Ampere kadar akım üretebilmektedir. Santralin enerji ihtiyacını karşılayan ve geleceğe yönelik yatırım olarak değerlendirilen bu sistem, yüksek verimliliği ile öne çıkmaktadır.

#### **Regülatör**

Regülatör, bir sistemdeki voltaj, akım, basınç veya sıcaklık gibi değerleri istenen seviyede tutmak için çalışan bir cihazdır. Geri bildirim döngüsüyle, sistemin çıkışını ölçer ve istenilen değerle karşılaştırır. Fark varsa, regülatör girdiyi ayarlayarak değeri istenilen seviyeye getirir.



Şekil 1. Karayaprak tepe kullanılan güneş panelleri  
Figure 1. Solar panels used in Karayaprak hill



Şekil 2. Karayaprak tepe kullanılan rüzgar türbini  
Figure 2. Wind turbine used in Karayaprak hill



Şekil 3. Karayaprak tepe kullanılan regülatör  
Figure 3. Regulator used in Karayaprak hill



Şekil 4. Karayaprak tepe kullanılan jel aküler  
Figure 4. Gel batteries used in Karayaprak hill

Çalışmamızda, güneş panelleri ve rüzgar türbinlerinden gelen enerjiyi hibrit bir Regülatör ile istenilen DC çıkış değerine dönüştürerek haberleşme sistemlerine güç veriliyor. 42-60 Volt aralığında çalışan telekomünikasyon cihazları için regülatör çıkış gerilimi 53,5 Volt olarak ayarlanarak olası gerilim düşmelerine ve yükselmelerine karşı önlem alınmıştır.

#### Jel Akü

Elektrolitin jel kıvamına getirildiği ve kuru tip akülerde kullanılan cam elyaf matrislere emdirildiği bir tür şarj edilebilir bataryalardır. Bu sayede jel aküler sızdırma riski düşüktür, taşınabilirlik kolaylaşır ve kuru tip akülere göre daha iyi derin deşarj dayanımına sahiptir. Jel aküler ayrıca daha az gaz emisyonu üretir.

Çalışmamızda, 48 adet 300 Ah kapasiteli jel akü kullanarak haberleşme sistemlerine yedekleme güç verme sistemi tasarladık. 24 akü seri bağlantı ile 52.8 V ortalama çıkış gerilimi, 2 paralel grup halinde ise 600 Ah ortalama çıkış akımı elde ettik. Her 24'lü akü grubunun beslediği sistemlerin ortalama 2.5 A akım çektiği göz önünde bulundurularak 240 saat kesintisiz çalışması planlanıyor. Verimlilik 0.8 olarak göz önüne alındığında, yaklaşık 190 saatlik bir kesintisiz çalışma süresi mümkün olacak.

#### Kablo

Kablo, elektrik akımı veya diğer sinyalleri iletmek için kullanılan, genellikle metalden yapılmış iletkenlerden oluşan bir yapıdır. Bu iletkenler, yalıtkan bir malzemeyle kaplanır ve dış kılıf ile korunur. Kablolar, elektrik

şebekeleri, elektronik cihazlar, telekomünikasyon ve daha birçok alanda kullanılır.

Güneş panelleri ve rüzgar türbinleri ile üretilen enerji, akülerin bara bağlantısı ve radyo sistemlerinin enerjilendirilmesi için 25 mm<sup>2</sup> kesitli NYAF kablo kullanılmaktadır. Bakır iletkenleri sayesinde yüksek iletkenliğe sahip olan NYAF kablolar, enerji kayıplarını minimize eder ve uzun ömürlü kullanım sağlar. Termoplastik yalıtkan ise kabloları nem, kimyasal maddeler ve aşınmaya karşı korur.

#### Anten

Dış ünite, radyolink cihazının temelini oluşturarak kablosuz iletişimi mümkün kılar. Sinyalleri diğer cihazlara gönderip alarak iletişimin omurgasını oluşturur. Dış ünite, iç üniteden gelen işlenmiş veriyi RF sinyallerine dönüştürerek uzaya yayar ve bu sinyalleri alarak iç üniteye iletir. Bu sayede veri alışverişi sağlanır. Yönlendirme özelliği sayesinde anten, sinyalleri belirli bir yöne odaklayarak menzil, güç ve parazit direncini artırır.

#### İç Ünite

Radyolink cihazlarının iç ünitesi, karmaşık elektronik devreler ve yazılımlar aracılığıyla kablosuz bağlantının beyni gibi işlev görür. Dış üniteden gelen RF sinyallerini alır, işler ve diğer cihazlara aktarır. Bu süreç, istenmeyen sinyalleri ve paraziti filtreleyerek, sinyal gücünü yükselterek ve veriyi RF sinyallerinden ayırarak gerçekleşir. İşlenmiş sinyaller, Ethernet kablosu veya kablosuz bağlantı üzerinden bilgisayarlar, yönlendiriciler veya modemler gibi diğer cihazlara aktarılır.



Şekil 5. Karayaprak tepe kullanılan antenler  
Figure 5. Antennas used in Karayaprak hill



Şekil 6. Karayaprak tepe kullanılan radyo iç ünite  
Figure 6. Radio indoor unit used in Karayaprak hill



## Sonuçlar ve Tartışmalar

### Hibrit Sistemin ve Şebekeli Sistemin Enerji Analizi Şebekeden Bağımsız Rüzgar ve Güneş Enerjisinin Hibrit Kullanımıyla Çalıştırılan Santral

Bu çalışmada, şebekeden bağımsız bir hibrit enerji santrali kurularak rüzgar ve güneş enerjisinin birlikte kullanımı araştırılmıştır. Güneş enerjisi santrali (GES) ve rüzgar enerjisi santrali (RES) olmak üzere iki farklı enerji kaynağını içeren santralin performansı ve her bir enerji kaynağının tüketim profili, uzaktan izleme sistemi ile detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

GES ve RES'ten gelen elektrik akımı, 53,5 V'a sabitlenerek regülatörden geçirilmiştir. Bu sayede, her iki enerji kaynağının da regülatöre 53,5 V'dan yüksek bir gerilim göndermesi durumunda çıkış geriliminin 53,5 V olarak korunması sağlanmıştır. Radyo link cihazlarının çalışma aralığı 42-60 volt olması nedeniyle, RES veya GES'in direkt çıkış gerilimlerinin okunamaması sorunu ile karşılaşmıştır. Bu durum, olası fazla gerilim gelmesinde cihazların zarar görmesine yol açabileceğinden, regülatör kullanımı gerekli hale gelmiştir. Uzaktan izleme sistemi üç

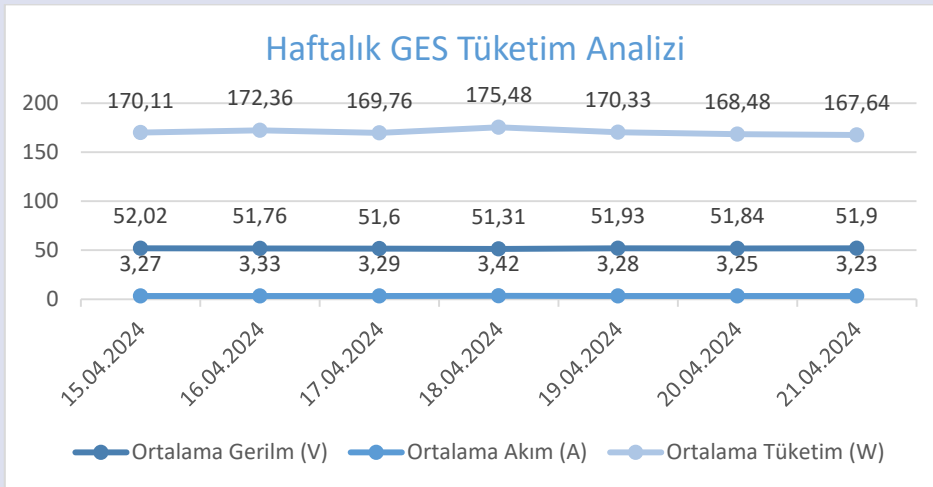
aşamada gerçekleştirilmiştir: 2 hafta boyunca hibrit sistem, 1 hafta boyunca sadece GES ve 1 hafta boyunca sadece RES devreye alınarak her bir enerji kaynağının ayrı ayrı tüketim profili incelenmiştir.

Elde edilen bulgular, hibrit enerji santrallerinin şebekeden bağımsız enerji sistemleri için önemli bir alternatif olduğunu göstermektedir. Uzaktan izleme sistemi kullanılarak hibrit enerji santrallerinin performansı ve tüketim profili detaylı bir şekilde analiz edilebilir ve bu sayede sistem daha verimli ve optimize bir şekilde işletilebilir.

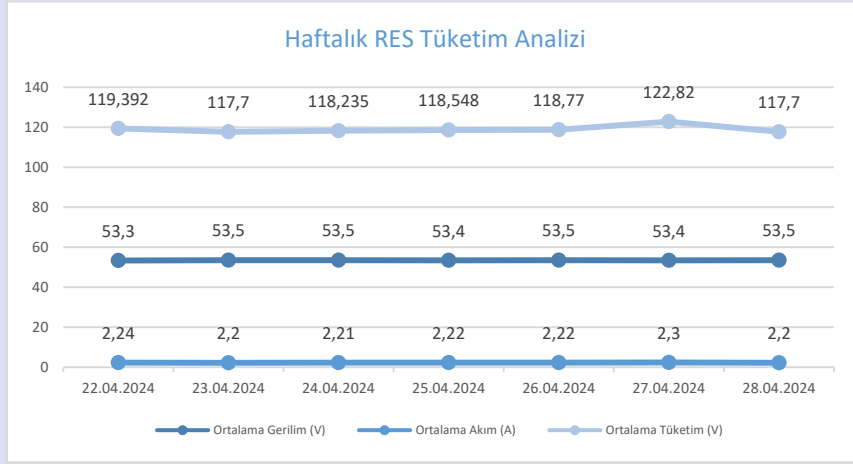
Şekil 7, hibrit sisteme uzaktan erişim sağlayarak anlık tüketim değerlerini göstermektedir. Sistem 2,2 A akım çekerek yük altındayken ne kadar güç tükettiğini gösterir. Aküler tam şarjlıdır ve tüm enerji ihtiyacı regülatör tarafından karşılanmaktadır. Regülatör çıkışı DC olması doğrultucuya olan ihtiyacı ortadan kaldırır ve sistemi basitleştirir. Akü sıcaklığı 23°C olup ideal seviyededir. Görsel, hibrit sistemin şu anda sorunsuz bir şekilde çalıştığını ve tüm enerji ihtiyacını regülatörden karşıladığını göstermektedir.



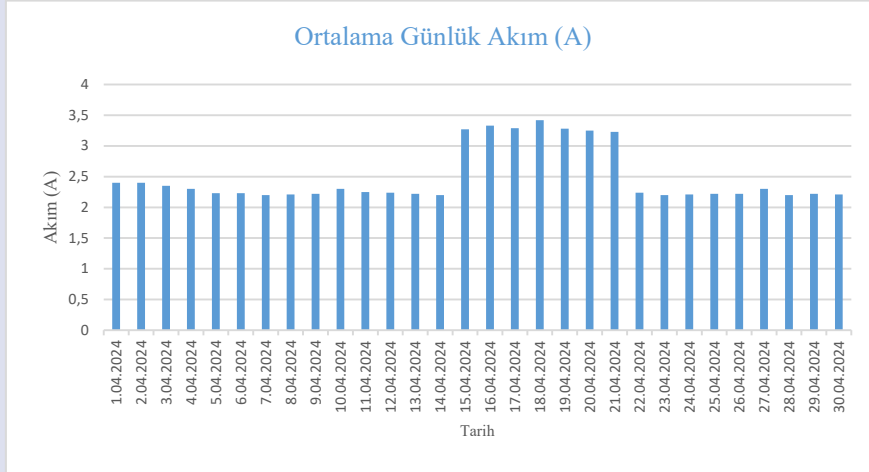
Şekil 7. Hibrit santralin anlık enerji tüketim  
Figure 7. Instant energy consumption of hybrid power plant



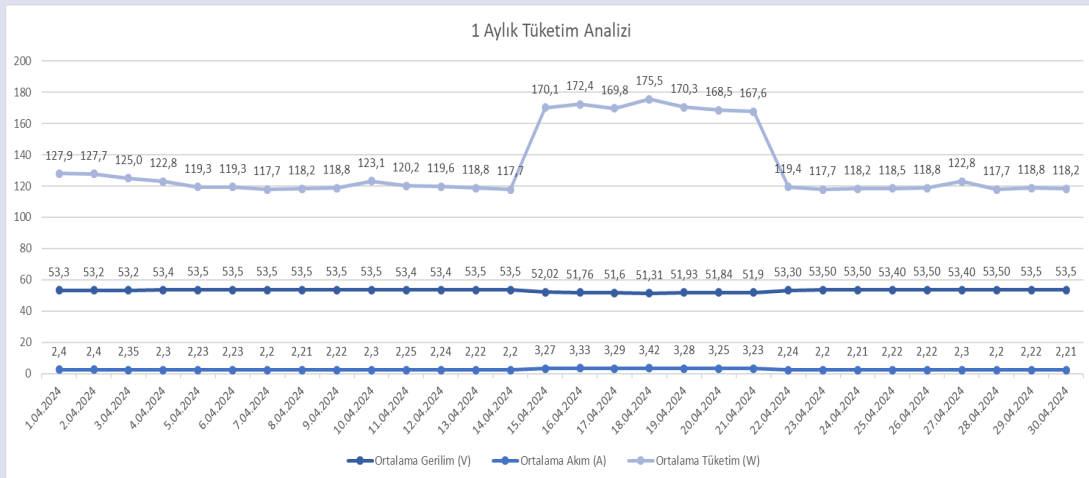
Şekil 8. RL santralini 7 gün boyunca sadece GES ile beslediğimizde elde edilen ortalama tüketimler  
Figure 8. Average consumptions obtained when we fed the RL power plant only with solar energy for 7 days



Şekil 9. RL santralini 7 gün boyunca sadece RES ile beslediğimizde elde edilen ortalama tüketimler  
Figure 9. Average consumptions obtained when we fed the RL power plant only with wind energy for 7 days



Şekil 10. RL santralin aylık ortalama akım değerleri  
Figure 10. Monthly average current values of RL power plant



Şekil 11. RL santralin aylık ortalama tüketim değerleri  
Figure 11. Monthly average consumption values of RL power plant

Santral sadece GES ile çalıştırıldığında (Şekil 8), geceleri güneş ışığı olmadığından aküden beslenme nedeniyle gerilim düşmekte ve sabah şarj sırasında akım artmaktadır. Akü geriliminin regülatör çıkış geriliminin altında olması sorunu, düşük ortalama gerilim değerlerine yol açmaktadır.

Santralin sadece RES ile çalıştırılması durumunda ortalama tüketim değerleri Şekil 9'da gösterilmektedir. Görüldüğü üzere santral, sürekli rüzgar alan bir bölgede yer aldığından dolayı kesintisiz şebeke elektriği ile çalıştırılmış gibi bir tüketim profili sergilemektedir. Bu durum, santralin kesintisiz ve verimli bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

Aylık bazda ortalama tüketim değerleri Şekil 11'de sunulmuştur. Grafikte görüldüğü üzere, santralin tüketim profili GES ve RES'in hibrit olarak kullanıldığı ve ayrı ayrı çalıştırıldığı durumlara göre farklılık göstermektedir.

- Hibrit Kullanım (01.04.2024-14.04.2024): Bu dönemde GES ve RES birlikte çalıştırıldığından, ortalama tüketim değeri 121,1 kWh/gün olarak belirlenmiştir. Bu durum, hibrit sistemin her iki enerji kaynağının da potansiyelini etkin bir şekilde kullanarak tüketimde denge sağladığını göstermektedir.
- Sadece GES Kullanımı (15.04.2024-21.04.2024): Bu dönemde GES'in tek başına çalıştırılması, ortalama tüketim değerini 170,6 kWh/gün'e yükseltmiştir. Bu artış, güneş enerjisi üretiminin mevsimsel dalgalanmalara ve gün ışığı saatlerine bağlı olduğunu göstermektedir.
- Sadece RES Kullanımı (22.04.2023-28.04.2024): Bu dönemde RES'in tek başına çalıştırılması sonucunda ortalama tüketim değeri 119 kWh/gün olarak belirlenmiştir. Bu durum, rüzgar enerjisinin de mevsimsel dalgalanmalara ve rüzgar hızına bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini göstermektedir.

#### Sadece Şebeke Elektrik Enerjisi İle Çalıştırılan Santral

Santral sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Bu santralde kullanılan cihazların akım değerleri, projemizde tasarladığımız hibrit rüzgar ve güneş enerjisi santralindeki cihazların akım değerlerine yakın seviyededir. Şebeke elektrik enerjisi ile çalışan santralin hibrit santralden en önemli farkı, "DC Çatı" olarak adlandırılan cihazların varlığıdır.

DC çatı, şebekeden alınan AC gerilimini DC'ye dönüştürerek santraldeki cihazlara DC enerjiyi sağlayan redröserlere denir. DC çatı cihazının bir diğer önemli avantajı ise paralel olarak akü ve

güneş panellerinin de bağlanabilmesidir. Bu sayede santral, şebeke elektriğinin olmadığı durumlar da güneş enerjisi ve depolanmış enerjiden de faydalanabilir. Bu da santralin esnekliğini ve sürdürülebilirliğini artırır.

Şekil 12'de sistemin anlık tüketim değerleri gösterilmektedir. Analizden elde edilen bilgilere göre, DC çatı üzerinde bulunan 3 doğrultucu %16,4 kapasiteyle çalışmakta, sistemlerin anlık tüketimi 2,1 A olup, salon sıcaklığı ise 12°C'dir.

Sistemin 1 aylık ortalama akım değerleri Şekil 13'de gösterilmektedir. Akım değerlerindeki artışın olası iki sebebi şunlardır:

- Elektrik kesintileri: Kesintiler sırasında akülerin sistemi beslemesi ve şebeke elektriği geldikten sonra şarj olması için daha fazla akım çekmesi.
- Sıcaklık artışı: Artan sıcaklıklar redresör üzerindeki fanların daha fazla çalışmasına neden olarak akım değerlerinde artışa yol açabilir.

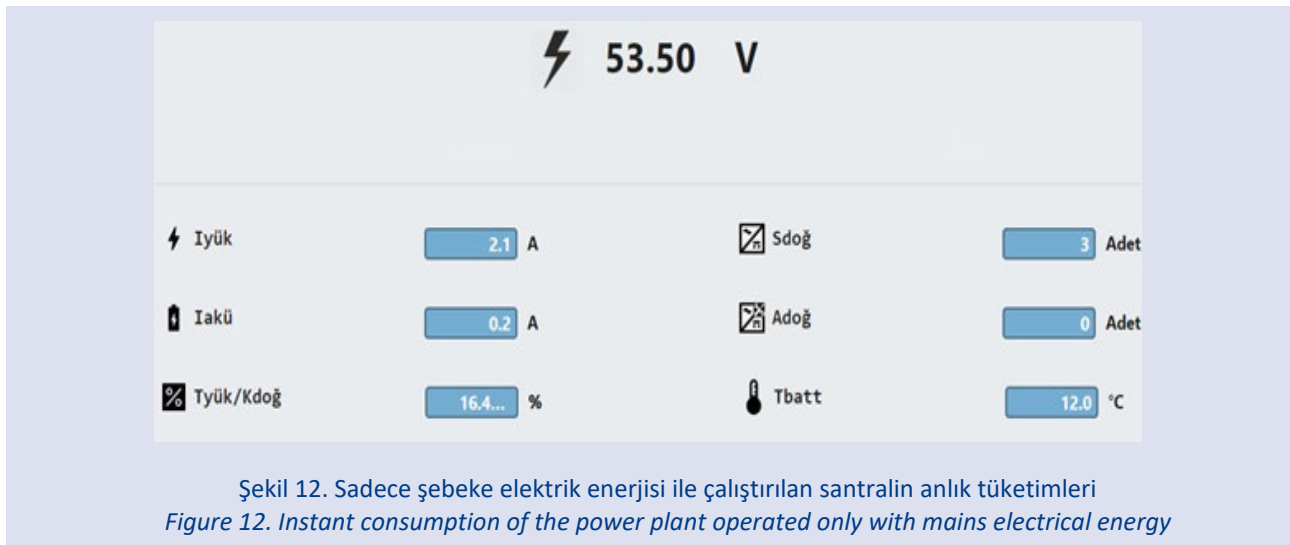
2023 yılına ait santral enerji tüketim verileri Şekil 14'de sunulmaktadır. Santralin toplam yıllık enerji tüketimi yaklaşık 2000 kW olarak belirlenmiş olup, yaz aylarında artan tüketimin sebebi redröserleri soğutmak için çalışan fanların elektrik tüketimidir.

#### Kurulum Maliyet Analizi

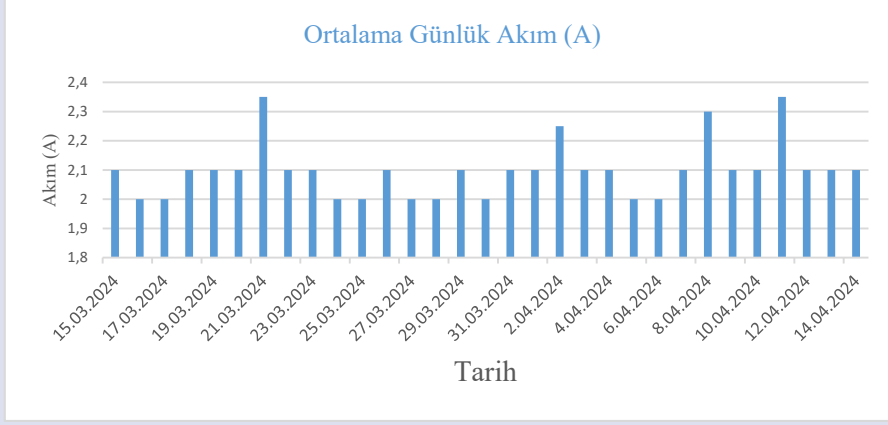
##### Şebekeli Sistem Maliyet Analizi

Karayaprak köyüne kurulacak radyolink santrali, diğer radyolink santrali ile haberleşmeyi sağlayabilmesi için köyün dışına doğru tepelik ve yüksek bir lokasyona konumlandırılmıştır. Bu konumlandırma, santralin daha geniş bir kapsama alanına sahip olmasını ve daha stabil bir bağlantı sağlamasını sağlayacaktır. Radyolink santrali, köy içinde bulunan elektrik şebekesinden yaklaşık 850 metre uzaklıktadır.

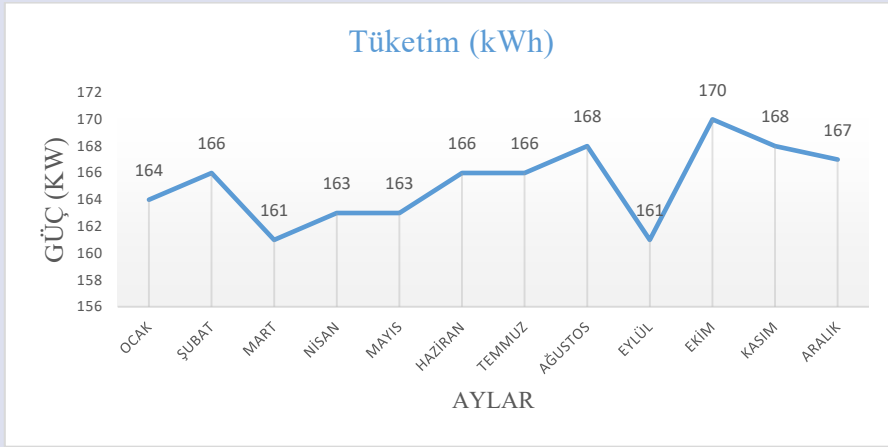
Projenin maliyet hesabı ise TEDAŞ'ın 2024 yılı 3. Bölge için yayınladığı işçilik ve malzeme maliyetleri baz alınarak hesaplanmıştır [25]. Sivas ili bu bölge sınırları içerisinde yer almaktadır. Hesaplama yapılırken, santralin kurulumunda kullanılacak tüm malzemelerin güncel fiyatları ve işçilik ücretleri göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, projenin tamamlanması için gerekli olan makine ve ekipmanların kiralama bedelleri de hesaba katılmıştır. Şebekeli sistem için toplam maliyetimiz çizelge 1'de detaylı şekilde hesaplanmış olup toplam maliyet 1.311.320 TL'dir.



Şekil 12. Sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalıştırılan santralin anlık tüketimleri  
Figure 12. Instant consumption of the power plant operated only with mains electrical energy



Şekil 13. Sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalıştırılan santralin 1 aylık ortalama akım değerleri  
Figure 13. 1-month average current values of the power plant operated only with mains electrical energy



Şekil 14. Sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalıştırılan santralin 2023 yılı enerji tüketimi  
Figure 14. 2023 energy consumption of the power plant operated only with mains electrical energy

Çizelge 1. Alçak gerilim şebeke kurulum maliyeti  
Table 1. Low voltage network installation cost

Malzeme	Miktar	Birim	Malzeme Fiyatı (TL)	3. Bölge Montaj Fiyatı (TL)	Toplam Maliyeti (TL)
3x50/16+70_AER	837	Metre	126,11	67,8	162.303
Askı Telli Demet Biçimli Alüminyum İletken					
G-10I	9	Adet	11.426,03	34.338,70	411.883
Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Direk					
G-10U	4	Adet	13.284,81	39.924,90	212.839
Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Direk					
G-K1	3	Adet	17.822,42	53.561,80	214.153
Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Direk					
G-K2	2	Adet	27.553,68	82.807,20	220.722
Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Direk					
50'lik NYK Kablo ve Gömülmesi	30	Metre	237,96	111,3	10.478
İşletme Topraklama Kablosu					
2 mt Uzunluğunda Galvanizli 65 x 65 x 7 'lik Köşebent ve 5 Mt. Galvanizli Örgülü Çelik Tel ve Gömülmesi	18	Adet	993,83	1.825,10	50.741
Koruma Topraklaması					
2 mt Uzunluğunda Galvanizli 65 x 65 x 7 ' lik Toprak Elektrot ve Gömülmesi	1	Adet	688,33	772,71	1.461
Topraklama Kazığı					
70 W Sodyum Buharlı (Ampul Dahil)	1	Adet	963,39	1.427,90	2.391
Armatür ve Ampul					
6,5U-60	13	Adet	218,68	657,04	11.384
Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Travers ve Konsollar					
6,5U-80	5	Adet	328,02	985,56	6.568
Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Travers ve Konsollar					
Tehlike Levhası (Alüminyum)	18	Adet	24,89	62,5	1.573
Ölüm Tehlike Levhası					
TK-MI 85	18	Adet	92,98		1.674
Makara İzalatör					
TK-ÖD 85	18	Adet	36,04		649
Özengi Demiri					
TK-HS 300	18	Adet	139,06		2.503
Halkalı Saplama					
<b>TOPLAM MALİYET</b>					<b>1.311.320</b>

### Hibrit Sistem Maliyet Analizi

Projenin maliyet hesaplaması ise 2024 yılı güncel eskalasyonlar baz alınarak ve titiz bir araştırma sonucunda farklı firmalardan teklifler alınarak yapılmıştır. Maliyet hesaplarken, kullanılan tüm malzemelerin güncel fiyatları ve işçilik ücretleri göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, projenin tamamlanması için gerekli olan makine ve ekipmanların kiralama bedelleri de hesaba katılmıştır. Hibrit sistem için toplam maliyetimiz çizelge 2'de detaylı şekilde hesaplanmış olup toplam maliyet 181.194 TL'dir.

#### İlk Kurulum Maliyeti Değerlendirmesi

Karayaprak Tepe Radyolink İstasyonu'nun kurulumu, bölgenin iletişim altyapısını geliştirmek ve kesintisiz hizmet sunmak için kritik önem taşımaktadır. Bu çalışmada, istasyonun şebeke bağlantısı için geleneksel şebeke ve hibrit enerji sistemleri kullanılarak yapılan yatırım ve süre optimizasyonunu inceliyoruz.

Geleneksel şebeke bağlantısı için toplam yatırım maliyeti çizelge 2'de görüldüğü üzere 1.311.320 TL olarak hesaplanmıştır. Ancak, il'deki elektrik dağıtım şirketi ile yapılan görüşmede, yatırımın planlama ve kurulum aşamalarının 1 yıldan fazla süreceği ve bu süre boyunca istasyona hizmet veremeyeceği bilgisi alınmıştır. Bu durum karşısında, projemiz kapsamında radyolink istasyonu için güneş enerji santrali (GES) ve rüzgar enerji santrali (RES) hibrit kullanımı planlanmıştır. Hibrit enerji sisteminin toplam maliyeti çizelge 2'de görüldüğü üzere 2024 güncel eskalasyonuna göre 181.194 TL olarak hesaplanmış ve kurulumu da geleneksel şebeke bağlantısına kıyasla çok daha hızlı tamamlanmıştır.

Hibrit enerji sistemi kullanımı ile geleneksel şebeke bağlantısına kıyasla önemli maliyet ve süre tasarrufu sağlanmıştır. Maliyet %624 oranında düşerken, kurulum süresi 1 yıldan 1 aya inmiştir. Hibrit sistemin bir diğer avantajı da yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak projenin sürdürülebilirliğini ve çevresel etkisini azaltmasıdır. Ayrıca, bu sistem ileride yenilenebilir enerji teknolojilerindeki gelişmelere de uyum sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışma, hibrit enerji sistemlerinin uzak bölgelerde kurulacak telekomünikasyon altyapıları için uygun bir çözüm olabileceğini göstermektedir. Hibrit sistemler, geleneksel

şebeke bağlantısına kıyasla daha düşük maliyet, daha kısa kurulum süresi ve daha yüksek sürdürülebilirlik sunmaktadır.

2014 yılından bu yana Karayaprak Tepe Radyolink İstasyonu, geleneksel enerji kaynaklarına bağlı kalmadan güneş enerjisi sistemi (GES) ve rüzgar enerjisi sistemi (RES) hibrit kullanımıyla izole olmadan çalışmaktadır. Türk Telekom A.Ş.'de çalıştığım pozisyon itibarıyla sorumluluğum altında olan bu istasyonda, periyodik bakımların düzenli ve zamanında yapılmasıyla istasyonun kesintisiz işleyişi sağlanmış ve herhangi bir problemle karşılaşmamıştır. Başarılı hibrit enerji sistemi uygulamasıyla Karayaprak Tepe Radyolink İstasyonu, izole bölgelere telekomünikasyon altyapısı kurma ve işletme konusunda referans alınacak bir örnek teşkil etmektedir.

#### İşletme Maliyet Değerlendirmesi

Çalışmamızın en önemli avantajlarından biri, farklı şekillerde çalıştırılan santrallerle kolaylıkla karşılaştırılabilirliği. Bu sayede, radyolink santralini sadece şebeke üzerinden çalışan santrallere kıyasla ne kadar avantajlı olduğu net bir şekilde ortaya konmaktadır.

Daha önce bahsettiğimiz gibi, sadece şebeke üzerinden çalışan bir santralin yıllık enerji tüketimi baz alınarak radyolink santralini ne kadar sürede kendini amorti edeceği hesaplanmıştır. Şekil 14'de görüldüğü gibi, 2023 yılında sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalışan bir santralin yıllık enerji tüketimi yaklaşık 2000 kWh'dir. Radyolink santralinde ise enerji tüketimi sabit olduğundan, bu tüketim 2024 yılı için de aynı kalacaktır.

Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu'nun 2024 yılı ticarethane haneleri için ortalama birim elektrik fiyatı 3,70 TL/kWh olarak kabul edilmektedir [26]. Bu bilgilere göre, ilgili santralin toplam yıllık enerji tüketim maliyeti 7.400 TL'dir (2000 kWh \* 3,70 TL/kWh). Santralimizin ilk kurulum maliyeti ise çizelge 2'de görüldüğü gibi 181.194 TL'dir. Santral kurulum maliyetini senelik enerji tüketim maliyetine oranladığımızda, radyolink santralini ortalama kendini amorti etme süresi 24,50 yıldır (181.194 TL / 7.400 TL/yıl).

Bu hesaplama sadece 2024 yılı için geçerli olup, elektrik birim fiyatları her sene değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, radyolink santralini amorti süresi de yıllara göre değişiklik gösterebilir.

### Çizelge 2. Hibrit sistem kurulum maliyeti

Table 2. Hybrid system installation cost

Malzeme	Miktar	Birim	Birim Fiyatı (TL)	Toplam Fiyat (TL)
CHN 150-36M Güneş Paneli	4200	Watt	19,12	80.304
MAX-1200 W Rüzgar Türbini	1200	Watt	30,28	36.340
STECA Regülatör	1	Adet	4.750,00	4.750
25 mm <sup>2</sup> NYAF DC Kablo	80	Metre	130,00	10.400
Sarf Malzeme (Pabuç ve Klemens Dahil)	1	Adet	3.900,00	3.900
Galvaniz ve Alüminyum Montaj Sistemi	1	Adet	35.000,00	35.000
Toplam İşçilik	1	Adet	10.500,00	10.500
<b>Toplam Maliyet</b>				<b>181.194</b>

## Kaynaklar

- [1] Akkoyunlu, A. (2006). Türkiye’de Enerji Kaynakları ve Çevreye Etkileri. *Türkiye’de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu Bildiri Kitabı*, Bahçeşehir Üniversitesi,131-145, İstanbul.
- [2] Arnold, C. G., Isaac, V. E., Mathwich, H. R., Privett, R. F., & Thompson, L. E. (1959). A new high-capacity microwave relay system. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Part I: Communication and Electronics*, 78(5), 712-722.
- [3] Ulusoy, C. K. (2019). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımındaki gelişmeler; güneş enerji sistemleri ve finansman modelleri. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 6(13), 65-84.
- [4] Uçar, S. (2018). Çatı ve cephelerde fotovoltaik panel uygulamaları üzerine bir çalışma: Burdur örneği. *İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi) 127s, İstanbul.
- [5] Çelik, A., & Koç, F. (2020). Polikristal Tür bir Fotovoltaik Panelin IV Karakteristiğinin Analitik Modellenmesi ve Deneysel Validasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(4), 2491-2515.
- [6] Köse, S. (1986). Yarıiletken güneş pilleri ve verimlilikleri. *Anadolu University Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 92s, Eskişehir.
- [7] Önder, S., & ocak, R. Ö. (2018). Sürdürülebilir enerji kaynaklarının avantajları. *Uluslararası Yeşil Başkentler Kongresi*, 901-907.
- [8] Eldem, M. (2017). Güneş Enerjisi. *TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni*, 5, 7-10.
- [9] Can, S. (2020). Rüzgar türbinleri kullanılarak üretilen elektrik enerjisi miktarının zaman serileri ile analizi ve uygulaması. 104s, Hatay.
- [10] Elibüyük, U., & Üçgül, İ. (2014). Rüzgâr türbinleri, çeşitleri ve rüzgâr enerjisi depolama yöntemleri. *Yekarum*, 2(3).
- [11] Nurbay, N., & Çınar, A. (2005). Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması. *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 19-21.
- [12] Yağmur, A. O. (2011). Rüzgar türbini pervane göbeği tasarımı. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 94s, İstanbul.
- [13] Hayli, S. (2001). Rüzgâr enerjisinin önemi Dünya’da ve Türkiye’deki durumu. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(1), 1-26.
- [14] Usta, İ. (2015) Radyolink Sunumu, *Türk Telekom A.Ş.* (<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.elektroarge.com%2Felektronik-ders-not%2Ffradyolink-sunumu-turk-telekom-t395.html>). Erişim Tarihi: 21.03.2024.
- [15] Milli Eğitim Bakanlığı (2013). Uydu Haberleşmesi Modülü. ([http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.megep.meb.gov.tr%2Fmte\\_program\\_modul%2Fmoduller\\_pdf%2FUydu%2520Haberle%C5%9Fmesi.pdf](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.megep.meb.gov.tr%2Fmte_program_modul%2Fmoduller_pdf%2FUydu%2520Haberle%C5%9Fmesi.pdf)), Erişim Tarihi: 24.03.2024.
- [16] Arnold, C. G., Isaac, V. E., Mathwich, H. R., Privett, R. F., & Thompson, L. E. (1959). A new high-capacity microwave relay system. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Part I: Communication and Electronics*, 78(5), 712-722.
- [17] Öner, D. (2015). Görüş Hattı İletimi. *Maltepe Üniversitesi*. (<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fakademik.maltepe.edu.tr%2F%7Edemironer%2FELK%2520412%2520Telsiz%2520ve%2520Mobil%2520A%25Folar%2FDe rs%2520Notlar%25FD%2FBolum%25203-G%25F6r%25FC%25FE%2520Hatt%25FD%2520iletimi%2520%2827.03.2015%29.pdf>), Erişim Tarihi: 07.04.2024.
- [18] Polat, B., Bacanak, S. (2024) Elektromanyetik Dalgalar ve Antenler Sunumu. (<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mersin.edu.tr%2Fapbsuploads%2F1000470%2FFizikveTeknoloji%2F06-AntenlerVeEMD.pdf>), Erişim Tarihi: 10.04.2024.
- [19] Sarı, V., & Özyiğit, F. Y. (2020). Sivas ilinin farklı ilçelerinde şebeke bağlantılı güneş enerji santrallerinin tasarımı ve analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 425-437.
- [20] Url-1 <<https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/58.aspx>>, alındığı tarih: 09.04.024.
- [21] Url-2 <<https://www.enerjiatlas.com/gunes-enerjisi-haritasi/sivas>>, alınan tarih: 09.04.2024.
- [22] Url-3 <<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=SIVAS>>, alınan tarih: 09.04.2024.
- [23] Url-4 <<https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/SIVAS-REPA.pdf>>, alınan tarih: 10.04.2024.
- [24] Url-5 <<https://www.enerjiatlas.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/sivas>>, alınan tarih: 10.04.2024.
- [25] Url-6 <<https://birimfiyat.tedas.gov.tr/>>, alınan tarih: 12.04.2024.
- [26] Url-7 <<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327>>



## The Electromagnetic Field Intensity Map of Sivas Cumhuriyet University Campus at Different Frequencies

Ayşe Demirkazık<sup>1,a</sup>, Yavuz Türkay<sup>2,b</sup>, Tarık Türk<sup>3,c</sup>, Vekil Sarı<sup>4,d\*</sup>, Anılcan Birdal<sup>5,e</sup>, Gülistan Onocak<sup>6,f</sup>, Furkan Yıldırım<sup>7,g</sup>

<sup>1</sup>Department of Biophysics, School of Medicine, Sivas Cumhuriyet University, 58140, Sivas, Turkey

<sup>2</sup>Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 58140, Sivas, Turkey.

<sup>3</sup>Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 58140, Sivas, Turkey

<sup>4</sup>Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 58140, Sivas, Turkey.

<sup>5</sup>Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 58140, Sivas, Turkey

<sup>6</sup>Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 58140, Sivas, Turkey.

<sup>7</sup>Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 58140, Sivas, Turkey.

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 15/10/2024

Accepted: 31/10/2024

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

The speedy progress of the global system for mobile communication services and the ensuing increased electromagnetic field (EMF) exposure to the human body have generated debate on the potential hazard with attentiveness to human health. The aim of this study is to provide a homogeneous distribution of electromagnetic field sources on our university campus and determine possible risk zones via the electromagnetic intensity maps drawn using the data to be obtained from the measurement results. It was determined how much electromagnetic intensity of the campus was under 4 different high frequencies (900, 1800, 2400, and 2600 MHz), which were determined using the geographic information system. Electromagnetic field measurements were performed at points where the topographic structure of the land allowed. These measurements were taken at intervals of about 50 meters in the parts with building density, while at intervals ranging between 100 and 120 meters in the open areas where there were no buildings. The geographic location information about the points where these measurements were made was specified with an accuracy of cm level. As a result, our measurement values are also below the limit values of the limit electromagnetic values determined by ICNIRP.

**Keywords:** Electromagnetic field intensity; Geostatistical interpolations; Radio frequency.

<sup>a</sup> dmrkzk@yahoo.com  
<sup>c</sup> tarikturk@gmail.com  
<sup>e</sup> anilcanbirdal@gmail.com  
<sup>g</sup> furkanyildirimm58@gmail.com

<sup>id</sup> 0000-0001-7224-2832  
<sup>id</sup> 0000-0002-2671-7590  
<sup>id</sup> 0000-0002-2416-2296  
<sup>id</sup> 0000-0003-2937-3196

<sup>b</sup> yturkay@cumhuriyet.edu.tr  
<sup>d</sup> vsari@cumhuriyet.edu.tr  
<sup>f</sup> gulistanonocak856@gmail.com

<sup>id</sup> 0000-0002-4263-8286  
<sup>id</sup> 0000-0001-5963-0179  
<sup>id</sup> 0000-0003-0202-296x

**How to Cite:** Demirkazık A, Türkay Y, Türk T, Sarı V, Birdal A, Onocak G, Yıldırım F (2024) The Electromagnetic Field Intensity Map of Sivas Cumhuriyet University Campus at Different Frequencies, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 119-124

## Main text

The widespread use of rapidly developing technological devices is unavoidable, and many institutions and researchers are working in this area to reveal whether this technological development is harmful to human health or to determine which limits will provide a sheltered area for human health. In many countries, there are electromagnetic field (EMF) intensity limits declared by the World Health Organization (WHO) [1].

The limit values valid in Turkey were designated with the "Regulation on Determination of Limit Values of Electromagnetic Field Intensity Arising from Fixed Telecommunication Devices Operating in the 10 kHz-60 GHz Frequency Band, Measurement Methods, and Inspection" published by the Telecommunications Authority in the Official Gazette on 07/12/2001 [2].

Moreover, the General Directorate of Primary Health Care of the Ministry of Health issued a circular dated 05/29/2000 and numbered 2000/56 under the name of Non-Ionizing Radiation-Electromagnetic Pollution. In this circular, it is emphasized that necessary measures should be taken in the selection, establishment, operation, and use of appropriate sites regarding the effects on and risks for human and environmental health, and the measures should be controlled.

The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) examined the frequency band separately as low frequency (0-100 kHz) and high frequency (100 kHz-300 GHz) bands to review the biological and potential health effects of electric, magnetic, and electromagnetic fields and published it as different guides. These values are accepted by many countries in various parts of the world. The electromagnetic field is also considered non-ionizing radiation. Thus, it can influence all conductive systems depending on the exposure time and intensity. The main purpose of this study is to provide a homogeneous distribution of electric field intensity and electric field sources on our university campus and determine possible risk zones via the electromagnetic intensity maps drawn using the data to be obtained from the measurement results. In Table 1, the limit values determined by the ICNIRP are demonstrated in the table as electric field (V/m) values created at three different frequencies [3]. The values indicating the countries that determine these limits at different frequencies are given in Table 2 [4], and the reference levels for average occupational exposures of  $\geq 6$  minutes to electromagnetic fields from 100 kHz to 300 GHz are stated in Figure 1 [3].

There is a strong relationship between the use of wireless communication technologies and the magnitude of EMF [5], and this is more obvious in certain living areas [6]. Consequently, it does not seem possible to avoid the effects of EMF. While mobile phones and radiofrequency waves particularly affect the head area, waves emitted from base stations affect the whole body. This study will enable learning about how to determine the emissions of base stations and coordinates of the widespread use of mobile phones and electronic devices, to determine the geographical coordinates with the highest EMF intensity, and to refrain from establishing

new base stations outside the regions with high EMF intensity or the construction of new buildings in a residential area. The distribution of electromagnetic waves emitted by base stations in an environment depends on many parameters. For example, communication traffic changes in different parts of the city at different times of the day, and temperature and humidity values of the environment that influence the propagation of the electromagnetic wave in the environment can be included in such parameters. Furthermore, depending on the physical characteristics and health status of some living beings, low-level, high-frequency electromagnetic waves may also lead to severe illnesses [7]. The use of Geographic Information Systems in solving environmental problems is one of the strongest and most successful application areas. As a result of the technological developments in the world, the tendency toward Geographic Information Technologies in Turkey is constantly increasing. Especially the need for the rapid analysis of spatial information with different contents in the same geography is now deemed important as an effective decision-support instrument for individuals as well as public institutions and organizations. Making location-based decisions on the data stored in the Geographical Information System is possible with the query, viewing, and analysis of geographical data. In spatial analysis procedures, new information sets are produced by making use of existing inputs.

To determine electromagnetic pollution, the Geographical Information System includes the functions of storing, processing, and presenting spatial and non-spatial information in the database and performing various inquiries and analyses. Thus, it becomes useful for the relevant institutions, which take measures and make decisions, in monitoring pollution.

- Electromagnetic pollution levels can be identified.
- A risk assessment can be made according to the results of the identification and measurement. Measures for decreasing the level of electromagnetic pollution can be implemented.
- The necessary measures can be taken in places exceeding the limit values by checking whether the results to be obtained exceed the limit values.
- It can be identified whether there are any issues about the installation of base stations in communal living and usage areas such as school gardens, kindergartens, hospitals, and parks, and risk maps can be created.
- The maps that will be created can be used as a base for future studies in the region.
- It can be ensured that different warning signs are placed in areas where base stations are installed, as per the electromagnetic field intensity they create, and arrangements such as limiting the environment of stations in open areas with warning signs can be provided.

As a result, it is assumed that electromagnetic pollution maps can be created with GIS. Hence, this will provide great convenience to us in risk assessment [7].

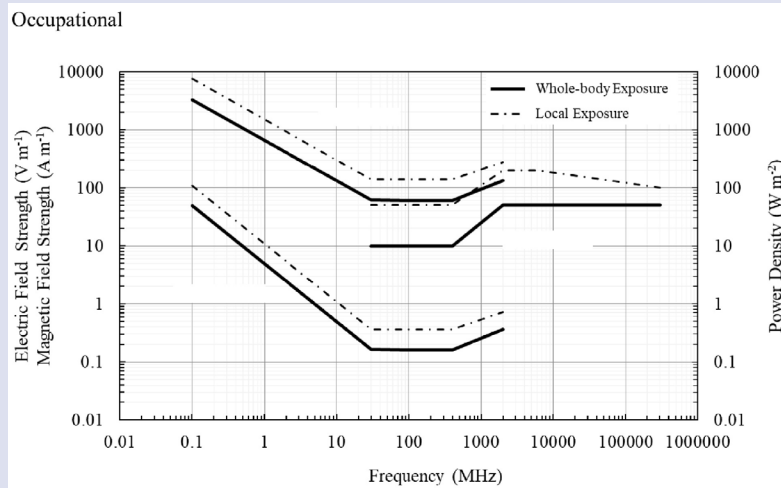


Table 1. Limit values determined by the ICNIRP.

	Mobile phone base station frequency		
	900 MHz	1800 MHz	2100 MHz
Electric field	41.25 V/m	58.34 V/m	56 V/m

Table 2. Electric field intensity limits.

Country	Electric field intensity (V/m)	
	900 MHz	1800 MHz
Italy	6	
Lithuania	6.1	
Poland	7	
France (only in Paris)	5	7
Turkey	41.25	58.34

Figure 1. Reference levels for average occupational exposures of  $\geq 6$  minutes to electromagnetic fields from 100 kHz to 300 GHz.

## Materials and Methods

Sivas Cumhuriyet University is a very crowded and 11000-acre campus with 50205 students, together with academic staff including 1973 members and administrative staff including 3,355 members. There are two base stations on the campus. In this study, electromagnetic field measurements were performed at points where the topographic structure of the land allowed, at intervals of about 50 meters in the parts with building density inside the campus, and at intervals ranging between 100 and 120 meters in the open areas where there were no buildings, and geographical location information about the points where these measurements were made was specified with an accuracy of cm level. Electromagnetic measurements were performed in four different frequency ranges, i.e., 900 MHz, 1800 MHz, 2400 MHz, and 2600 MHz, which had previously been planned inside the campus. At each point, values were read six times at an altitude of 120 cm (average human height) for each frequency, and these values were then averaged. In the study, a Spectran HF-6085 portable RF spectrum analyzer (Aaronia, Spectran, HF, Germany) was used for measurements. The geographical locations of the measurement points were obtained with the help of the

Global Navigation Satellite System (GNSS) receiver with an accuracy of cm level through the Continuously Operating Reference Stations (CORS-TR) satellite-based positioning technology. It is extremely important to determine the position of the electromagnetic measurement point with high accuracy in such studies, as electromagnetic waves change inversely with the square of the distance between the points. Field measurements were consistently conducted between 10:00 and 15:00 daily at 473 points. Considering these criteria, the measurements took approximately four months. Afterward, the electromagnetic measurement obtained in the field and the geographical location data of these measurement points were integrated with ArcGIS 10.5 software in the Geographical Information System.

## Results

The map of Sivas Cumhuriyet University campus and the direction of the measurement points are demonstrated in Figure 2. These data were interpolated with the Inverse Distance Weighting (IDW) method, and electromagnetic field intensity maps and energy density maps of each frequency were produced (Figures 3-5).

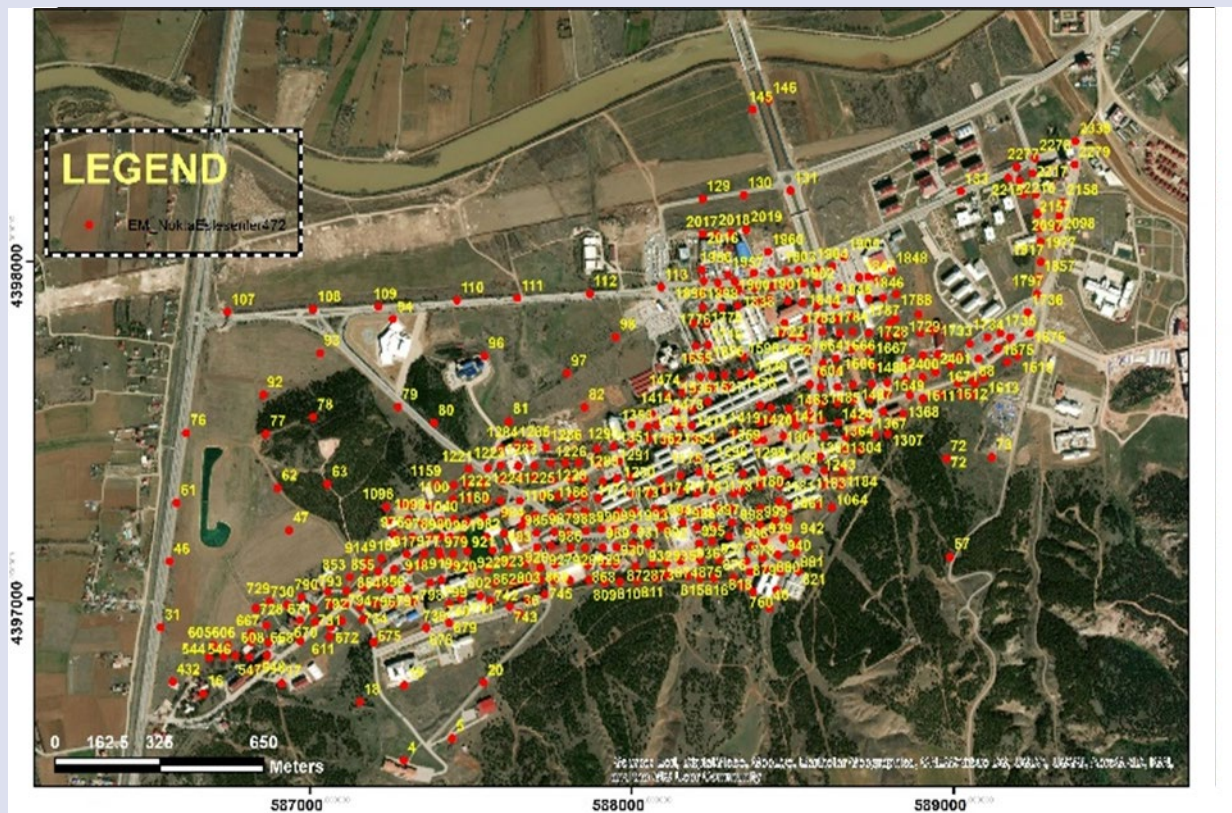


Figure 2. Map of Sivas Cumhuriyet University campus and measurement points.

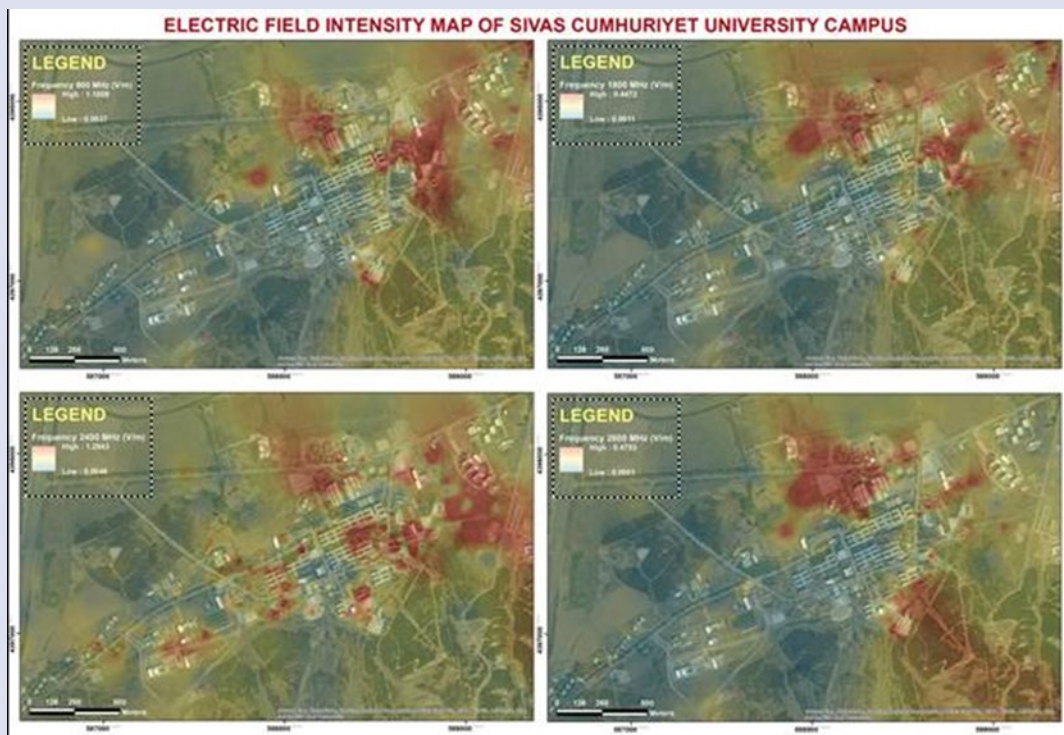


Figure 3. Electromagnetic field intensity map of Sivas Cumhuriyet University campus.

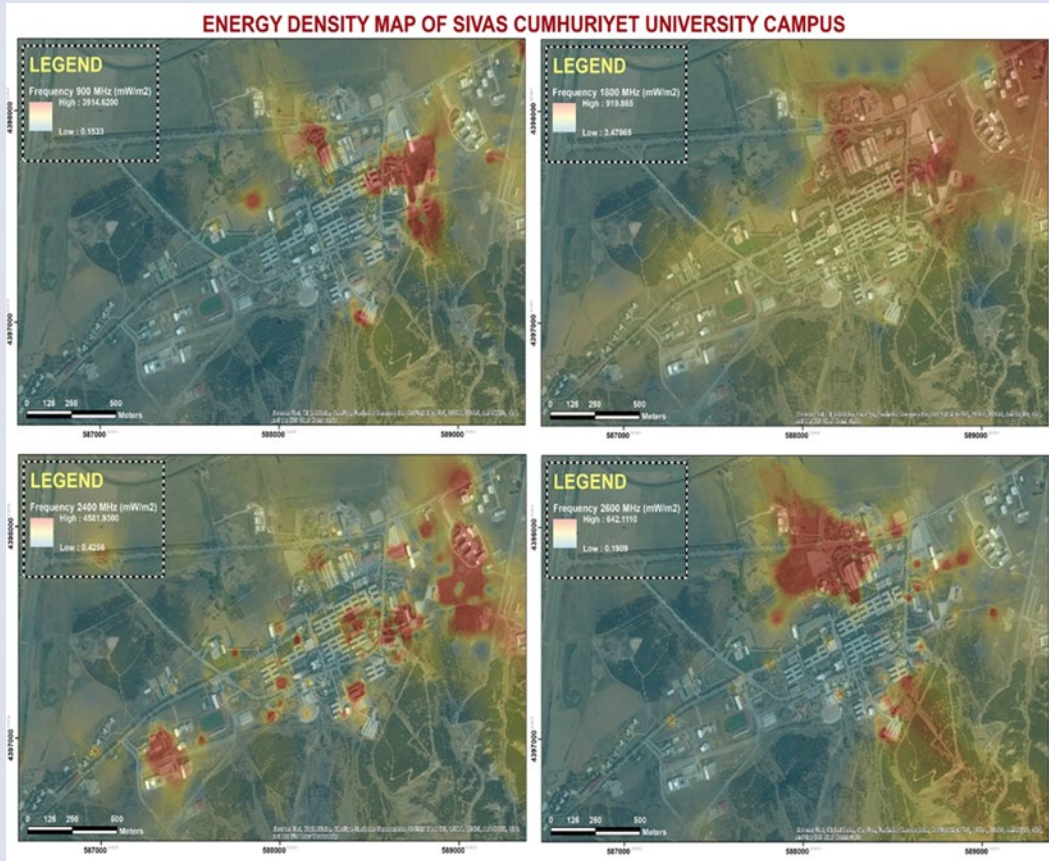


Figure 4. Energy density map of Sivas Cumhuriyet University campus.

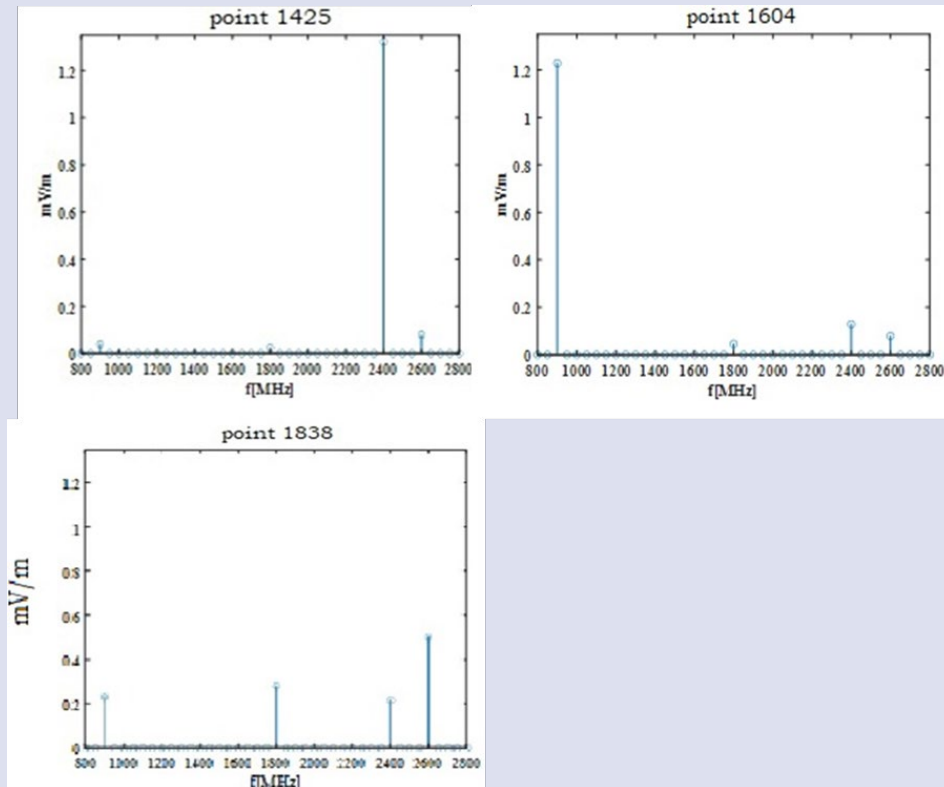


Figure 5. Graphs of the Electric field (mV/m) values in the 800-2800 MHz frequency band were obtained from 1425, 1604, and 1838 grid areas.

## Discussion and Conclusion

Upon examining the maps showing the distribution of EMF intensity, we revealed that all values were  $\leq 5,5$  V/m (maximum 1,4 mV/m) in Sivas Cumhuriyet University campus area. In other words, they were below the limits set by the ICNIRP and accepted by Turkey. In some countries, the limit values of universities are accepted as higher than the limit values in the residential areas of people since there can be electromagnetic induction devices used in various studies. For example, this value is 6 V/m in Italy.

In Sivas Cumhuriyet University campus, power densities with some frequencies were measured higher at some points. For example, it has been detected that electromagnetic waves with a frequency of 2600 MHz at 1838 points, 900 MHz at 1604 points, and 2400 MHz at 1425 points create a higher field (mV/m). These results are parallel with the distribution of results obtained by [4]. While our findings were based on a more detailed analysis at four different frequencies, at 900, 1800, 2400, and 2600 MHz, in [4], EMF measurements were carried out only at 900 MHz and 1800 MHz on ITU campus. Compared to the nine base stations in this campus, there are two base stations in the campus addressed in our study and a Wi-Fi center to enable staff and students to connect online inside the campus. In the study in [8], only the electromagnetic pollution at 1800 MHz was mapped. In this study, electromagnetic pollution maps were obtained by measuring electromagnetic radiation at 185 points in Konya. As a result of the measurements, it was determined that there were no base stations exceeding the specified limits. However, it was determined that some base stations had relatively higher radiation values than others. In the measurement performed by Nilüfer As et al. on RTE University campus, the electric field was measured higher in certain frequency bands at crowded spots, and they reported that they found the results below the limit values [9]. Our measurement values are also below the limit values. In this study, by obtaining these base values, it will be identified how much these measurement values can increase with new base stations or other Wi-Fi centers to be added to the campus in the future.

In conclusion, we have established the first stage of our original data bank with this electromagnetic field scan

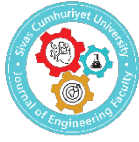
made on Sivas Cumhuriyet University campus. Since our subject area was not the analysis of the effects of electromagnetic fields on human health, the details of where they can affect human health were not discussed. It is aimed at conducting research in this area in future studies. We believe that electromagnetic signal intensities should be determined in every field where people work collectively. Because humans have a conductive structure and electromagnetic field intensities affect this conductive structure for a long time.

## Acknowledgements

This study was funded by Sivas Cumhuriyet University Scientific Research Project (T-796, CUBAP, Turkey).

## References

- [1] World Health Organization, Radiofrequency fields, Public Consultation Document, Geneva, 2014.
- [2] Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Elektronik Haberleşme Cihazlarına Güvenlik Sertifikası Düzenlenmesine İlişkin Yönetmelik. Available at: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/05/20090516-19.htm>
- [3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Guidelines For Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz), *Health Physics*, 2020;118:5 483- 524.
- [4] Boz K, Denli HH, Spatial Electromagnetic Field Intensity Modelling of Global System for Mobile Communication Base Stations in the Istanbul Technical University Ayazaga Campus Area, *Geospatial Health*, 2018;13:527 28-34.
- [5] Kurnaz Ç, Mutlu M, Comprehensive Radiofrequency Electromagnetic Field Measurements and Assessments: A City Center Example, *Environmental Monitoring Assessment*, 2020;192:334.
- [6] Hyland GJ, Physics and Biology of Mobile Telephony, *The Lancet*, 2000;356:9244 1833–1836.
- [7] Kositsky NN, Nizhelska AI, Ponezha GV, Influence of High-Frequency Electromagnetic Radiation at Non-Thermal Intensities on the Human Body, *Newsletter of the Cellular Phone Taskforce Inc.*, 2001;3:1 1–31.
- [8] Durduran SS, Uygunol O, Seyfi L, Mapping of Electromagnetic Pollution at 1800 MHz GSM (Global System for Mobile Communication) Frequency in Konya, *Scientific Research and Essays*, 2010;5:18 2664-2672.
- [9] As N, Dilek B, Şahin ME, Karan Y, Electromagnetic Pollution Measurement in the RTE University Campus Area, *Global Journal on Advances in Pure & Applied Sciences*, 2014;3:65-72.



## Uncovering the Complex Causal Mechanisms of Road Traffic Collisions at Intersections Using Piecewise Structural Equation Modelling

Mustafa Ekmekçi<sup>1,a,\*</sup>, Nima Dadashzadeh<sup>2,b</sup>, Lee Woods<sup>3,c</sup>, Renan Sinanmis Balcı<sup>4,d</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Çanakkale Onsekiz Mart University, 17100 Merkez, Çanakkale, Türkiye

<sup>2</sup> Assistant Professor, Future Mobility Centre, Huddersfield Business School, University of Huddersfield, Huddersfield HD1 3DH, United Kingdom

<sup>3</sup> Associate Dean for Students, Faculty of Technology, University of Portsmouth Portsmouth, PO1 3AH, United Kingdom

<sup>4</sup> Assistant Professor, Nevşehir Hacı Bektaş Veli University 2000 Evler, Zübeyde Hanım Cd., 50300 Merkez, Nevşehir Türkiye

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 08/07/2024

Accepted: 10/07/2024

### ABSTRACT

Understanding the causes of traffic collisions is crucial for road designers, engineers, and policymakers to improve road safety at intersections. Design standards aim to minimize the severity and frequency of collisions. However, the factors that may affect traffic collisions are extensive. Their causal mechanisms can be complex, with feedback loops between traffic flows, visibilities, speeds, risk perception, speed limits, and other geometric characteristics of intersections. Structural Equation Modelling (SEM) is commonly used in behavioural sciences to understand complex causal paths, including travel behaviour studies. However, SEMs cannot robustly represent non-normally distributed datasets and rare count events, and little literature exists on their application to road traffic collisions. To address this limitation, this paper proposes a piecewise Structural Equation Modelling (pSEM) technique, which can handle count responses (i.e. number of collisions) to represent the complex causal relationships that lead to collisions. Application of pSEM technique is compared with conventional SEM. The Akaike Information Criterion (AIC) and the Bayesian Information Criterion (BIC) values demonstrate that pSEM is a more robust approach to model collisions at unsignalized intersections than conventional SEM. In terms of prediction ability referring to explained variance, pSEM is much more robust than SEM. Piecewise Structural Equation Modelling is, therefore, recommended for policy implications.

### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

**Keywords:** Road safety; Traffic collision analysis; Piecewise Structural Equation Modeling (pSEM); Intersection design; Priority three-armed intersections

<sup>a</sup> mustafa.ekmekci@comu.edu.tr

<sup>b</sup> 0000-0003-2636-1739

<sup>b</sup> n.dadashzadeh@hud.ac.uk

<sup>b</sup> 0000-0001-5425-0572

<sup>c</sup> lee.woods@port.ac.uk

<sup>c</sup> 0000-0002-8336-4939

<sup>d</sup> renansinanmis@gmail.com

<sup>d</sup> 0000-0002-4054-9052

**How to Cite:** Ekmekçi M, Dadashzadeh N, Woods L, Sinanmis Balcı R (2024) Uncovering the Complex Causal Mechanisms of Road Traffic Collisions at Intersections Using Piecewise Structural Equation Modelling, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 125-136

## Introduction

A wide range of research has been undertaken worldwide to understand and address road traffic collisions at unsignalized intersections. In the United Kingdom, priority-controlled intersections account for 49% of urban accidents, with T or staggered intersections accounting for 59% of these [1]. Many people were killed in these collisions, of which 66% were drivers, cyclists, or motorbike riders, 19% were passengers, and 15% were pedestrians [1].

Collision prediction models (CPMs) serve a variety of purposes, including estimating the anticipated number of collisions based on traffic volume and identifying factors related to the occurrence of collisions, such as geometric, environmental, and operational variables. To accurately determine the frequency and severity of collisions and reduce their likelihood, it is essential to comprehend the causal mechanisms that connect road conditions, environmental factors, drivers, vehicles, temporal variables, and operations to collisions [2–5]. By proactively utilizing CPMs, potential collision risks can be assessed, and collision-prone locations can be identified [6,7].

CPMs have evolved over decades from an early approach with multivariate linear regression analyses of traffic collisions to the most used method; generalised linear regression modeling (GLM) and most recently, machine learning. The logic behind this evolution lies in the nature of traffic collisions that are rare and non-normally distributed count responses. GLM seems convenient; however, it cannot overcome complex hierarchical interplay between explanatory variables, such as in the case of collisions. To represent such complexity, the conventional structural equation model using multivariate linear regression can be used using AMOS SPSS or other analytical software. However, the model treats the count response as a continuous variable that will cause unreliable results due to the nature of collisions [8]. On the other hand, the machine learning approach can handle complex problems, but interpreting results are problematic, due to their “black box” nature. Therefore, there is a need to have a new analytical regression method that can combine the structural equation model for representing complex and hierarchical interplay and GLM that accounts for non-normally distributed collisions.

This paper developed a piecewise Structural Equation Model (pSEM) to road safety as a new analytical method, overcoming drawbacks of previous techniques. The new pSEM model is compared with the conventional SEM by analysing traffic collisions at 120 priority intersections in the city of Portsmouth, UK.

The remainder of this paper begins by summarising the current literature's findings regarding collision prediction models at unsignalized intersections. Commonly used regression models relevant to this paper are described, along with their advantages and disadvantages. Then, the mathematical background of path analysis as a family of structural equation modeling is explained. In the method section, after briefly describing the data for this paper, piecewise Structural Equation Modeling is formulated, and a causal diagram of the model is illustrated compared to a standard SEM. The results are discussed and concluded.

## Literature Review

### Studies on unsignalized intersections

Road traffic collisions (RTC) at unsignalized intersections are a major concern around the world, and several approaches have been used to better understand their causes.

The approaches on modeling traffic collision of priority three-armed intersections can be broadly categorized into three main categories: observational research, experimental research and microsimulation studies as illustrated in Figure 1.

The first category is observational research, which can be further divided into three sub-groups. The first group aims to determine the frequency or number of collisions. For example, Kitto [9] conducted a study in Wellington, New Zealand to examine the effect of physical and site characteristics on collisions. Similarly, Bonneson [10] examined unsignalized intersections in the USA (Utah, Minnesota, Illinois, etc.) to develop a model relating intersection traffic demand to collision frequency. As collisions are rare events and non-negative count data, the most commonly used approach to modeling RTCs was Generalized Linear Modeling (GLM). Other studies have developed collision prediction models based on traffic flow to assess safety at unsignalized intersections, such as Salifu [6], who studied two cities in Ghana, and Kulmala [11], who developed separate models for different types of collisions in Finland.

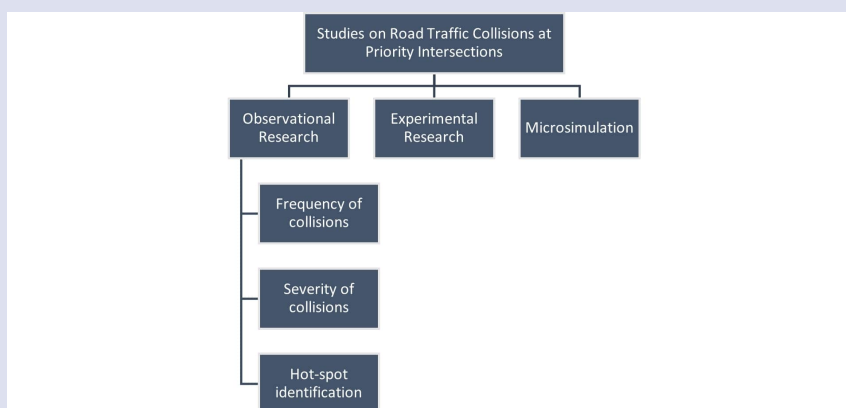


Figure 1. Categorization of studies on priority three-armed intersections.

The second approach to understanding RTCs is to determine the severity of collisions rather than the frequency. For instance, Chen et al. [12] applied logistic regression to examine the contribution of various factors to collision severity in Victoria, Australia, while Haleem and Abdel-Aty [13] examined the severity of injury collisions at unsignalized intersections in the USA. Both studies found that several variables, such as traffic volumes, the number of lanes, and driver age, were significant in determining collision severity.

Statistical models are useful for drawing conclusions and establishing relationships, but they generally have poor predictive performance due to assumptions about the collision data [14]. Researchers have used artificial neural networks (ANNs) to classify collision severity, such as Akin and Akbas [15], who predicted intersection collisions in Michigan State, USA.

The third approach to traffic safety at junctions is hot-spot identification. Sayed and Rodriguez [7] attempted to develop collision prediction models to identify collision-prone locations of urban unsignalized intersections on Vancouver Island, British Columbia, using the Empirical Bayesian (EB) method.

Category two includes experimental research, such as Polus [16] who implemented a before-and-after study to investigate whether stop signs differ from yield signs in terms of their effect on traffic collisions at unsignalized intersections.

Category three includes microsimulation studies based on traffic conflict techniques developed by General Motor Laboratory. Traffic conflicts refer to observed situations where two or more road users approach a collision course, which could result in a collision if no one acts to avoid it. Traffic conflict indicators, such as time to collision (TTC) and post-encroachment time (PET), can be used to assess traffic safety. Microsimulation software, such as VISSIM and AIMSUN, can be used with the Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) to classify whether PET and TTC have critical conflict values.

Caliendo et al. [17] attempted to predict the number of collisions by using the number of critical traffic conflicts predicted. Pawar, Gore, and Arkatkar [18] investigated the use of accepted gaps to estimate the likelihood of a collision at unsignalized T-intersections. The best-fitting distribution was the generalised extreme value (GEV), which was used to estimate the likelihood of a collision using accepted gap and PET datasets. Accepted gap data was used for risk characterisation. Goyani [19] looked at the safety effect of mixed traffic conditions on different types of vehicles. The percentage of critical crossing conflicts (PCCC) was higher in the traffic stream with motorised two-wheelers and three-wheelers, followed by cars, buses, LCVs, and trucks. Paul [20] figured out how motorised two and three-wheelers conflicts affect crossing conflicts at unsignalized T-intersections in India. They applied Truncated Negative Binomial regression to create models of crossing conflicts. The results showed that the number of critical and non-critical conflicts is greatly affected by the proportion of two and three-wheelers in the conflicting and offending stream, the presence of a central traffic island, and the total number of conflicts.

Studies using microsimulation have also examined the effect of changes in speed limits on traffic safety at unsignalized intersections, such as Pirdavani [21], who used S-Paramics to analyse whether changes in speed limits under different traffic volumes affect traffic safety. Srinivasula, Chepuri, and Joshi [22] investigated the critical speed of

conflicting vehicles and the effect of speed bumps on PET and traffic collision frequencies. They concluded that while safety has improved, other appropriate measures should be implemented to improve safety levels further.

Surrogate safety measures traditionally applied to single collision types. Gastaldi, Orsini, Gecchele, and Rossi [23] applied two bivariate extreme value theory (EVT) approaches in order to simultaneously evaluate multiple collision types at a three-leg unsignalized intersection.

## Commonly used regression models in traffic safety studies

### Linear regression models

In the literature, early attempts at collision prediction studies were modelled by multiple linear regression that can be formulated as follows.

$$E = B_0 + \sum_{j=1}^n x_j b_j \quad (1)$$

Where  $E$  is the number or frequency of collisions,  $B_0$  is an intercept,  $x_j$  represents explanatory variables such as road width and traffic flow,  $n$  is the number of explanatory variables, and  $b_j$  are the estimated coefficients.

Kitto [9] examined the effect of various physical and site characteristics on collisions by using multiple regression techniques. Arndt and Troutbeck [24] described the relationship between the geometry of priority intersections and collision rate using multiple linear regression. However, there are many debates and controversial points regarding this modeling technique. Nambuusi [25] highlighted that multiple linear regression is not robust as the response variable is non-negative count data. The linear regression model, while appealing and simple, has stringent assumptions that are frequently violated when applied to data on road safety [26].

### Generalized linear regression models (GLMs)

To overcome the limitations of conventional linear regression, GLM was used. These models allow the analysis of non-normally distributed data [27].

#### Poisson regression

Different generalized linear models have been established in the literature. Poisson GLM regression is one of the commonly used models since collisions are unavoidably discrete and rare random events [25]. Rahman [28] indicated that another advantage of Poisson regression is that it is suitable for categorical data.

The commonly used form of Poisson regression with a log link function can be written as follows.

$$E = t_i e^{\sum b_j x_j} \quad (2)$$

Where  $E$  is the expected event,  $b_j$  are the estimated coefficients,  $t_i$  is the interval as an offset variable (i.e. time, length),  $X_j$  represents an explanatory variable, and  $e$  is the natural number.

This function above specified traffic collisions by adding traffic flow as the main exposure variable. The following structure is a general form used in the literature [7,11,29].

$$E = t_i Q_1^{b_1} Q_2^{b_2} \quad (3)$$

Where  $Q_1$  and  $Q_2$  annual average daily traffic flows per 1000 vehicles  $b_1$  and  $b_2$  are the estimated parameters, and  $t_i$  is the offset variable (year).

What  $Q_1$  and  $Q_2$  depend on what kind of flow model was used. For example, in the major/minor inflow model, they are the sum of major and minor traffic flow at an intersection.

The following form was added to the model to include additional factors such as categorical and geometric variables [10,30,31].

$$E = Q_1^{b_1} Q_2^{b_2} e^{\sum b_j X_j + \ln t_i} \tag{4}$$

*The Quasi-Poisson and negative binomial regression*

Poisson models also have some drawbacks. Turner [32] observed that the Poisson model sometimes produces inaccurate results. The limitation is that the mean must be equal to the variance [33]. When this equality is not evident, under-dispersion or over-dispersion problems occur. The pure Poisson model can be modified to deal with the over-dispersion problems through a Quasi-Poisson approach. The estimated parameters that result from the Quasi-Poisson (QP) model are the same as those from the pure Poisson model. The difference is just in their standard errors that are inflated by a factor of 'k' [30]

Another way to model an over-dispersed response variable is to use the negative binomial (NB) regression (30) The assumption of the NB model is reported to be a more realistic approach than the Poisson regression [34]. Several researchers have attempted to use NB regression to deal with dispersion problems [i.e., 6,7,11,35].

Theoretically, the variance ( $Var(n)$ ) in the negative binomial distribution is not equal to the mean ( $\lambda$ ) as follows:

$$Var(n) = \lambda + \frac{1}{r} \lambda^2 \tag{5}$$

The term  $\frac{1}{r} = \theta$ , which refers to the inverse of the over-dispersion parameter ( $r$ ). In the mathematical limit situation where 'r' is close to infinity, the variance will equal the mean due to the standard Poisson model assumption as follows.

$$Var(n) = \lambda + \frac{1}{\infty} \lambda^2 = \lambda \tag{6}$$

Conventionally, Poisson regression is a particular instance of the negative binomial model where the  $\theta$  parameter is zero [36]. The overall form of negative binomial regression is derived from the Poisson model by adding an independently distributed error term [37].

$$\lambda_i = e^{\sum b_j X_j + b_0 + \varepsilon_i + \ln t_i} \tag{7}$$

Where  $\exp(\varepsilon_i)$  is the gamma distributed error with mean 1 and variance  $1/r = \theta$ .

$$P(Y = y_i | \lambda_i, \theta) = \frac{\Gamma(\theta + y_i)}{\Gamma(\theta) \Gamma(y_i)} \left[ \frac{\theta}{\theta + y_i} \right]^\theta \left[ \frac{y_i}{\theta + y_i} \right]^{y_i} \tag{8}$$

Where  $y_i = 0, 1, 2, \dots, n$  is the number of collisions,  $\theta$  is the inverse dispersion parameter ( $1/r$ ), and  $\Gamma(\dots)$  is the gamma distribution function.

Poch and Mannering [37] concluded that the elements related to collision frequency in an intersection approach could

logically identify significant traffic and geometric phenomena by using negative binomial regression modeling.

The over-dispersion parameter as an extra variation in traffic collisions can be caused by some factors, such as misspecification in the model and an excessive number of zero collisions. In this regard, the zero-inflated Poisson or the zero-inflated negative binomial models can be used [38, 39].

**Structural equation model (SEM): A path analysis**

In the 1920s, path analysis was developed by Sewall Wright, a geneticist. He attempted to measure the direct influence of one variable on another along with path diagrams by taking correlations into account. The path analysis method, therefore, depends on the degree of correlations in a system [40].

Wright [41] obtained the basic formulation of path coefficients by explaining the representative path diagram illustrated in Figure 2. Variables are connected as a function of dependent relationships through the one-way arrows.  $V_i$  is a total residual determination, and the double arrows represent residual correlations between variables. Wright assumed that all relationships are linear.

Each variable from the unidirectional perspective can be formalised as follows:

$$(V_0 - V'_0) = r_{01}(V_1 - V'_1) + r_{02}(V_2 - V'_2) + \dots + r_{0n}(V_n - V'_n) \tag{8}$$

Where  $V'_i$  is the mean,  $(V_i - V'_i)$  represents deviations from means, and  $r_{oi}$  is a coefficient.

$$X_i = \frac{(V_i - V'_i)}{\delta_i} \tag{9}$$

Where  $X_i$  is a standard z score of a variable, and  $\delta_i$  is the standard deviation.

$$P_{0i} = r_{0i} \frac{\delta_i}{\delta_0} \tag{10}$$

$P_{0i}$  is a standardised path coefficient reflecting a correlation.

Equation 9 and Equation 10;  $X_i \delta_i = (V_i - V'_i)$ ,  $P_{0i} (\delta_0 / \delta_i) = r_{0i}$  can be rearranged respectively. Then, they can be combined with Equation 11 as follows:

$$X_0 \delta_0 = P_{01} \frac{\delta_0}{\delta_1} X_1 \delta_1 + P_{02} \frac{\delta_0}{\delta_2} X_2 \delta_2 + \dots + P_{0n} \frac{\delta_0}{\delta_n} X_n \delta_n \tag{11}$$

So, if the unnecessary parameters in the equation above are eliminated, the final form of the equations will be as follows:

$$X_0 = P_{01} X_1 + P_{02} X_2 + \dots + P_{0n} X_n \tag{12}$$

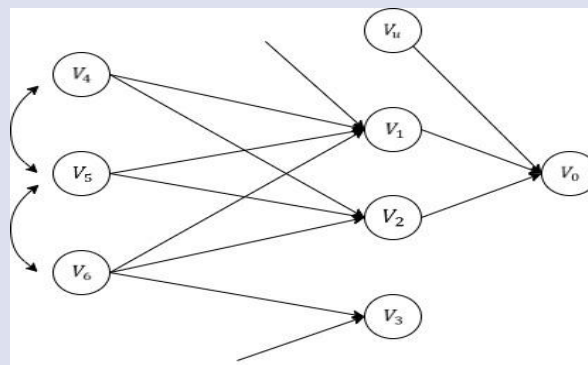


Figure 2. Path Analysis Diagram, (Wright, 1934)



According to Wright [41], the fraction of the standard deviation of the dependent variable in the above equation is measured by each path coefficient. The factor identified will be directly responsible for a change in the fraction of the dependent variable even if all other factors, including residuals are constant [41].

SEM is a multivariate technique that combines regression, factor analysis and analysis of variance in order to simultaneously estimate interrelated dependence relationships [42]. Even though conventional SEM methodology is well-known and widely applied in many different fields of research, nowadays, there are no robust, practical applications for collision prediction.

SEM used multivariate linear regression that does not account for the nature of collision data, which are rare, non-negative counts and may not be normally distributed with respect to explanatory variables. The linear regression of a count response variable may not present meaningful results. As explained above, generalised linear modeling (GLM) approaches taking account of discrete responses would be more logical. Regarding traffic collisions at unsignalized intersections, such approaches have been applied in the UK [30,43] and overseas [i.e., 7, 10, 11, 29, 31, 34, 37] However, GLM may not be able to represent the complex inter-relationships between explanatory variables such as speeds, visibilities, speed limits and collisions. Therefore, in this paper, a piecewise structural equation model (pSEM) adapting GLM into a structural equation model will be introduced and compared with conventional SEM by analysing collisions at 120 priority intersections in the city of Portsmouth, UK.

## Method and Data

### Data collection in Portsmouth, UK

Portsmouth is a city located in Southeast of the UK. It is about 19 miles south of Southampton and 70 miles south of London. The city has the highest population density in the United Kingdom, with 5,100 people per square kilometres, significantly above the national average [44]. In 2007, Portsmouth was the first city in the UK to introduce a city-wide 20mph speed limit [45].

The locations where data collection was conducted shown in Figure 3 were collected from 120 locations in Portsmouth and Gosport. Locations were reviewed between Sep 2020 and Aug 2021.

The data collection process summarized in Figure 4. Speed data from approaching vehicles at 360 junction arms were measured by using an SL700 spot speed camera. Classified 15-minute traffic counts were undertaken in the am, pm or both. These were converted to Average Annual Daily Traffic (AADT) using the standard conversion factors suggested by the Chartered Institution of Highways and Transportation [46].

As input variables, geometric factors (such as visibility, road width, and turning radii) are measured. To measure the geometric factors, the DIGIMAP service in the United Kingdom provides AutoCAD-compatible ".dwg" files. However, actual conditions, such as parking situations, could not be visualized in the AutoCAD drawing. As a result, visibility measurements were drawn in 3D using Google Earth. All junctions were visited to see if there were any discrepancies between Google Earth views and current junctions.

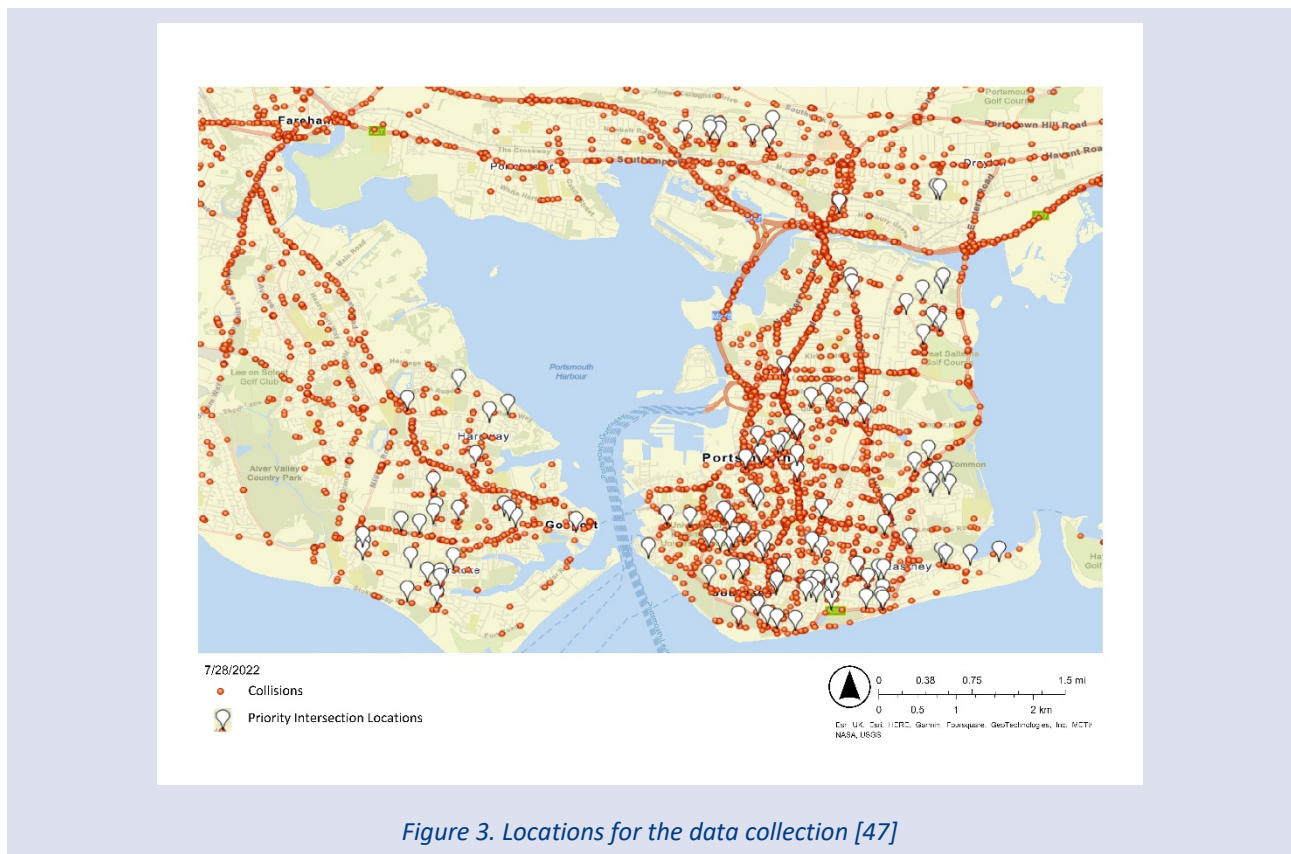


Figure 3. Locations for the data collection [47]

As output variables, collision scenarios collected from STATS19 data provided by Department of Transport. In the UK, each accident has specific index number linking vehicle and collision information. These two massive datasets combined by R Studio, STATS19 package. Then it was put into ArcGIS online to see the collisions in the target locations (Figure 3).

**Piecewise Structural Equation Modeling (pSEM)**

pSEM was developed by Shipley's studies in the 2000s [48]. The relationships between variables in the conventional SEM are simultaneously estimated in a single variance-covariance matrix [49]. However, in pSEM, each set of relationships are estimated locally (or, in other words, independently) [48]. The conventional SEM uses chi-square tests to compare observed and predicted covariance matrix, while the goodness-of-fit of a pSEM is measured as a "test of directed separation" [50]. Shipley [48] highlighted that this test does not depend on asymptotic methods, so it can be used with smaller

sample sizes. Secondly, many problems involving non-normality and non-linearity can be overcome. Another aspect of the "test of directed separation" is that it does not conflict with some problems of covariance matrices involving a maximized loss function. Finally, it allows each piece of the local causal model to determine how much it contributes to the lack of fit [51]. Therefore, pSEM appears to be a robust technique for estimating collisions. R Studio was selected as the analytical package, as it can run with the "piecewiseSEM" package.

**The d-separation test of pSEM**

Shipley's method of testing the path model is based on graph theory notation called directed separation (d-separation) and its relation to conditional independence claims in the probability distribution developed by Pearl and Verma [52]. They explained the logic and mechanics of the d-separation test. Shipley [48] generalised and adapted this to deal with data with a hierarchical structure.

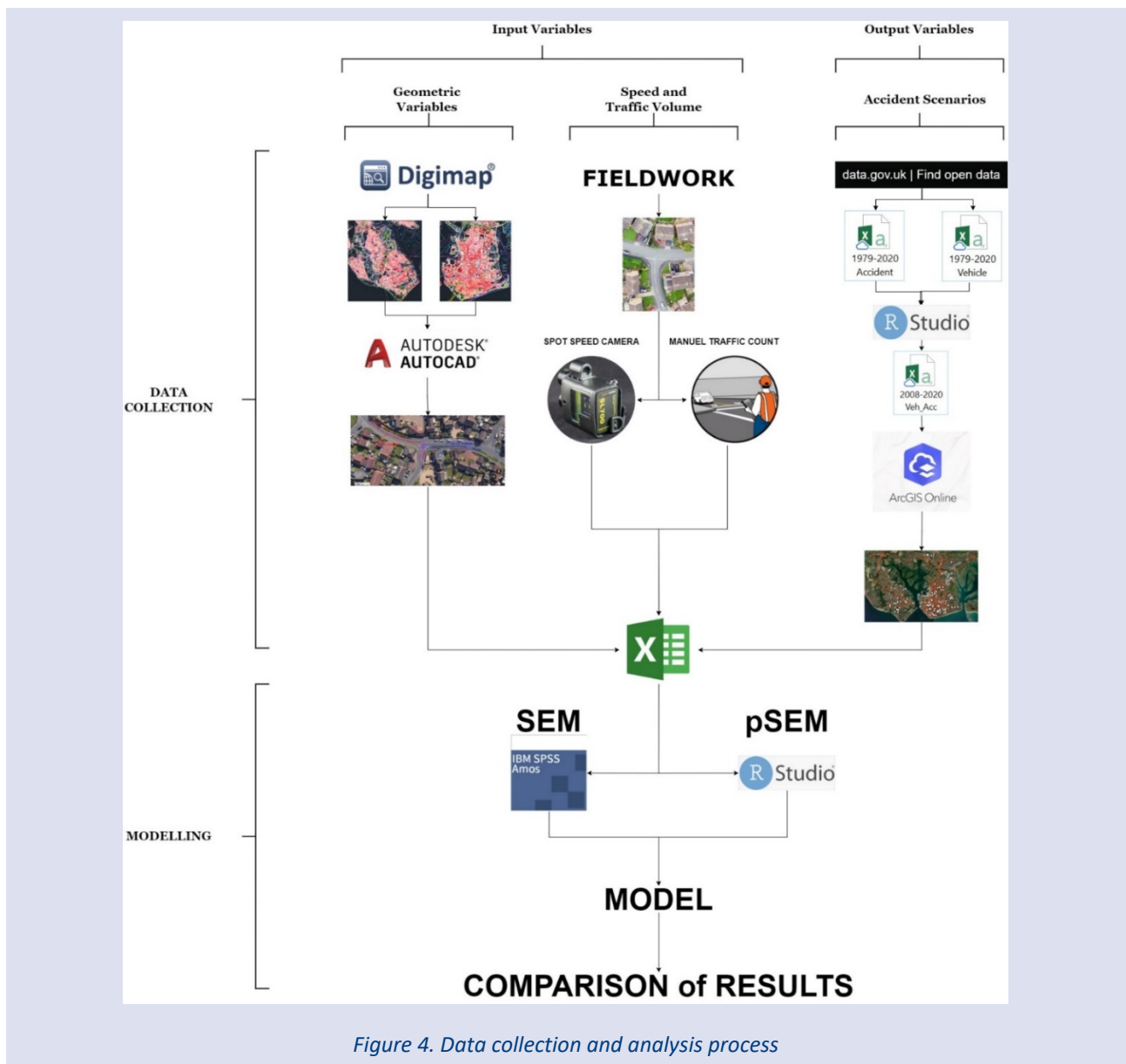


Figure 4. Data collection and analysis process

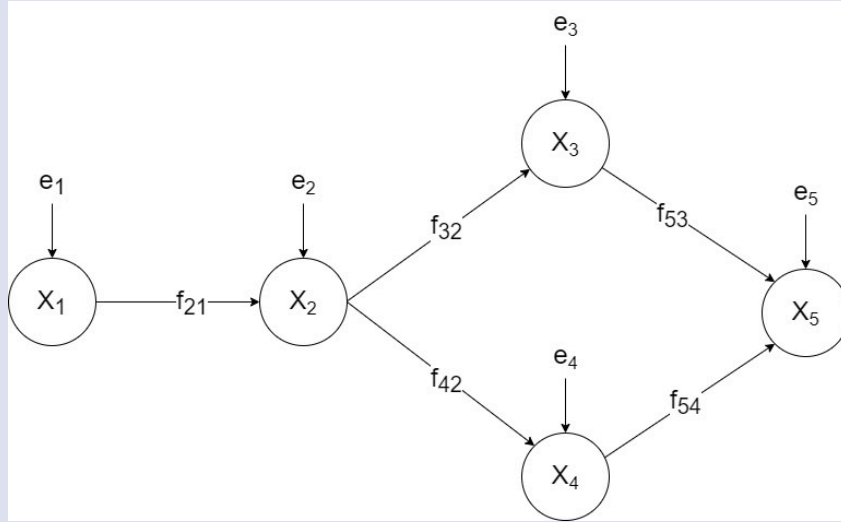


Figure 5. An illustration of a causal path model (directed acyclic graph).

Table 1. d-separation for independence claims

Claim No	d-separation claim
1	$X1 \perp\!\!\!\perp X3 \mid \{X2\}$
2	$X1 \perp\!\!\!\perp X4 \mid \{X2\}$
3	$X1 \perp\!\!\!\perp X5 \mid \{X3, X4\}$
4	$X2 \perp\!\!\!\perp X5 \mid \{X1, X2, X4\}$
5	$X3 \perp\!\!\!\perp X4 \mid \{X2\}$

The mathematical background of the d-separation test was introduced in Shipley [51] and detailed in Shipley [48,53]. The process can be summarised in 6 steps as follows.

1. First, the causal hypothesis should be formed in the directed acyclic graph showing the variables involved in the hypothesis and directed causal links between each other as arrows. It can be seen in Figure 5 as an example where Shipley [48] indicates the functional form of the equations (“ $f_{ij}$ ”) that link variables between  $i$  and  $j$ .
2. Identify each pair of variables ( $X, Y$ ) in the graph for variables that do not have an arrow from one direction to another, such as  $X1 \rightarrow X3$  or  $X3 \leftarrow X1$ .
3. Find the causal parents that are mediating the links. For instance, the causal parent of the relationship between  $X1$  and  $X3$  is  $X2$ . Because there is no direct arrow between  $X1$  and  $X3$ , this set of variables ( $X1 \rightarrow X2 \leftarrow X3$ ) is called the conditioning set.
4. Create an independence claim by converting each unique pair and conditioning set. The independent claims of the directed acyclic graph in Table 1 are listed below as an example.
5.  $X_i \perp\!\!\!\perp X_j \mid Q$ . means that  $X_i$  and  $X_j$  variables are a probabilistically independent conditional set of variables in  $Q$ .
6. Calculating the null probability ( $p_i$ ) for each predicted independence claim.
7. In the final step, a global test of the model requires simultaneous testing of these independence relationships given by Fisher [54]. Fisher’s C test can be written as follows.
 
$$C = -2 \sum_{j=1}^k \ln(p_j) \tag{12}$$

The test follows the chi-square distribution with  $2k$  degrees of freedom. Where  $k$  is the number of independent claims. This statistic also can be used to compute an AIC score for comparisons in the model selection process [53].

$$AIC_c = C + 2K \tag{13}$$

Where  $C$  is Fisher’s C statistics,  $K$  is the likelihood degrees of freedom.

The pSEM model in Figure 6 was specially designed in line with the literature. Arrows from any variable into the response variables (4 types of crashes) were modelled by the GLM approach of Poisson regression with log link functions. In contrast, multiple linear regression under the pSEM model simultaneously modelled other connections with normal distributions [55,56].

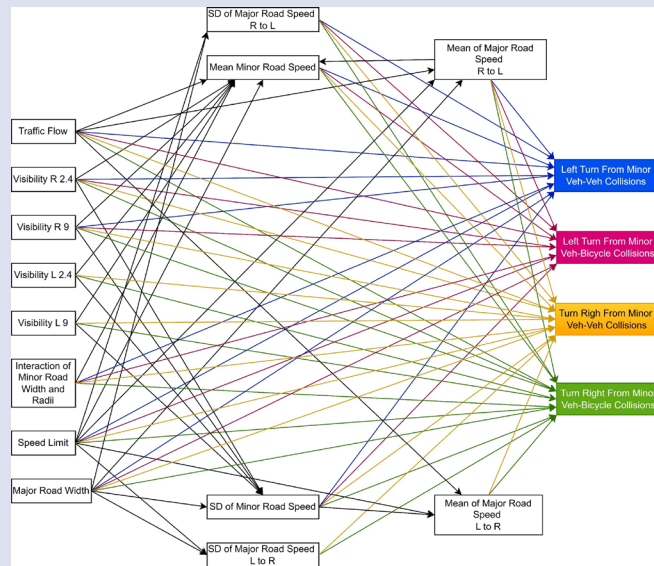


Figure 6. Directed acyclic graph of the fully tested model.

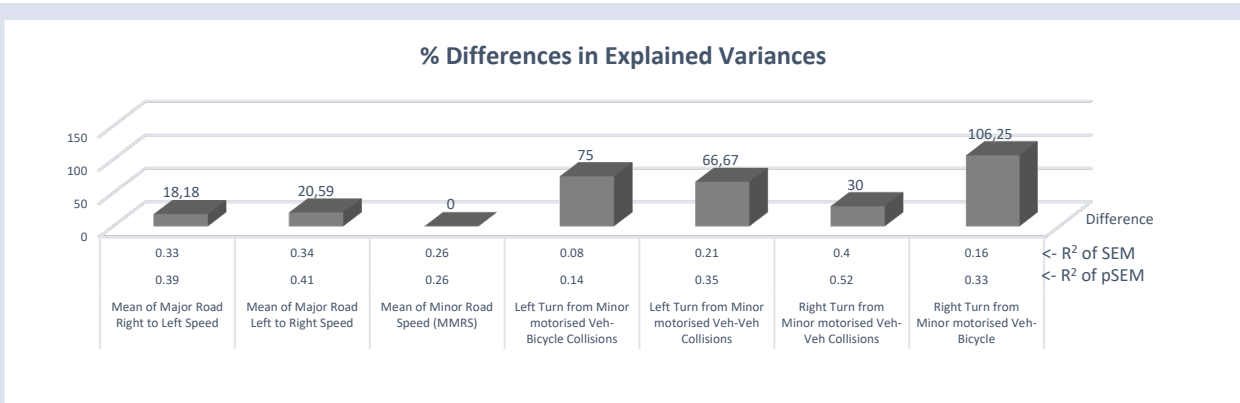


Figure 7. Comparing R-squared values of response variables for piecewise SEM and conventional SEM.

The associations between speed variables (mean and standard deviation) and other factors were modelled with pSEM through multiple linear regression, as speeds are dependent variables. Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk tests were used to check the normal distribution assumptions.

### Results and Discussion

The results of this study indicate that the pSEM model showed better performance, especially for predicting collision frequencies. Overall, the collision frequencies of pSEM explained 57% more variance compared to those in the conventional SEM, as the differences were summarised in Figure 7.

Differences in explained variance vary through the responses. Much greater differences have been observed where the responses are count variables (collisions) compared to the response variables that are continuous. This demonstrates the limited capability of linear regression to model traffic collisions. Even where the responses (mean speed) were suitable (continuous) for multivariate linear

regression through SEM and pSEM models, the piecewise structural equation model generally shows better performances with 18.18% and 20.59% differences. All of these differences seem to depend on how estimations are done, and other factors as listed below:

- pSEM estimates locally while SEM estimates simultaneously [48].
- Whether it is an asymptotic method or not; pSEM does not depend on asymptotic method and gives better estimation performance with smaller sample sizes [48].
- The distribution of response variables

Table 2 shows the Akaike Information Criterion (AIC) and the Bayesian Information Criterion (BIC) values. The BIC and AIC are used to assess model performance. Model performance is measured by taking complexity into account. They include a term that assesses how well the model fits the data with a term that penalises the model based on how well it fits the data, dependent on the number of parameters in the model [57]. The same model structure in Figure 6 was used to compare the model fit. The SEM model performed better in terms of the AIC and BIC values than SEM.

Table 2. Comparison of model fit values

Model	AIC	BIC
pSEM	176.291	254.341
SEM	267.642	387.505

Table 3. The results of the directed separation test

PREDICTORS	Mean of Minor Road Speed (MRMS)	Left Turn from Minor Veh- Bicycle Coll.	Right Turn from Minor Veh- Veh Coll.	Right Turn from Minor Veh-Bicycle Coll.	Mean of Major Road Left to Right Speed	Left Turn from Minor Veh- Veh Coll.	Mean of Major Road Right to Left Speed
Traffic Flow	0.287	0.234	-	-	-	-	-
Speed Limit	-	0.286	0.323	0.942	-	-	-
Minor Rd. Width	-	0.751	0.883	0.316	0.513	0.973	-
SD of Minor Rd. Speed	-	0.917	0.743	0.523	0.504	-	0.727
Vis. Right 2.4	0.234	0.348	-	0.882	0.090	0.086	0.109
Vis. Left 2.4	0.454	0.511	-	-	-	0.353	-
Vis. Right 9	0.705	0.141	0.765	-	0.093	0.850	0.070
Vis. Left 9	0.591	0.539	0.931	-	0.011	0.792	0.044
Mean of Major Road Right to Left Speed	0.253	0.136	0.349	0.946	-	0.497	-
Mean of Major Road Left to Right Speed	0.068	0.319	-	0.599	-	0.85	-
MRMS	-	-	0.017	-	-	0.752	-
Left Turn from Minor Veh-Veh Collisions	-	0.595	0.463	0.253	-	-	-
Right Turn from Minor Veh-Veh Coll.	-	0.45	-	0.857	0.101	-	-
Left Turn from Minor Veh-Bicycle Coll.	-	-	0.469	-	-	-	-

In terms of global goodness of fit, the SEM uses chi-square tests to compare observed and predicted covariance matrices. The null hypothesis of the chi-square test is that the covariance matrix of observation ( $\Sigma$ ) is equal to the predicted covariance matrix ( $\Sigma(\theta)$ ). The P-value was less than 0.001 with a chi-square value of 181.642 and 48 degrees of freedom. Predicted-observed covariance matrices significantly differ from each other. Thus, the alternative hypothesis ( $\Sigma \neq \Sigma(\theta)$ ) is accepted. In contrast, in the piecewise SEM, the goodness-of-fit is tested using a test of directed separation. Fisher's C statistic is 120.3 with P-value = 0.279 and on 112 degrees of freedom. The model indicates that there is no significant need to improve model fit.

Lack of fit values of the directed separation test are shown in Table 3. The analysis revealed a few associations with high probability where p values are less than 0.05. For example, the relationship between the Mean of major road speed and left-hand visibility at 9 metres back (Vis. Left 9) is significant with a p-value = 0.012. However, one cannot reasonably infer a causal relationship between them. Minor road visibilities may be correlated to major road visibilities, which may moderate the mean speed on

major roads. This connection and others were not added to the model because two reasons. Firstly, incorporating these relationships into the model is completely unnecessary. Secondly, Fisher's C statistic demonstrated that the model is adequate without the inclusion of new relationships.

The connections between non-significant predictors and response variable in the initial tested model (Figure 6) were step by step removed using the backward elimination method. Then, the results of the final pSEM and SEM models (remaining connections) were presented in Table 4 including the estimated coefficients, standard errors and corresponding p-values of the models. "NA" represents that connections between predictor and response variables were removed due to the backward elimination. However, the latest model forms for pSEM and SEM do not match each other. Some variables were kept in one of the models, while these variables were removed from the other. On the other hand, some variables were removed entirely from both models. For the "right turn from minor motorised vehicle-bicycle collision" scenario in Table 4, SEM lost many response variables while pSEM kept them.

Table 4. Comparison of pSEM and SEM

Response	Predictor	Estimate	pSEM			SEM		
			S.E.	P. Value	Estimate	S.E.	P. Value	
Mean of Major Road Right to Left Speed	Traffic Flow	0.0005	0.0001	0.00001	0.0010	0.0001	0.0001	
Mean of Major Road Right to Left Speed	Speed Limit	3.9902	0.6910	0.00001	3.8610	0.6940	0.0001	
Mean of Major Road Left to Right Speed	Traffic Flow	0.0005	0.0001	0.00001	0.0100	0.0001	0.0001	
Mean of Major Road Left to Right Speed	Speed Limit	3.1690	0.6077	0.0001	3.0340	0.6060	0.0001	
Mean of Minor Road Speed (MMRS)	Speed Limit	2.2128	0.5160	0.00001	2.2130	0.5120	0.0001	
Mean of Minor Road Speed (MMRS)	Minor Rd. Width (MRW)	0.6378	0.2111	0.0031	0.6380	0.2090	0.0020	
Left Turn from Minor Veh-Bicycle Collisions	MMRS	0.2116	0.0569	0.0002	0.0440	0.00001	0.0130	
Left Turn from Minor Veh-Veh Collisions	MMRS	NA	NA	NA	0.0440	0.0130	0.0001	
Left Turn from Minor Veh-Veh Collisions	SD of minor Rd. Speed	-0.9104	0.3819	0.0171	NA	NA	NA	
Left Turn from Minor Veh-Veh Collisions	Vis. Right 2.4	NA	NA	NA	0.0010	0.0010	0.0250	
Left Turn from Minor Veh-Veh Collisions	Traffic Flow	0.0002	0.0001	0.00001	0.0001	0.0001	0.0001	
Left Turn from Minor Veh-Veh Collisions	Vis. Right 9	NA	NA	NA	-0.0020	0.0010	0.0310	
Right Turn from Minor Veh-Veh Collisions	Traffic Flow	0.0002	0.0001	0.00001	0.0001	0.0001	0.0001	
Right Turn from Minor Veh-Veh Collisions	MRW x Left Radius	0.0113	0.0031	0.0003	NA	NA	NA	
Right Turn from Minor Veh-Veh Collisions	Vis. Left 2.4	-0.0035	0.0016	0.0293	-0.0010	0.0001	0.0160	
Right Turn from Minor Veh-Veh Collisions	Vis. Right 2.4	0.0026	0.0013	0.0364	0.0020	0.0010	0.0180	
Right Turn from Minor Veh-Bicycle Collisions	Traffic Flow	0.0002	0.0001	0.0685	NA	NA	NA	
Right Turn from Minor Veh-Bicycle Collisions	Vis. Right 9	0.0174	0.0058	0.0024	0.0050	0.0010	0.0001	
Right Turn from Minor Veh-Bicycle Collisions	Vis. Left 2.4	-0.0183	0.0061	0.0027	NA	NA	NA	
Right Turn from Minor Veh-Bicycle Collisions	Vis. Left 9	0.0174	0.0058	0.0024	NA	NA	NA	
Right Turn from Minor Veh-Bicycle Collisions	MMRS	0.1222	0.0558	0.0285	NA	NA	NA	

## Summary and Conclusion

The present study was designed to propose piecewise Structural Equation Modeling and compare it with the conventional SEM for understanding the causality behind road traffic collisions. Two analytical models were run for the same model structure. The global model fit value of conventional SEM could not pass the chi-square test leading to improper results, while the goodness of fit for pSEM did with Fisher's C statistic. Test of directed separation of pSEM also informed about other lack of fit for paths not included in the model. The pSEM model performed better, particularly in forecasting collision frequencies. Values for the Akaike

Information Criterion (AIC) and the Bayesian Information Criterion (BIC) used to evaluate model performance. When the same model structure was employed to examine model fit, the pSEM model outperformed the SEM model in terms of AIC and BIC values.

SEM employed multivariate linear regression, which ignores the nature of collision data, which are infrequent, non-negative counts that may not be normally distributed in relation to explanatory factors. So, the results of SEM show that it seems not to be a proper approach to model traffic collisions. As previously stated, GLM techniques that take the discrete nature of responses into account would be a more reasonable approach. GLM, on the other hand, seems to be

incapable of representing the complicated interrelationships between explanatory factors such as speeds, visibility, speed limits, and collisions. Application of pSEM extends the generalised linear modeling approach one step further by allowing it a hierarchical model structure including intermediation and provides a new inferential test called the test of directed separation to measure model fits. This paper proposes that pSEM is a more robust approach for modeling collisions than conventional SEM.

The collision frequencies of pSEM explained an average of 57% more variation when compared to those of the conventional SEM. Differences in explained variance differ between responses. Where the responses are count variables, much greater variation has been seen (collisions). This reveals linear regression's poor capacity to model traffic collisions. However, even when the response variable (in this case mean speed) is suitable for multivariate linear regression, due to it being a non-count variable, the piecewise structural equation model consistently outperforms SEM with 18.18% and 20.59% differences.

The scope of this research is confined to a model structure developed to comprehend certain types of road traffic collisions at 120 priority three-arm intersections. More studies could be done to assess the efficiency of the piecewise Structural Equation Model at various types of intersection and collisions.

### Acknowledgements

This work is fully funded by the Republic of Turkey Ministry of National Education, Çanakkale Onsekiz Mart University: Study Abroad Program.

### Declaration of interest statement

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

### References

- [1] Department for Transport. Road Safety Data - data.gov.uk [Internet]. 2023 [cited 2024 Jan 15]. Available from: <https://www.data.gov.uk/dataset/cb7ae6f0-4be6-4935-9277-47e5ce24a11f/road-safety-data>
- [2] Eenink R, Reurings M, Elvik R, Cardoso J, Wichert S, Stefan C. Accident Prediction Models and Road Safety Impact Assessment: recommendations for using these tools. Vol. 506184, RiPCORD iSEREST. 2005.
- [3] Usman T, Fu L, Miranda-moreno LF. Quantifying safety benefit of winter road maintenance: Accident frequency modeling. *Accid Anal Prev* [Internet]. 2010;42(6):1878-87. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2010.05.008>
- [4] Sarkar A, Sahoo UC, Sahoo G. Accident prediction models for urban roads. *Int J Veh Saf*. 2012;6(2):149-61.
- [5] Çelik AK, Oktay E. A multinomial logit analysis of risk factors influencing road traffic injury severities in the Erzurum and Kars Provinces of Turkey. *Accid Anal Prev*. 2014 Nov 1;72:66-77.
- [6] Salifu M. Analysis of accident potential at unsignalised urban junctions in Ghana. 2002.
- [7] Sayed T, Rodriguez F. Accident prediction models for urban unsignalized intersections in British Columbia. *Transp Res Rec*. 1999;(1665):93-9.
- [8] Muthen LK. Mplus Discussion >> Count Data Within Path Models [Internet]. 2012 [cited 2022 Apr 26]. Available from: <http://www.statmodel.com/discussion/messages/11/802.html?1562474031>
- [9] Kitto HJ. Accident rate at urban right-angle intersections. 1980.
- [10] Bonneson JA, McCoy PT. Estimation of Safety at Two-Way Stop-Controlled Intersections on Rural Highways. 1993.
- [11] Kulmala R. Safety at rural three- and four-arm junctions. Development and application of accident prediction models. VTT Publications [Internet]. 1996 [cited 2021 Mar 25];(233). Available from: <https://trid.trb.org/view/684994>
- [12] Chen H, Cao L, Logan DB. Analysis of Risk Factors Affecting the Severity of Intersection Crashes by Logistic Regression. <http://dx.doi.org/10.1080/153895882011653841> [Internet]. 2012 May [cited 2022 Aug 19];13(3):300-7. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15389588.2011.653841>
- [13] Haleem K, Abdel-Aty M. Examining traffic crash injury severity at unsignalized intersections. *J Safety Res*. 2010 Aug;41(4):347-57.
- [14] Zhou D, Gayah VV, Wood JS. Integration of machine learning and statistical models for crash frequency modeling. *Transportation Letters*. 2023;15(10):1408-19.
- [15] Akin D, Akbas B. A neural network (NN) model to predict intersection crashes based upon driver, vehicle and roadway surface characteristics. 2010; Available from: <https://www.researchgate.net/publication/228367341>
- [16] Polus A. Driver behaviour and accident records at unsignalized urban intersections. *Accid Anal Prev*. 1985 Feb 1;17(1):25-32.
- [17] Caliendo C, Guida M. Microsimulation approach for predicting crashes at unsignalized intersections using traffic conflicts. *J Transp Eng*. 2012;138(12):1453-67.
- [18] Mukund Pawar N, Ninad Gore, Arkatkar S. Examining Crossing Conflicts by Vehicle Type at Unsignalized T-Intersections Using Accepted Gaps: A Perspective from Emerging Countries. *J Transp Eng A Syst*. 2022 Jun;148(6).
- [19] Goyani J, Asce SM, Aninda, Paul B, Gore N, Arkatkar S, et al. Investigation of Crossing Conflicts by Vehicle Type at Unsignalized T-Intersections under Varying Roadway and Traffic Conditions in India. *J Transp Eng A Syst*. 2021 Feb;147(2).
- [20] Paul AB, Goyani J, Arkatkar S, Joshi G. Modeling the Effect of Motorized Two-Wheelers and Autorickshaws on Crossing Conflicts at Urban Unsignalized T-Intersections in India using Surrogate Safety Measures. *Transportation Research Procedia*. 2022;62:774-81.
- [21] Pirdavani A, Brijs T, Bellemans T, Pirdavani A, Brijs T, Bellemans T, et al. Evaluation of Traffic Safety at Un-signalized Intersections Using Microsimulation: A Utilization of Proximal Safety Indicators [Internet]. Vol. 22, *Advances in Transportation Studies an international Journal Section A*. 2010. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/228660289>
- [22] Srinivasula SR, Chepuri A, Arkatkar SS, Joshi G. Developing proximal safety indicators for assessment of un-signalized intersection – a case study in Surat city. *Transportation Letters* [Internet]. 2020 May 27 [cited 2023 Feb 22];12(5):303-15. Available from: <https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=ytrl20>
- [23] Orsini F, Gastaldi M, Rossi R. Conflict-Based Real-Time Road Safety Analysis: Sensitivity to Data Collection Duration and its Implications for Model Resilience. *Transp Res Rec* [Internet]. 2024;2678(1):460-72. Available from: <https://doi.org/10.1177/03611981231171151>

- [24] Arndt O, Troutbeck R. Relationship between unsignalised intersection geometry and accident rates - A literature review. Vol. 10, Road and Transport Research. 2003.
- [25] Nambuusi BB, Brijs T, Hermans E. A Review of Accident Prediction Models for Road Intersections. *Infrastructuur en ruimte*. 2008. 69 p.
- [26] Yannis G, Antoniou C, Papadimitriou E. Road casualties and enforcement: Distributional assumptions of serially correlated count data. *Traffic Inj Prev* [Internet]. 2007 Sep [cited 2023 Feb 22];8(3):300-8. Available from: <https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=gcpj20>
- [27] Dinarcan GN. Count Data Regression Models 1. Hacettepe Üniversitesi; 2018.
- [28] Rahman S. Development of an Accident Prediction Model for Intersections of Dhaka City, Bangladesh. *Int J Comput Appl*. 2012;47(16):10-6.
- [29] Hauer E, Ng JCN, Lovell J. Estimation of safety at signalized intersections. *Transp Res Rec*. 1988;(1185):48-61.
- [30] Mahel M, Summersgill I. A comprehensive methodology for the fitting of predictive accident models. *Science* (1979). 1996;28(3):281-96.
- [31] Salifu M. Accident prediction models for unsignalised urban junctions in Ghana. *International Association of Traffic and Safety Sciences* [Internet]. 2004;28(1):68-81. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S0386-1112\(14\)60093-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0386-1112(14)60093-5)
- [32] Turner S, Nicholson A, Miaou SP, Lord D. Intersection accident estimation: The role of intersection location and non-collision flows. *Accid Anal Prev*. 2003;30(1840):31-40.
- [33] Chin HC, Quddus MA. Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections. *Accid Anal Prev*. 2003;35(2):253-9.
- [34] Sawalha Z, Sayed T. Transferability of accident prediction models. *Saf Sci*. 2006;44(3):209-19.
- [35] Vogt A. Crash models for rural intersections: Four-lane by two-lane stop-controlled and two-lane by two-lane signalized [Internet]. Vol. Jan, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 1999 [cited 2021 Jun 1]. 18-29 p. Available from: <https://trid.trb.org/view/648036>
- [36] Hilbe JM. Negative binomial regression [Internet]. *Negative Binomial Regression*. 2007 [cited 2021 Jun 7]. 1-251 p. Available from: [https://books.google.co.uk/books?hl=tr&lr=&id=0Q\\_ijxOEBjMC&oi=fnd&pg=PR11&dq=Poisson+regression+is+a+special+situation+of+Negative+Binomial+regression.&ots=IK2\\_V](https://books.google.co.uk/books?hl=tr&lr=&id=0Q_ijxOEBjMC&oi=fnd&pg=PR11&dq=Poisson+regression+is+a+special+situation+of+Negative+Binomial+regression.&ots=IK2_V)
- [37] Poch M, Mannering F. Negative binomial analysis of intersection-accident frequencies. *J Transp Eng*. 1996;122(2):105-13.
- [38] Kumara, S. S. P., and Chin HC. Modeling Accident Occurrence at Signalized Tee-Intersections with Special Emphasis on Excess Zeros. 2003.
- [39] Prasetijo J, Zahidah Musa W. Modeling Zero Inflated Regression of Road Accidents at Johor Federal Road F001. 2016.
- [40] Wright S. Correlation and Causation. 1921.
- [41] Wright S. The method of path coefficients. 1934.
- [42] Fornell C, Larcker DF. Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error. Vol. 18, *Journal of Marketing Research*. JSTOR; 1981. 39 p.
- [43] Pickering D, Hall RD, Grimmer M. Accidents at rural T-junctions. Vol. P270, *Research Report - Transport and Road Research Laboratory*. 1986.
- [44] World Population Review. Portsmouth Population (Demographics, Maps, Graphs) [Internet]. 2022 [cited 2022 Nov 4]. Available from: <https://worldpopulationreview.com/world-cities/portsmouth-population>
- [45] Bunce A. Portsmouth's 20mph Scheme [Internet]. 2009 [cited 2022 May 17]. Available from: <https://www.roadsafetyknowledgecentre.org.uk/rskc-54/>
- [46] CIHT. Transport in the urban environment (TUE) [Internet]. 1997 [cited 2022 May 19]. Available from: <https://www.thenbs.com/PublicationIndex/documents/details?Pub=IHT&DocID=305156>
- [47] Ekmekci M. An investigation of piecewise Structural Equation Modelling to understand the effect on collisions of shorter visibility designs at urban three arm junctions. [Portsmouth]: University of Portsmouth; 2023.
- [48] Shipley B. Confirmatory path analysis in a generalized multilevel context. Vol. 90, *Ecology*. 2009.
- [49] Stein CM, Morris NJ, Nock NL. Structural Equation Modeling. *Methods in Molecular Biology* [Internet]. 2012 [cited 2022 Apr 27];850:495-512. Available from: [https://link.springer.com/protocol/10.1007/978-1-61779-555-8\\_27](https://link.springer.com/protocol/10.1007/978-1-61779-555-8_27)
- [50] Lefcheck JS. piecewiseSEM: Piecewise structural equation modelling in r for ecology, evolution, and systematics. *Methods Ecol Evol* [Internet]. 2016 May 1 [cited 2022 Aug 9];7(5):573-9. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/2041-210X.12512>
- [51] Shipley B. A New Inferential Test for Path Models Based on Directed Acyclic Graphs. [http://dx.doi.org/10.1207/S15328007SEM0702\\_4](http://dx.doi.org/10.1207/S15328007SEM0702_4) [Internet]. 2000 [cited 2022 Apr 26];7(2):206-18. Available from: [https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/S15328007SEM0702\\_4](https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/S15328007SEM0702_4)
- [52] Pearl J, Verma T. The logic of representing dependencies by directed graphs. 1987.
- [53] Shipley B. The AIC model selection method applied to path analytic models compared using a d-separation test. *Ecology* [Internet]. 2013 Mar 1 [cited 2022 Apr 27];94(3):560-4. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1890/12-0976.1>
- [54] Fisher RA. Statistical methods for research workers. *Statistical methods for research workers*. 1954;(10th. ed.).
- [55] Ekmekci M, Dadashzadeh N, Woods L. Assessing the impact of low-speed limit zones' policy implications on cyclist safety: Evidence from the UK. *Transp Policy (Oxf)* [Internet]. 2024 Jun; 152:29-39. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0967070X24001173>
- [56] Ekmekci M, Woods L, Dadashzadeh N. Effects of road width, radii and speeds on collisions at three-arm priority intersections. *Accid Anal Prev*. 2024 May 1;199.
- [57] Chakrabarti A, Ghosh JK. AIC, BIC and Recent Advances in Model Selection. *Philosophy of Statistics*. 2011 Jan 1;583-605.





# Student Success Prediction with Machine Learning: Modeling and Performance Analysis of Factors Affecting Academic Success

Volkan Göreke<sup>1,a,\*</sup>

<sup>1</sup> Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Sivas, 58140, Türkiye

\*Corresponding author

## Research Article

History

Received: 27/10/2024

Accepted: 08/11/2024

Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

## ABSTRACT

This study aims to analyze the factors affecting students' academic success and develop prediction models based on these factors. Many features such as "Studying Hours," "Absence," and "Family Income" that affect students' performance during the education process were evaluated. In the study, student success predictions were made using machine learning models such as Random Forest, Ridge, and Deep Neural Networks and the performance of these models were compared. The importance levels of the features were calculated with the Random Forest algorithm and the most important features were determined. As a result of the analysis, the effect of removing low-importance features from the model to increase prediction performance was also examined. The findings of the study contribute to educators making data-driven decisions and developing strategies that can increase students' success.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Academic performance, Regression, Important features, Root mean square error

## Makine Öğrenimi ile Öğrenci Başarı Tahmini: Akademik Başarıyı Etkileyen Faktörlerin Modellenmesi ve Performans Analizi

Süreç

Geliş: 27/10/2024

Kabul: 08/11/2024

Öz

Bu çalışma, öğrencilerin akademik başarısını etkileyen faktörleri analiz etmeyi ve bu faktörlere dayalı tahmin modelleri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Öğrencilerin eğitim sürecindeki performansını etkileyen "Çalışma Saatleri", "Devamsızlık" ve "Aile Geliri" gibi birçok özellik değerlendirilmiştir. Çalışmada, Rastgele Orman, Ridge ve Derin Sinir Ağları gibi makine öğrenimi modelleri kullanılarak öğrenci başarı tahminleri yapılmış ve bu modellerin performansı karşılaştırılmıştır. Özniteliklerin önem düzeyleri Rastgele Orman algoritması ile hesaplanmış ve en önemli özellikler belirlenmiştir. Analiz sonucunda, düşük öneme sahip özelliklerin modelden çıkarılmasının tahmin performansını artırma etkisi de incelenmiştir. Çalışmanın bulguları, eğitimcilerin veri odaklı kararlar almasına ve öğrencilerin başarısını artıracak stratejiler geliştirmesine katkıda bulunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Zeka, Akademik performans, Regresyon, Önemli özellikler, Kök ortalama karesel hata

<sup>a</sup> v goreke@cumhuriyet.edu.tr

0000-0002-2418-8373 |

**How to Cite:** Göreke V (2024) Student Success Prediction with Machine Learning: Modeling and Performance Analysis of Factors Affecting Academic Success, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 137-143

## Giriş

Bir ülkenin en değerli kaynağı olan insan gücünü, topluma katkı sunacak bireylere dönüştürmek için eğitim büyük önem taşır. Eleştirel düşünebilen, yaratıcı ve sorun çözüme becerisi olan bireyler yetiştirmek adına eğitim sistemlerinde köklü değişiklikler yapılmalıdır. Başarı, belirli bir hedefe ulaşma ve istenilen sonuca varma olarak tanımlanır [1]. Eğitimde başarı ise, programın hedeflediği davranışları sergileyen öğrencilerle ilişkilidir ve genellikle derslerde gösterilen performans, notlar ya da test puanları ile değerlendirilir. "Akademik başarı" terimi, öğrencilerin bilgi ve beceri kazanımlarını ifade eder. Bu başarı, öğrencilerin mesleki ve toplumsal yaşama donanımlı olarak hazırlanmasına katkı sağladığı için aileler ve çevre açısından da büyük önem taşır [2]. Araştırmalar, öğrencilerin akademik başarılarını etkileyen çeşitli faktörler olduğunu göstermektedir. Bu faktörler genellikle öğrencinin içsel özellikleri (zekâ, sağlık durumu, ilgi düzeyi, kaygı) ve çevresel koşullarla ilişkilidir [3]. Bu koşullar ders çalışma saatleri, kaynaklara erişim, ders dışı etkinlikler, uyku saatleri, önceki sınav notları, motivasyon düzeyi, internet erişim, özel ders, aile geliri, öğretmen kalitesi, okul türü, akran etkisi, fiziksel etkinlik, öğrenme engelleri, ebeveyn eğitim seviyesi, evden uzaklık ve cinsiyet gibi parametreler ile belirlenmektedir [4]. Boyd, bu parametrelerden motivasyon, bir bireyin belirli bir hedefe ulaşmak veya bir görevi başarmak için harekete geçmesini sağlayan içsel veya dışsal bir itici güçtür. İnsanları belirli davranışlara yönelten, istek ve çaba gösterme sürecidir. Motivasyon, kişisel ilgi ve ihtiyaçlar, hedefler, beklentiler veya ödüller gibi çeşitli faktörlerle şekillenebilir ve yoğunluğu kişinin amaca ulaşmadaki kararlılığını etkileyebilir. Yüksek motivasyon bireyin akademik başarısında etkili olduğu yapılan akademik çalışmalar ile ortaya konmuştur [4]. Ayrıca anne baba eğitim düzeyi ve ekonomik durum gibi ailesel faktörlerin de başarı üzerinde etkisi olan ve yapılan akademik araştırmalar ile kanıtlanmış bir parametredir [3]. Linda ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma internet kullanımının akademik başarıyı etkileyen bir parametre olduğu ortaya konmuştur. [5]. Askerc ve Gasparic, yaptıkları çalışma ile özel derse yönelik birçok eleştiriye rağmen, kesinlikle bazı olumlu etkileri olduğunu, örneğin bireye daha fazla odaklanma ve onların özel öğrenme özellikleri ve ihtiyaçlarının dikkate alınması, daha ilgi çekici öğretim, daha hızlı geri bildirim, daha iyi öğrenci ilerlemesi gibi avantajlar sağladığını tespit etmişlerdir [6]. Akademik performansla ilişkili iç mekanizmaların analizinde, fiziksel aktivite eksikliğinin veya hareketsizliğin şu anda en büyük halk sağlığı sorunlarından biri haline geldiği bilinmektedir [7]. Bu anlamda, fiziksel aktivite bilişsel süreç iyileştirmesiyle ilişkilendirilmiştir, çünkü dopamin veya serotonin gibi nörotransmitterler spor pratiği sırasında salgılanır ve bunlar konsantrasyonu ve motivasyonu iyileştirir [8]. Pedagojik model veya öğretmenin talepleri gibi eğitim sürecindeki bir takım parametreler de öğrencilerin akademik başarısında etkin olan faktörler arasındadır [9].

Makine öğrenmesi, verilerden öğrenme ve tahmin yapma yeteneği sunan bir yapay zeka alanıdır. Regresyon algoritmaları, bu alanda sıkça kullanılan tekniklerdir ve

özellikle sürekli değerlerin tahmin edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Regresyon, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi modelleyerek, bir bağımlı değişkenin (tahmin edilmek istenen değer) bir veya daha fazla bağımsız değişken (öznitelik) tarafından nasıl etkilendiğini anlamaya çalışır [10]. Basit regresyon, en temel regresyon türü olup yalnızca bir bağımsız değişken ile bir bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi inceler. Bu modelde veriler bir doğru ile temsil edilir ve en küçük kareler yöntemi kullanılarak doğru en iyi şekilde uydurulur. Çoklu regresyon ise birden fazla bağımsız değişkenin etkisini incelemek amacıyla kullanılır; bu tür regresyon, karmaşık ilişkileri modellemek için daha fazla esneklik sağlar ve daha doğru tahminler yapılmasına olanak tanır. Lojistik regresyon, gerçek değerler yerine kategorik sonuçların tahmini için kullanılır ve bir olayın olasılığını tahmin etmek amacıyla sigmoid fonksiyonunu kullanarak sonuçları 0 ve 1 arasında bir değerle temsil eder. Ridge ve Lasso regresyon ise çoklu regresyon modelinin aşırı uyum (overfitting) sorununu çözmek için kullanılan düzenleme yöntemleridir. Ridge regresyon, modelin karmaşıklığını azaltmak için L2 normunu kullanırken, Lasso regresyonu L1 normunu kullanarak bazı katsayıları sıfıra indirir, bu da değişken seçimini kolaylaştırır. Karar ağaçları, regresyon işlemlerinde sürekli bir bağımlı değişkenin tahmini için kullanılan popüler bir yöntemdir. Bu yöntem, verileri dallara ayırarak ve her dalda belirli bir karar kılarak çalışır. Her yaprak düğümü, tahmin edilen değeri temsil ederken, iç düğümler ise verinin özelliklerine dayalı olarak bölünme kriterlerini belirler. Karar ağaçları, basit yapıları ve yorumlanabilirlikleri nedeniyle regresyon problemlerinde etkili bir seçenek sunar, ancak aşırı uyum riskine karşı dikkatli olunmalıdır.

Bu çalışmanın amacı, öğrenci performansını etkileyen faktörleri kullanarak öğrenci notlarını tahmin etmek için yapay zeka tekniklerine dayalı bir yöntem geliştirmektir. Bu yöntem sayesinde eğitimciler öğrencilerin başarısını tahmin edebilecek ve başarı tahmini düşük çıkan öğrenci profili üzerinde başarıyı artıracak yönde yaklaşımlar gösterebilecektir. Ayrıca bu çalışma ile eğitimciler, öğrencilerin okullarda daha iyi performans sağlamaları için öğrenci üzerinde hangi faktörlere odaklanmaları gerektiğine karar verebilecektir.

## Literatür

Hussain ve Khan [10], öğrencilerin notlarını tahmin etmek amacıyla makine öğrenimini kullanan bir sistem geliştirmiştir. Bu çalışmada, Pakistan eğitim kurulundan elde edilen veriler kullanılmıştır. Yöntem; veri ön işleme, öznitelik seçimi, not tahmini için bir regresyon modelinin eğitilmesi ve not sınıflandırması için bir karar ağacı sınıflandırıcısı adımlarını içermektedir. Öznitelik seçimi için Genetik Algoritma kullanılsa da bu yöntem, büyük veri kümelerinde yüksek hesaplama karmaşıklığına neden olmaktadır. Kullandıkları farklı Karar Ağacı (Decision-Tree -DT) 8.23, K-En Yakın Komşular (K-Nearest Neighbors- K-NN 27.66, Genetik Algoritma (GA) + Karar Ağacı 5.34 GA + K-NN 24.31 Kök Ortalama Kare Hatası (Root Mean Square Error -RMSE) değerleri elde etmişlerdir. Jayaprakash ve arkadaşları [11],

öğrenci performans tahmini için geliştirilmiş gelişmiş bir Rastgele Orman sınıflandırıcısı önermişlerdir. Yazarların önerdikleri model güçlü bir doğruluğa sahip olmuştur, ancak en iyi performansı elde etmek için öznelik seçimi ve hiperparametre ayarlaması çok önemlidir. Kumar ve arkadaşları [12], Naive Bayes, Rastgele Orman ve Lojistik Regresyon algoritmalarını birleştirerek çok seviyeli bir topluluk öğrenme algoritması (NB-RF-LR-SEMod) geliştirmiş ve bir veri kümesinde %88,3 doğruluğa ulaşmıştır. Topluluk teknikleri, tek başına kullanılan modellerden daha yüksek hassasiyet sağlayabilmektedir; ancak bu yöntemler oldukça karmaşıktır ve öğrencilerin özenle seçilmesini gerektirir. Ofori ve arkadaşları [13], öğrencilerin performans tahmininde makine öğreniminin kullanımını inceleyen bir literatür çalışması yapmıştır. Çalışmada, erken tahminin öğrenme sürecini geliştirmede kritik bir rol oynadığı ve en iyi modeli seçmenin zorlukları vurgulanmıştır. Bulguları, sosyoekonomik faktörlerin tahmin doğruluğunun düşük olmasının nedeni olabileceğini göstermektedir. Asselman ve arkadaşları [14], öğrencilerin performansını tahmin etmek için bir topluluk öğrenme yöntemi olan XGBoost algoritmasının etkinliğini incelemiştir. Beckham ve arkadaşları yaptıkları çalışma ile öğrenci performansına etki eden faktörleri çeşitli makine öğrenme teknikleri kullanarak incelemişlerdir. 12 nöronlu çok katmanlı algılayıcı ağ ile 4.32 RMSE değeri elde etmişlerdir [4].

## Materyal ve Metod

Bu çalışmada Kaggle sitesinden elde edilen veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti, sınavlarda öğrenci performansını etkileyen çeşitli faktörlere ilişkin kapsamlı bir genel bakış sunar. Çalışma alışkanlıkları, katılım, ebeveyn katılımı ve

akademik başarıyı etkileyen diğer yönler hakkında bilgi içerir. Bu çalışmada başarıyı etkileyen faktörler öznelik olarak nitelendirilmiştir. Kullanılan veri setine ait öznelik isimleri ve açıklamaları aşağıdaki Çizelge 1 ile verilmiştir. Veri seti 6607 örnek ve 17 öznelik ve sınav notu değerlerini içermektedir. Bu çalışmada önerilen yöntem Visual Studio 2022 Community IDE üzerinde Python programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada bağımsız değişkenler olan özneliklerin bağımlı değişken sınav notu üzerindeki etki dereceleri de araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda öznelik seçme işlemi gerçekleştirilmiştir. Rastgele orman (Random Forest, RF), gereksiz ve alakasız öznelikleri ortadan kaldırma ve makine öğrenimi sınıflandırıcılarının performansını etkili bir şekilde iyileştirmek için en uygun öznelikleri belirleme avantajına sahip en yaygın kullanılan algoritmalarından biridir [16]. Öznelik seçme aşamasında Rastgele Orman yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada ilk önce yapay zeka sistemleri üzerinde öznelik seçmeden tahmin uygulaması yapılmıştır. Daha sonra öznelik seçme işlemi uygulanarak sistemler üzerinde tahmin işlemi tekrarlanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çalışmada performans kriterini ölçmek için Kök Ortalama Kare Hatası (Root Mean Square Error - RMSE) metriği kullanılmıştır. Bu metrik, bir modelin tahmin ettiği değerler ile gerçek değerler arasındaki hata miktarını ölçmek için kullanılan yaygın bir performans değerlendirme metriğidir. Özellikle regresyon problemlerinde, tahminlerin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla kullanılır. RMSE değeri, hatanın büyüklüğünü (ölçekli hata) gösterir ve genellikle "Ortalama Karesel Hata"nın (MSE) karekökü alınarak elde edilir. RMSE'nin düşük olması, modelin daha doğru tahminler yaptığını gösterir.

## Çizelge 1. Öğrenci başarısını etkileyen öznelikler

Table 1. Features affecting student success

Öznelik	Açıklama
Çalışma_Saati	Haftada harcanan çalışma saati sayısı.
Devamsızlık	Katılılan derslerin yüzdesi.
Veli_Katılım	Velilerin öğrencinin eğitimine katılım düzeyi (Düşük, Orta, Yüksek).
Kaynak_Erişimi	Eğitim kaynaklarının erişilebilirliği (Düşük, Orta, Yüksek).
Dış_Activity	Kısa süreli aktivitelerdeki katılım (Evet, Hayır).
Uyku_Saati	Gece başına ortalama uyku saati sayısı.
Önceki_Puanlar	Önceki sınavlardan alınan puanlar.
Motivasyon_Düzeyi	Öğrencinin motivasyon düzeyi (Düşük, Orta, Yüksek).
İnternet_Erişimi	İnternet erişiminin varlığı (Evet, Hayır).
Özel_Ders_Sayısı	Ayda katılılan özel ders sayısı.
Aile_Geliri	Aile gelir seviyesi (Düşük, Orta, Yüksek).
Öğretmen_Kalitesi	Öğretmenlerin kalitesi (Düşük, Orta, Yüksek).
Okul_Türü	Öğrenim görülen okulun türü (Devlet, Özel).
Akran_Etkisi	Akranların akademik başarı üzerindeki etkisi (Olumlu, Nötr, Olumsuz).
Fiziksel_Aktivite	Haftada ortalama fiziksel aktivite saati sayısı.
Öğrenme_Güçlüğü	Öğrenme güçlüğü varlığı (Evet, Hayır).
Cinsiyet	Öğrencinin cinsiyeti (Erkek, Kadın).
Sınav_Puanı	Final sınav puanı.

Bir veri setindeki n sayıda örneğin gerçek değerleri  $y_i$  ve model tarafından tahmin edilen değerleri  $\hat{y}_i$  olmak üzere RMSE aşağıdaki Eşitlik 1 ile hesaplanır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (1)$$

Ayrıca bu çalışmada, derin sinir ağları (DNN) kullanarak bir regresyon modeli oluşturulmuş ve eğitilmiştir. Bu şamada öncelikle veri seti yüklenir, varsa eksik veriler temizlenir ve öznelikler (X) ile etiketler (y) ayrılır. Model, veri setindeki bağımlı değişkeni (bu çalışmada, öğrenci notları) sürekli bir değer olarak tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Veriler, eğitim ve test setlerine ayrıldıktan sonra ölçeklendirilir. DNN modeli, iki gizli katmanda "ReLU" aktivasyonu kullanarak öğrenir; son

katmanda ise sürekli tahminler için doğrusal (linear) aktivasyon kullanılır. Model "Adam" optimizasyon algoritmasıyla derlenir ve 50 epok boyunca eğitimden geçer. Modelin performansı, Ortalama Kare Hatası (MSE), Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve R-kare ( $R^2$ ) ile değerlendirilir.

## Sonuç

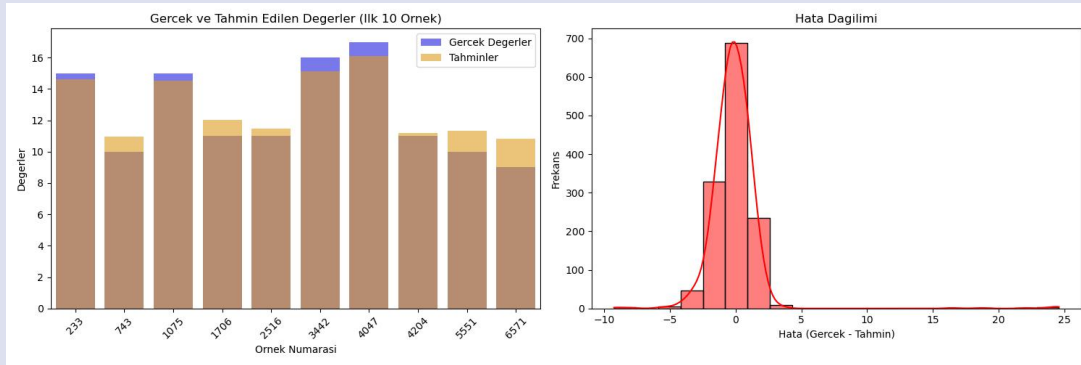
İlk aşamada tahmin sisteminde kullanılan yöntemlerde veri seti üzerinde öznelik seçme işlemi uygulanmamıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2 ile verilmiştir.

Çizelge 2 göz önünde bulundurulduğunda Rastgele Orman regresyon tekniği en düşük RMSE değerine sahiptir. Bu sonuca göre en yüksek tahmin başarımı Rastgele Orman tekniği ile elde edilmiştir.

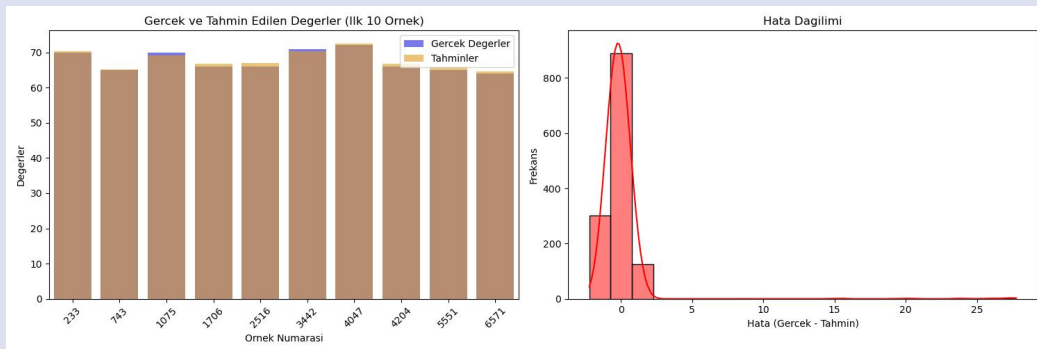
Yöntemlere ait grafiksel sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2. Tahmin yöntemlerinin başarımları  
Table 2. Performance results of prediction methods

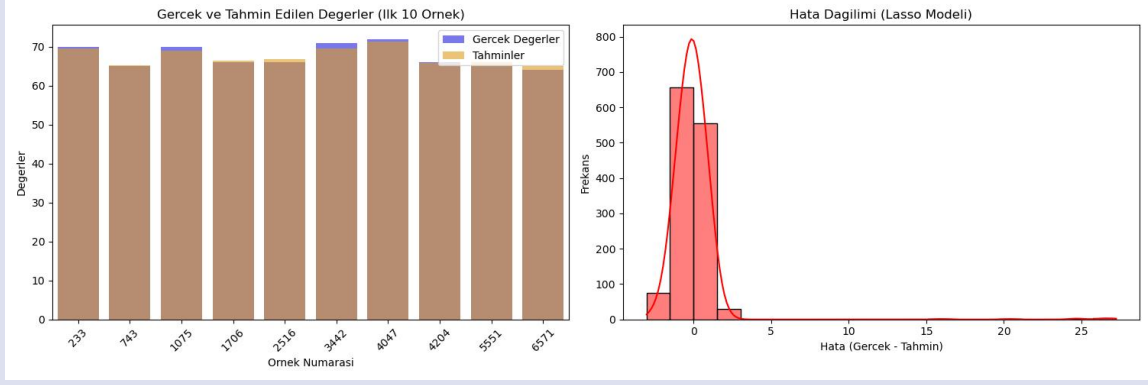
Yöntem	RMSE
Rastgele Orman	2.0880059652073077
Ridge	1.9078711855834931
Lasso	1.9551066974885811
Karar Ağacı	3.3723759900783428
Derin Sinir Ağı	2.4868690299085996



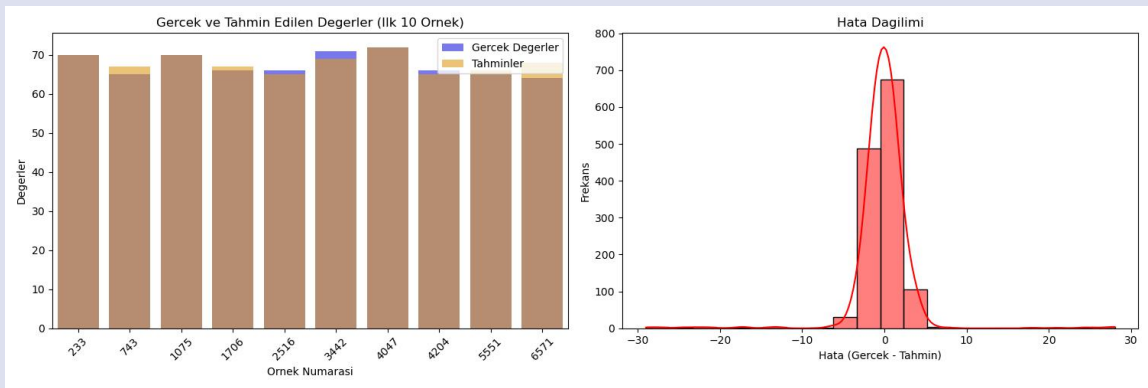
Resim 1. Rastgele Orman yöntemine ait grafiksel sonuçlar  
Figure 1. Graphical results of the Random Forest method



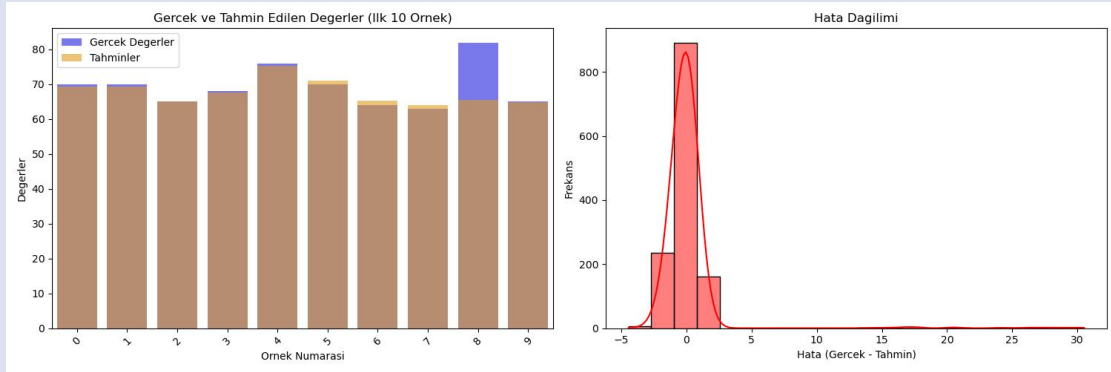
Resim 2. Ridge yöntemine ait grafiksel sonuçlar  
Figure 2. Graphical results of the Ridge method



Resim 3. Lasso yöntemine ait grafiksel sonuçlar  
Figure 3. Graphical results of the Lasso method



Resim 4. Karar Ağacı yöntemine ait grafiksel sonuçlar  
Figure 4. Graphical results of the Decision Tree method



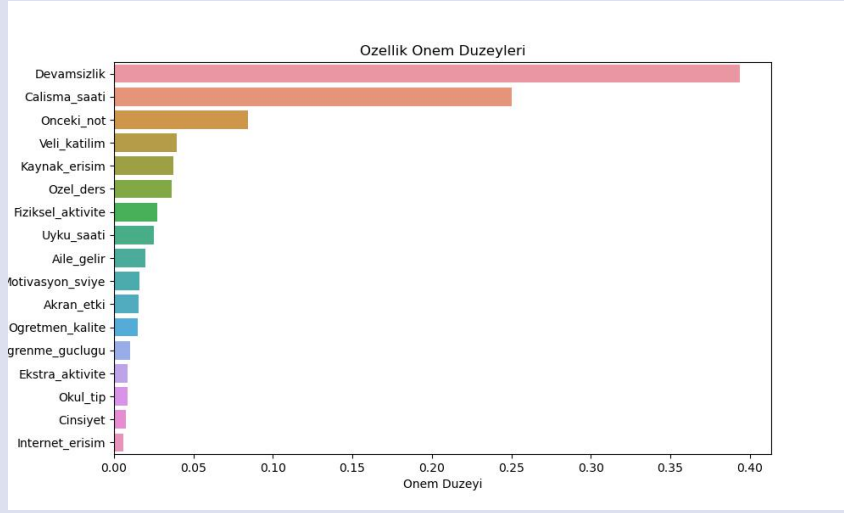
Resim 5. Derin Sinir Ağları yöntemine ait grafiksel sonuçlar  
Figure 5. Graphical results of the Deep Neural Networks method

Hata dağılımı grafiği, modelin tahminlerindeki doğruluğunu incelemek için önemlidir. Histogram şeklinde dağılan hata değerleri, modelin gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki farkların (hataların) dağılımını gösterir. Normal dağılım gösteren, sıfıra yakın bir hata dağılımı modelin iyi bir performans sergilediğini, hataların çoğunun küçük olduğunu ve tahminlerin genellikle doğru olduğunu gösterir[16].

Bu çalışmada önemliliklerin önem derecesi, Rastgele Orman algoritması tarafından hesaplanan önemlilik

önemleri kullanılarak belirlenmiştir. Rastgele Orman modelindeki önemlilik önem derecesi (feature importance), modelin her bir önemliliğin hedef değişken üzerindeki göreceli etkisini anlamak için kullanılır. Öznitelik önem derecesi, genellikle Gini impurity veya mean decrease in impurity (MDI) gibi kriterlere dayanır [15].

Özniteliklerin tahmin başarısına etkisi grafiksel olarak Şekil 6 ile verilmiştir.



Resim 6. Özniteliklerin tahmin başarımına etkisi  
Figure 6. Effect of features on prediction performance

Çizelge 3. Özniteliklerin önem dereceleri

Table 3. Importance levels of features

Öznitelik	Önem Derecesi	Öznitelik	Önem Derecesi
Devamsizlik	0.3939	Motivasyon_seviye	0.0158
Calisma_saati	0.2505	Akran_etki	0.0155
Onceki_not:	0.0843	Ogretmen_kalite	0.0151
Veli_katirim	0.0394	Ogrenme_guclugu	0.0099
Kaynak_erisim	0.0374	Ekstra_aktivite	0.0086
Ozel_ders	0.0362	Okul_tip	0.0084
Fiziksel_aktivite	0.0274	Cinsiyet	0.0072
Uyku_saati	0.0250	Internet_erisim	0.0058
Aile_gelir	0.0196		

Çizelge 4. Tahmin yöntemlerinin başarımları

Table 4. Performance results of prediction methods

Yöntem	RMSE
Rastgele Orman	2.083993406275049
Ridge	1,903771185583493
Lasso	1,951006697488581
Karar Ağacı	3,368275990078342
Derin Sinir Ağacı	2,482769029908599

Çizelge 5. Literatür karşılaştırması

Table 5. Literature comparison

Referans	Yöntem	RMSE
[10]	Karar Ağacı	8,23
[4]	Yapay Sinir Ağı	4,32
<b>Bu Çalışma</b>	<b>Ridge-Rastgele Orman</b>	<b>1,90</b>

Özniteliklerin Rastgele Orman yöntemi ile elde edilen önem dereceleri Çizelge 3 ile verilmiştir.

Çizelge 3'e göre en düşük etki gösteren öznitelikler cinsiyet ve internet erişimi olarak tespit edilmiştir. Bu iki öznitelik veri boyutunu azaltmak için veri setinden çıkarılarak aynı yapay zeka teknikleri ile öğrenci başarımı tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4 ile verilmiştir.

Çizelge 4 ile verilen sonuçlar göz önüne alındığında öznitelik seçme işlemi ile tahmin işleminde kullanılan yapay zeka tekniklerinin başarımı az da olsa artış göstermiştir.

Bu çalışmada Ridge ve Rastgele Orman teknikleri kullanılarak oluşturulan model en başarılı model olarak ortaya konmuştur. Önerilen yöntemin başarımı literatürdeki benzer çalışmalar ile karşılaştırılmış ve sonuçlar Çizelge 5 ile verilmiştir.

## Tartışma

Çalışma sonuçlarına göre, Ridge ve Rastgele Orman modellerinin tahmin doğruluğunun diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle Rastgele Orman algoritması, özneliklerin önem derecelerini belirlemede etkili olmuş ve modelin performansını artırmak amacıyla öznelik seçimini başarılı bir şekilde sağlamıştır. Strobl ve arkadaşlarının çalışmasında (2007), Rastgele Orman algoritmasının öznelik önem sıralamasında yanlılıkları önleyici özelliklerinin altı çizilmiş ve bu algoritmanın öznelik seçimi için uygun bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, en önemli öznelik olarak "Devamsızlık" belirlenmiş ve bu özneliğin öğrenci başarısı üzerindeki yüksek etkisi literatürdeki birçok çalışmayla tutarlılık göstermiştir. Bu durum, okul devam oranının akademik başarıyla doğrudan ilişkili olduğunu savunan Quigley ve MacKay-Lyons'un (2020) araştırmalarıyla da desteklenmektedir. Ayrıca, düşük etkili öznelikler olarak belirlenen "Cinsiyet" ve "İnternet Erişimi" gibi değişkenlerin çıkarılmasıyla yapılan tekrar tahminlerde, model performansında hafif bir artış gözlenmiştir. Bu sonuç, düşük etkili özneliklerin modelden çıkarılmasının gereksiz veri karmaşıklığını azaltarak tahmin doğruluğunu artırabileceğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, eğitim ortamında karar verme süreçlerine rehberlik edebilecek öngörücü modeller geliştirmek için makine öğrenimi yöntemlerinin önemli bir araç olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, eğitimcilerin öğrencilerin başarısını etkileyen faktörlere odaklanarak bireysel destek stratejileri geliştirmeleri için veri odaklı yaklaşımlar kullanmalarını önermektedir. Bu çalışma, öğrenci başarı tahmin modellerinin daha geniş eğitim politikaları ve bireysel rehberlik planlarına entegre edilmesi için güçlü bir temel sağlamaktadır.

## Referanslar

- [1] Demirtaş H, Güneş H. Eğitim yönetimi ve denetimi sözlüğü. Ankara: Anı Yayıncılık; 2002.
- [2] Sarier Y. Türkiye'de öğrencilerin akademik başarısını etkileyen faktörler bir meta-analiz çalışması. Hacettepe University Journal of Education. 2016; 31(3):1-1. doi:10.16986/HUJE.2016015868.
- [3] Arıkan Nİ. Akademik başarı ile seçilmiş sosyoekonomik değişkenler arasındaki ilişki üzerine bir araştırma. USBAD Uluslararası Sosyal Bilimler Akademi Dergisi. 2019;1(2):14-29.
- [4] Boyd FB. Motivation to continue: enhancing literacy learning for struggling readers and writers. Reading and Writing Quarterly. 2002; 18:257-277.
- [5] Jackson LA, Eye A, Witt EA, Zhao Y, Fitzgerald HE. A longitudinal study of the effects of Internet use and videogame playing on academic performance and the roles of gender, race, and income in these relationships. Computers in Human Behavior. 2011; 27:228-239. doi:10.1016/j.chb.2010.08.001.
- [6] Aškerc K, Gasparič RP, Bray M. Confronting the shadow education system: what government policies for what private tutoring? C.E.P.S. Journal. 2012; 2(4).
- [7] Quigley A, MacKay-Lyons M, Eskes G. Effects of exercise on cognitive performance in older adults: a narrative review of the evidence, possible biological mechanisms, and recommendations for exercise prescription. J Aging Res. 2020; 2020.
- [8] Erickson KI, Voss MW, Prakash RS, Basak C, Szabo A, Chaddock L, Kramer AF. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. Proc Natl Acad Sci U S A. 2011; 108(7):3017-3022. doi:10.1073/pnas.1015950108.
- [9] Kim HY, LaRusso MD, Hsin LB, Harbaugh AG, Selman RL, Snow CE. Social perspective-taking performance: construct, measurement, and relations with academic performance and engagement. J Appl Dev Psychol. 2018; 57:24-41.
- [10] Hussain S, Khan MQ. Student-performulator: predicting students' academic performance at secondary and intermediate level using machine learning. Annals of Data Science. 2023; 10:637-655.
- [11] Jayaprakash S, Krishnan S, Jaiganesh V. Predicting students academic performance using an improved random forest classifier. In: 2020 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI); 2020. p. 238-243.
- [12] Kumar M, Bajaj K, Sharma B, Narang S. A comparative performance assessment of optimized multilevel ensemble learning model with existing classifier models. Big Data. 2022; 10:371-387.
- [13] Ofori F, Maina E, Gitonga R. Using machine learning algorithms to predict students' performance and improve learning outcomes: a literature-based review. J Inf Technol. 2020; 4:33-55.
- [14] Asselman A, Khaldi M, Aammou S. Enhancing the prediction of student performance based on the machine learning XGBoost algorithm. Interact Learn Environ. 2023; 31:3360-3379.
- [15] Long K, Guo D, Deng L, Shen H, Zhou F, Yang Y. Cross-combination analyses of random forest feature selection and decision tree model for predicting intraoperative hypothermia in total joint arthroplasty. J Arthroplasty. 2024; 1-9.
- [16] Willmott CJ, Matsuura K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. Climate Res. 2005; 30(1):79-82.
- [17] Strobl C, Boulesteix AL, Zeileis A, Hothorn T. Bias in random forest variable importance measures: illustrations, sources, and a solution. BMC Bioinformatics. 2007; 8(1):1-21.



## Investigation of the Usability of Manisa Province Livestock Potential for Energy Production

İlknur Şentürk<sup>1,a,\*</sup>

<sup>1</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

\*Corresponding author

### Research Article

History

Received: 13/11/2024

Accepted: 27/11/2024

### ABSTRACT

In light of new policies emerging as a result of the climate and energy crises, the demand for renewable energy resources is increasing day by day in the world. Although our country is dependent on foreign energy sources, it has an important potential in terms of renewable energy resources. Biogas, which has an important place among renewable energy sources such as solar, wind, geothermal, and biomass resources, is a sustainable and environmentally friendly energy source. Animal waste, which is an organic waste type used in biogas production, is an important resource and should be evaluated due to its energy production potential and the fact that it can be easily and in large quantities because we are an agricultural country. Within the scope of the study, Manisa Province, which is located in the Aegean Region, where barn husbandry is especially widespread in our country and where ovine husbandry is widespread, was preferred as a pilot province in the region. In this study, the biogas production potential from animal manure in Manisa Province and Districts was investigated. According to the study results, the biogas production potential from animal manure in Manisa Province is 153,347,039.2 m<sup>3</sup>/year. The electrical energy equivalent of the biogas produced is 720,73 GWh/year. With the electrical energy that can be obtained, it has been determined that the domestic electricity consumption needs of 29.73% of the provincial population can be met from biogas production from animal manure and 316,401 tonnes of CO<sub>2</sub>-equivalent greenhouse gas emissions can be prevented. It is thought that the research results will guide the sectors and politicians interested in this business.

**Keywords:** Manisa, animal manure, biogas production, clean energy production

## Manisa İli Çiftlik Hayvanı Potansiyelinin Enerji Üretimi Amacıyla Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Süreç

Geliş: 13/11/2024

Kabul: 27/11/2024

### ÖZ

Yaşanan iklim ve enerji krizleri sonucunda ortaya çıkan yeni politikalar ışığında yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep dünyada her geçen gün artmaktadır. Ülkemiz de enerji kaynağı konusunda dışa bağımlı olmakla birlikte yenilenebilir enerji kaynakları açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle kaynakları gibi yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yeri olan biyogaz sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Biyogaz üretiminde kullanılan organik bir atık türü olan hayvansal atıklar, enerji üretim potansiyeli ve tarım ülkesi olmamızdan dolayı kolay ve çok miktarda temin edilebilecek olmasından ötürü önemli bir kaynaktır ve değerlendirilmesi gerekir. Çalışma kapsamında Ülkemizde özellikle ahır hayvancılığının yaygın olduğu Ege Bölgesi'nde yer alan ve küçükbaş hayvancılığın yaygın olarak yapıldığı bir yer olan Manisa İli Bölgede pilot il olarak tercih edilmiştir.

Çalışmada Manisa il ve ilçelerinde hayvan gübresi kaynaklı üretilebilecek biyogaz üretim potansiyeli araştırılmıştır. Araştırma sonucuna göre Manisa İlinde hayvan gübresi kaynaklı biyogaz üretim potansiyeli yıllık 153.347.039,2 m<sup>3</sup>'dür. Üretilen biyogazın elektrik enerjisi eşdeğeri ise 720,73 GWh/yıl'dır. Elde edilebilecek elektrik enerjisi ile il nüfusunun %29,73'ünün evsel elektrik tüketim ihtiyacının hayvansal gübre kaynaklı biyogaz üretiminden karşılanabileceği ayrıca 316.401 ton CO<sub>2</sub>-eşd. sera gazı emisyonu salınımının önüne geçilebileceği belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarının bu işle ilgilenen sektörler ve politikacılar için yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Manisa, hayvansal gübre, biyogaz üretimi, temiz enerji üretimi

### Terimler ve Kısaltmalar

TEP: Ton Eşdeğer Petrol	MW: Megawatt	MWe: Megawatt enerji	GJ: Gigajoule
Wh: Watt saat	GWh: Gigawatt saat	kWh: Kilowatt saat	TWh: Terawatt saat
1 Wh: 0,001 kWh	1 MWh: 1000 kWh=3,6 GJ	1 GWh: 10 <sup>6</sup> kWh	1 TWh: 10 <sup>12</sup> Wh

<sup>a</sup> ilknursenturk@cumhuriyet.edu.tr

0000-0002-8217-2281

**How to Cite:** Şentürk İ (2024) Investigation of the Usability of Manisa Province Livestock Potential for Energy Production, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 144-151



## Giriş

Giderek artan dünya nüfusu nedeniyle tükenen enerji kaynakları olumsuz yönde etkilenmekte bu da beraberinde yenilenebilir temiz enerji kaynakları üretimi konusundaki çalışmaları artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada da oldukça önemlidir. Buna rağmen yenilenebilir enerjinin ülkemizdeki payı, diğer ülkelere göre oldukça düşüktür. Ülkemizde, yenilenebilir enerjinin birincil kullanımdaki oranı % 6,5, elektrik üretimindeki payı ise % 24'tür. Elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin payının 2023 yılına kadar % 30'a çıkarılması hedeflenmektedir [1].

KontROLSÜZ bir şekilde yakılan fosil yakıtlardan kaynaklı sera gazları çevre kirliliği yaratmaktadır. Bu nedenle sera gazı emisyonlarının azaltılması için 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto protokolü dahilinde bazı zorunlu hedefler belirlenmiştir. Bu protokolü imzalayan ülkeler, sera etkisine neden olan diğer beş gazın ve CO<sub>2</sub>'in salınımını azaltmaya veya bunu yapamıyorsa karbon ticareti yoluyla haklarını arttırmaya söz vermişlerdir. İmzalanan protokole göre, ülkelerin atmosfere saldıkları karbon miktarını 1990 yılındaki değerlere düşürmeleri gerekmektedir. 2016 Paris İklim Antlaşması ve 2019 Avrupa Yeşil Mutabakatı (Karbon Ayakizi) ile temiz yenilenebilir enerji sistemine geçiş için çalışmalar yapılması hedeflenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı belirlenen hedeflere ulaşmak için önemlidir. Farklı yenilenebilir enerji kaynakları arasında düşük sera gazı emisyonları ve enerjide sürdürülebilirlik açısından biyokütle enerjisi son yıllarda fazlaca ilgi görmektedir. Dünyada büyük nüfuslu dolayısıyla enerji tüketiminin fazla olduğu Hindistan ve Çin gibi ülkeler de biyogaz tesisleri aracılığı ile elektrik üretimine yönelmişlerdir [2].

Türkiye, tarım ve hayvan yetiştiriciliği uygulamalarının hem ekonomik hem sosyal bağlamda ağırlıkta olduğu gelişmekte olan bir ülke olması sebebiyle hayvansal atıklardan üretilen biyogaz enerjisi, geleceğin en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir [3]. Örneğin; tavuk gübresinden çok verimli biyogaz üretimi sağlanabilmektedir. Tavuk gübresi kullanımı tarım arazileri için de önemlidir ancak direkt olarak uygulandığında toprakta tuzluluğa neden olmaktadır. Fakat biyogaz üretiminde fermente olmuş tavuk gübresi, çok daha verimli hale gelerek sürdürülebilir hayata katkı sağlamaktadır [1]. Biyogazın bir ürünü olan gübre, tarım alanında toprak verimliliğini olumlu yönde etkilemekte ve anaerobik çürüme sonrasında hayvan gübresindeki rahatsız edici koku büyük oranda azalmaktadır [4].

Büyükbaş hayvanların günlük yaş gübre üretimi diğer hayvanlara göre daha yüksek olduğundan biyogaz üretim tesislerinde daha çok kullanılmaktadır. Bu durum tüm dünyada aynıdır. Büyükbaş hayvanlar arasında süt sığırlarının gübrelerindeki su ve lif içeriklerinin yüksek olması ve liflerin yüksek düzeyde çürümeye dirençli olmasından dolayı daha düşük oranda metan gazı elde edilir ve fakat et sığırları bu anlamda daha avantajlıdır [5]. Klavon ve arkadaşlarının [6] ABD'de yaptıkları bir

çalışmanın sonucuna göre ekonomik açıdan uygun bir biyogaz üretim tesisinin en az 250 ineğe sahip olması gerektiği öne sürülmüştür.

Ülkemiz tarım ve hayvancılık açısından zengin bir konumdadır. Dolayısıyla çiftlik hayvan atıkları potansiyeli de oldukça yüksektir. Ancak organik kökenli bu atıklar çoğu kez değerlendirilmemekte ya yakılmakta ya kontrolsüz bir şekilde çevreye atılmakta ya da açık alanlarda depolanan hayvansal atıklar tarım alanlarında gübre olarak kullanılmaktadır. Ancak bu atıklar yüksek miktarda azot ve fosfor, mikroorganizmalar, antibiyotikler, ağır metaller ve büyüme hormonu gibi bazı zararlı maddelerin kalıntılarını da içerdiğinden uygun şekilde yönetilmediğinde çevrenin kirlenmesine ve hastalıkların ortaya çıkmasına neden olması kaçınılmaz bir durumdur. Bu nedenle, hayvan gübresi ve atıklarının biyogaza dönüştürülüp enerji kaynağı olarak sürdürülebilir kullanımı ortaya çıkacak bu sorunları bertaraf etmede önemli bir adım olacaktır. Ayrıca fermantasyon işleminden sonra kaliteli gübre üretimi sağlanırken koku ve mikrobiyal patojenlerin azaltılması da sağlanmış olacaktır [7].

2020 yılı verilerine göre Türkiye'de toplam hayvansal atık miktarı 193.878.079 ton/yıl, bu hayvansal atıkların enerji eşdeğeri ise 4.385.371 ton eşdeğer petrol/yıl'dır [8]. Fakat Ülkemizde biyogaz üretim ve kullanım miktarı, biyogaz potansiyeli bakımından önemli bir kaynağa sahip olmamıza rağmen, henüz istenilen seviyede değildir. Ülkemizdeki biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç Haziran 2022 sonu itibarıyla 2172 MW, bunun toplam kurulu güce oranı ise % 2,14'dür [9]. Türkiye'de 187 adet biyogaz, biyokütle, atık ısı ve pirolitik yağ enerji santrali bulunmaktadır ve bu santrallerin toplam kurulu gücü 2414 MW'dır. Santrallerin yıllık elektrik üretimi yaklaşık 6912 GWh ve üretimin tüketime oranı ise % 2,3'dür [10]. Türkiye'nin biyogaz esaslı enerji kaynaklarının potansiyeli değerlendirildiğinde belediye atıklarından (4,85 TWh/yıl), tarımsal atıklardan (165,29 TWh/yıl) ve hayvansal atıklardan (16,19 TWh/yıl) biyogaz enerjisi üretebilme potansiyelinin olduğu raporlanmıştır [11,12].

Hacısalihoğlu [13] mevcut büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanı sayılarını esas alarak Bursa'nın Karacabey ilçesinde 2019-2021 yılları arasında oluşan hayvansal kaynaklı gübre ve bu gübrelerden elde edilecek teorik biyogaz miktarını hesaplamıştır. Üç yılın sonunda yaş gübre oluşma potansiyeli 126.942.000,12 ton/yıl ve yaş gübrenin biyogaz üretim potansiyeli ise 166.707.000,10 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Ortaya çıkacak biyogazın enerji potansiyeli ise 3.917.616,83 GJ/yıl'dır. Çalışma sonucunda biyogazdan üretilen elektrik enerjisinin İlçenin enerji ihtiyacını önemli oranda karşılayabileceği belirlenmiştir.

Topal Canbaz & Polat Bulut [14] İç Anadolu Bölgesindeki illerin (Ankara, Konya, Kayseri, Eskişehir, Sivas, Çorum, Yozgat, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kırıkkale, Karaman, Kırşehir ve Çankırı) büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanı sayılarını 2015-2019 yılları için belirleyerek bölgeye ait biyogaz üretim potansiyeli ve enerji miktarlarını hesaplamıştır. Çalışma sonucunda hayvan

gübresinden üretilen 2015 yılı toplam enerji miktarı 3410 GWh iken bu miktar 2019 yılı için 4275 GWh olarak tahmin edilmiştir.

Bu çalışmada hayvansal atıkların ekonomiye kazandırılma potansiyelinin tespiti amacıyla hayvancılığın yoğun olduğu Manisa ili seçilmiştir. Manisa ilindeki hayvan sayılarına göre oluşacak hayvansal gübre miktarı dikkate alınarak Manisa il sınırları içerisinde ilçe ilçe oluşacak yaş gübre miktarları, oluşan yaş gübreden üretilebilecek teorik biyogaz miktarı ve oluşan biyogazın enerji potansiyeli yapılan kabuller doğrultusunda hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda elde edilecek enerjinin şehrin elektrik tüketim ihtiyacını karşılama oranı belirlenmiş ve elektriğin biyogazdan elde edilmesi durumunda sera gazı salınımının ne kadar azaltılabileceği ortaya konulmuştur.

### Materyal – Metot

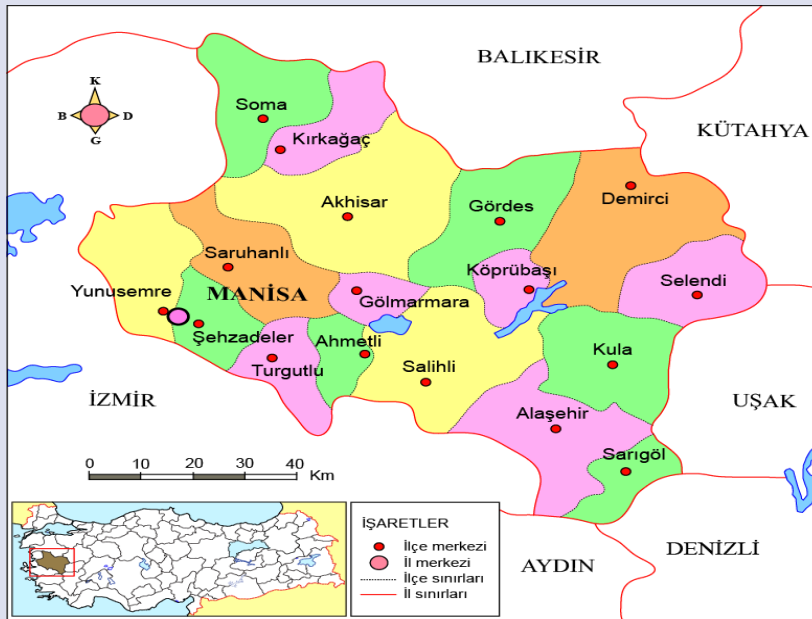
2023 TÜİK verilerine göre 1.475.716 kişilik nüfusuyla Türkiye'nin en kalabalık on dördüncü ili olan Manisa, Ege Bölgesi'nin ortasında, Anadolu Yarımadası'nın batısında yer alan ve Batı Anadolu'nun denize kıyısı bulunmayan ancak kıyıya en yakın ilidir. 38 04' ve 39 58' kuzey enlemleri ile 27 08' ve 29 05' doğu boylamları arasında yer alır. Yüzölçümü 13.810 km<sup>2</sup> olan il toplam 17 ilçeden oluşmaktadır (Şekil 1). 2018 yılında Manisa Valiliği İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü tarafından yayınlanan rapora göre Manisa etlik ve hindi varlığında 1., yumurta tavuğu varlığında 3. sıradadır. Geniş bitkisel ve hayvansal ürün yelpazesi ile Türkiye tarımında çok önemli bir yere sahip olan Manisa, aynı zamanda bir sanayi şehridir [15].

Çalışma kapsamında hayvansal kaynaklı üretilen biyokütle enerjisi miktarlarının hesaplanabilmesi için; TÜİK Veri Portalı web sayfasından 2023 yılı hayvan sayılarına ulaşılmıştır (<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>). Hayvansal atık potansiyeline bağlı olarak Manisa ili ve ilçeleri için hayvansal kaynaklı potansiyel biyogaz ve elektrik enerjisi miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda büyükbaş hayvan (BBH) olarak sığır ve manda, küçükbaş hayvan olarak (KBH) koyun ve keçi, kanatlı kümes hayvanı (KKH) olarak et tavuğu (broiler), yumurta tavuğu, kaz, ördek ve hindi sayıları dikkate alınmıştır.

Manisa İline ait biyogaz potansiyelini belirlemek için 2023 yılı TÜİK verileri ve Bilir [16] tarafından raporlanmış aşağıda verilen bazı kabuller kullanılmıştır.

1. Büyükbaş hayvandan, küçükbaş hayvandan ve kanatlı hayvandan yaklaşık olarak sırasıyla 3,6 ton/yıl, 0,7 ton/yıl ve 0,022 ton/yıl yaş gübre elde edildiği kabul edilir.
2. 1 ton büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan gübresinden sırasıyla 33 m<sup>3</sup>, 58 m<sup>3</sup> ve 78 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilir.
3. 1 m<sup>3</sup> biyogazdan elde edilecek elektrik enerjisi çalışılan tüm hayvan türleri için aynıdır ve 4.7 kWh'dir [1].

Bu kabuller ile birlikte Manisa ilindeki çiftlik hayvanı çeşitliliğine bağlı olarak oluşacak yaş gübre miktarı, biyogaz miktarı ve biyogazdan üretilen elektrik enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır.



Şekil 1. Manisa İl Haritası (cografyaharita.com)

Figure 1. Manisa Province Map

## Bulgular ve Tartışma

Manisa ili BBH, KBH ve KKH sayıları TÜİK veri erişim portalından alınarak 2023 yılı toplam hayvan sayısı 52.180.148 adet olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Tüm örnekleme noktaları arasında en fazla hayvan sayısına Salihli İlçesinin (9.433.763 adet) sahip olduğu görülmektedir. Tüm ilçelere ait hayvan sayılarına göre biyogaz üretim potansiyeli ve biyogazdan elde edilecek enerji miktarları hesaplanarak Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2’ye göre Manisa il ve ilçelerinde büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanı atıklarından elde edilecek teorik yaş gübre miktarı, teorik biyogaz potansiyeli, biyogaz yanması sonucu üretilen enerji miktarı ve potansiyel enerji santrali kapasitesi sırasıyla 2.621.545 ton/yıl, 153.000.000 m<sup>3</sup>/yıl, 720.731.084 kWh/yıl ve 82,275 MW enerjidir. İldeki hayvanlardan kaynaklı yaş gübre miktarının ve üretilen enerjinin oransal dağılımı Şekil 2’de görülmektedir. En fazla hayvan sayısına sahip olan Salihli ilçesinin Manisa il haritası içerisinde biyogaz

üretimine en çok katkısı olan ilçe olduğu hem Tablo 2 hem de Şekil 3’deki görselden görülmektedir.

Enerji Atlası 2023 yılı verilerine göre Manisa'nın elektrik santrali kurulu gücü 3.280 MWe'dir. Manisa'daki 62 elektrik santrali ile yılda yaklaşık 12.663 GWh elektrik üretimi yapılmaktadır. Bu üretim miktarı, Manisa'nın elektrik tüketiminin 2,06 katıdır. Kula (Kula Yenilenebilir Enerji Üretim Tesisi, 31 MW), Salihli (Salihli Biyokütle Enerji Santrali, 10 MW) ve Turgutlu (Manisa Biyogaz Enerji Santrali, 3 MW) ilçelerinde Biyokütle enerji santralleri hali hazırda işletmededir. Tablo 2’de vermiş olduğumuz hesaplama sonuçlarından da görüldüğü üzere Saruhanlı (9,5 MWe) ve Akhisar (11,4 MWe) ilçelerine de sahip oldukları potansiyel nedeniyle biyogaz üretim tesisi kurulabilir.

Tablo 3’de ise genel durumun daha iyi görülebilmesi için TÜİK 2023 yılı verilerine göre üretilen enerji miktarının genelden özele (Türkiye-Ege Bölgesi-Manisa-Salihli İlçesi) karşılaştırması verilmiştir.

Tablo 1. Manisa İli 2023 yılına ait hayvan sayıları  
Table 1. Number of animals in Manisa Province in 2023

İLÇELER	Hayvan Sayıları, adet			
	BBH	KBH	KKH	Toplam sayı, $\Sigma$
Ahmetli	4925	3439	1269710	1278074
Akhisar	12795	76586	9692930	9782311
Alaşehir	13751	72692	1953180	2039623
Demirci	12007	79230	892160	983397
Gölmarmara	2956	19588	521457	544001
Gördes	15151	64283	1701194	1780628
Kula	44543	160831	2408831	2614205
Köprübaşı	5384	53646	3500911	3559941
Kırkağaç	5875	33635	1160770	1200280
Salihli	36231	135162	9262370	9433763
Saruhanlı	4638	52449	8742366	8799453
Sarıgöl	8391	22136	601426	631953
Selendi	11097	67066	1062578	1140741
Soma	8862	19858	2238894	2267614
Turgutlu	28307	13700	4563628	4605635
Yunusemre	11174	38131	722870	772175
Şehzadeler	8888	20962	716504	746354
<b>Toplam Hayvan Sayısı</b>	<b>234975</b>	<b>933394</b>	<b>51011779</b>	<b>52180148</b>

Tablo 2. Manisa İli hayvansal kaynaklı enerji üretimi  
Table 2. Manisa Province animal-based energy production

İLÇELER	Teorik yaş gübre potansiyeli, ton/yıl				Teorik biyogaz potansiyeli, m <sup>3</sup> /yıl				Üretilen enerji miktarı, kWh/yıl				*
	BHS	KHS	KKH	Σ	BHS	KHS	KKH	Σ	BHS	KHS	KKH	Σ	
Ahmetli	17730,0	2407,3	27933,6	48070,9	585090,0	139623,4	2178822,4	2903535,8	2749923,0	656230,0	10240465,1	13646618,1	1,6
Akhisar	46062,0	53610,2	213244,5	312916,7	1520046,0	3109391,6	16633067,9	21262505,5	7144216,2	14614140,5	78175419,0	99933775,8	11,4
Alaşehir	49503,6	50884,4	42970,0	143358,0	1633618,8	2951295,2	3351656,9	7936570,9	7678008,4	13871087,4	15752787,3	37301883,1	4,3
Demirci	43225,2	55461,0	19627,5	118313,7	1426431,6	3216738,0	1530946,6	6174116,2	6704228,5	15118668,6	7195448,8	29018346,0	3,3
Gölmarmara	10641,6	13711,6	11472,1	35825,3	351172,8	795272,8	894820,2	2041265,8	1650512,2	3737782,2	4205665,0	9593949,3	1,1
Göndevan	54543,6	44998,1	37426,3	136968,0	1799938,8	2609889,8	2919248,9	7329077,5	8459712,4	12266482,1	13720469,8	34446664,3	3,9
Kula	160354,8	112581,7	52994,3	325930,8	5291708,4	6529738,6	4133554,0	15955001,0	24871029,5	30689771,4	19427703,8	74988504,7	8,6
Köprübaşı	19382,4	37552,2	77020,0	133954,6	639619,2	2178027,6	6007563,3	8825210,1	3006210,2	10236729,7	28235547,4	41478487,4	4,7
Kırkağaç	21150,0	23544,5	25536,9	70231,4	697950,0	1365581,0	1991881,3	4055412,3	3280365,0	6418230,7	9361842,7	19060437,9	2,2
Salihli	130431,6	94613,4	203772,1	428817,1	4304242,8	5487577,2	15894226,9	25686046,9	20229941,2	25791612,8	74702866,5	120724420,5	13,8
Saruhanlı	16696,8	36714,3	192332,1	245743,2	550994,4	2129429,4	15001900,1	17682323,9	2589673,7	10008318,2	70508930,3	83106922,1	9,5
Sarıgöl	30207,6	15495,2	13231,4	58934,2	996850,8	898721,6	1032047,0	2927619,4	4685198,8	4223991,5	4850621,0	13759811,3	1,6
Selendi	39949,2	46946,2	23376,7	110272,1	1318323,6	2722879,6	1823383,8	5864587,0	6196120,9	12797534,1	8569904,1	27563559,1	3,1
Soma	31903,2	13900,6	49255,7	95059,5	1052805,6	806234,8	3841942,1	5700982,5	4948186,3	3789303,6	18057127,9	26794617,8	3,1
Turgutlu	101905,2	9590,0	100399,8	211895,0	3362871,6	556220,0	7831185,6	11750277,2	15805496,5	2614234,0	36806572,5	55226303,1	6,3
Yunussemre	40226,4	26691,7	15903,1	82821,2	1327471,2	1548118,6	1240444,9	4116034,7	6239114,6	7276157,4	5830091,1	19345363,2	2,2
Şehzadeler	31996,8	14673,4	15763,1	62433,3	1055894,4	851057,2	1229520,9	3136472,5	4962703,7	3999968,8	5778748,1	14741420,6	1,7
<b>Toplam</b>	<b>845910,0</b>	<b>653375,8</b>	<b>1122259,1</b>	<b>2621544,9</b>	<b>27915030</b>	<b>37895796,4</b>	<b>87536212,8</b>	<b>153347039,2</b>	<b>131200641,0</b>	<b>178110243,1</b>	<b>411420200,0</b>	<b>720731084,1</b>	<b>82,3</b>

\*Potansiyel enerji santrali kapasitesi (MWe)

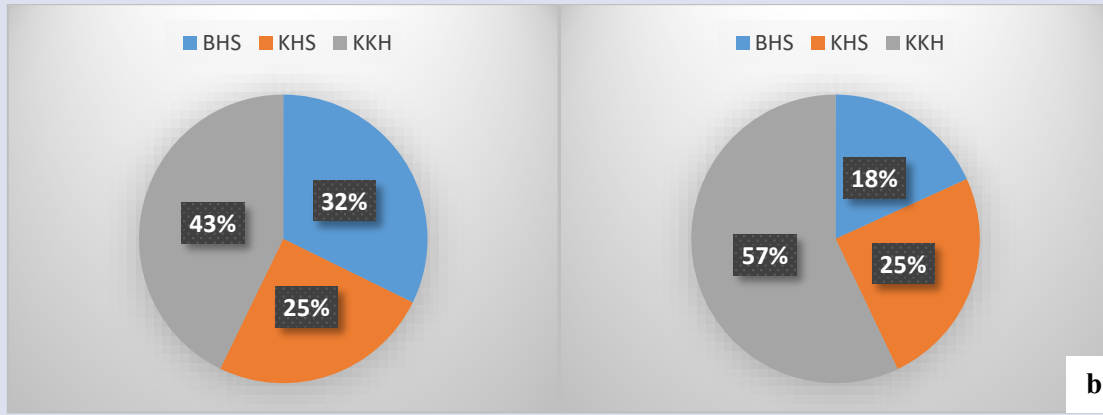
Σ: Toplam değer

Tablo 3. TÜİK 2023 yılı verilerine göre üretilen enerji miktarının genelden özele karşılaştırması  
Table 3. General to specific comparison of the amount of energy produced according to TurkStat 2023 data

BÖLGE	Hayvan Sayıları, adet				Teorik Biyogaz Potansiyeli, m <sup>3</sup> /yıl				Üretilen Enerji Miktarı, kWh/yıl			
	BHS	KHS	KKH	Σ	BHS	KHS	KKH	Σ	BHS	KHS	KKH	Σ
TÜRKİYE	33166010	52363410	3,74E+08	459281320	3,94E+09	2,13E+09	6,41E+08	6,71E+09	1,85E+10	9,99E+09	3,01E+09	3,15E+10
EGE BÖLGESİ	2737093	5021387	1,09E+08	116551514	3,25E+08	2,04E+08	1,87E+08	7,16E+08	1,53E+09	9,58E+08	8,77E+08	3,36E+09
MANİSA	234975	933394	51011779	52180148	27915030	37895796	87536213	1,53E+08	1,31E+08	1,78E+08	4,11E+08	7,21E+08
SALİHLİ İLÇESİ	36231	135162	9262370	9433763	4304243	5487577	15894227	25686047	20229941	25791613	74702867	1,21E+08

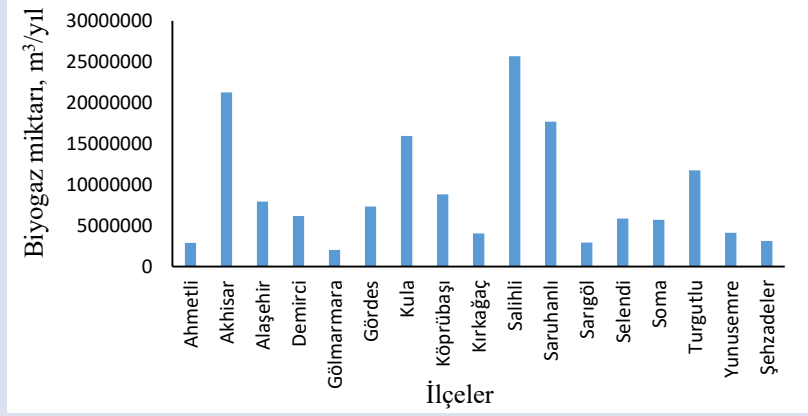
Avcioğlu & Türker [12] tarafından yayınlanan çalışmada 2009 verilerine göre Manisa ili BHS+KHS+KKH sayıları dikkate alındığında 2.352.431 ton/yıl yaş gübre

potansiyeli, 65.995.000 m<sup>3</sup>/yıl biyogaz potansiyeli ve 1.498.086 GJ/yıl kalorifik değer raporlanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ise Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 2. 2023 yılı verilerine göre Manisa İlinde (a) bir yılda üretilen yaş gübre miktarının (ton/yıl) hayvan türlerine göre % dağılımı (b) Hayvan türlerine göre üretilen enerjinin (kWh/yıl) % dağılımı

Figure 2. According to 2023 data, in Manisa Province (a) % distribution of the amount of wet manure produced in a year (tonnes/year) according to animal species (b) % distribution of energy produced (kWh/year) according to animal species



Şekil 3. İlçelerdeki hayvan sayılarına bağlı olarak elde edilecek teorik biyogaz miktarı

Figure 3. The theoretical amount of biogas to be obtained depending on the number of animals in the districts

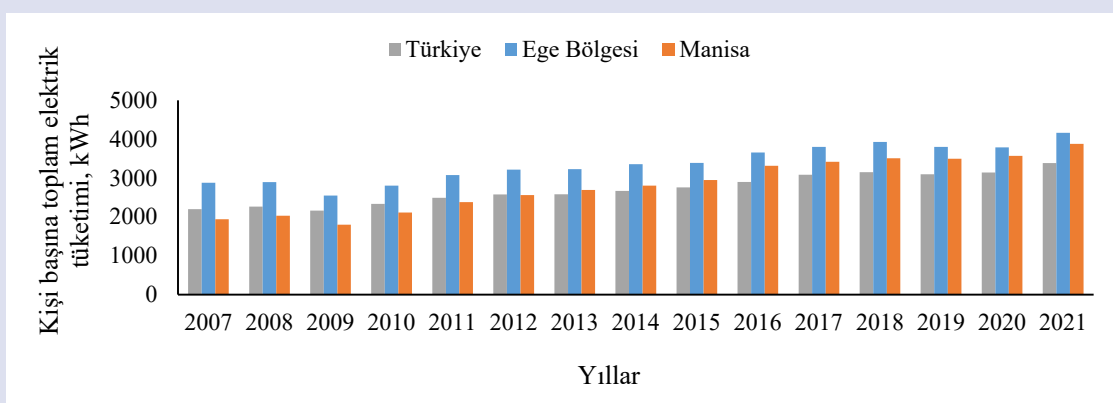
Manisa İli için meskenlerde kişi başına toplam elektrik tüketimi 2019, 2020 ve 2021 yılları için sırasıyla 683, 717 ve 723 kWh'dir. Görüldüğü üzere bu değer her geçen yıl artmaktadır. TÜİK Merkezi Dağıtım Sistemi (MEDAS) enerji istatistiklerinden en son 2021 yılı verisine ulaşılmıştır. 2023 yılı Manisa İl nüfusu TÜİK verilerine göre 1.475.716 kişidir. 2023 yılı için meskenlerde kişi başına toplam elektrik tüketiminin 750 kWh olduğu kabulü ile (TÜİK 2023 yılı verisi olmadığı için tam sayı veremiyoruz) meskenlerdeki toplam elektrik tüketiminin biyogazdan üretilen enerji miktarına (720731084 kWh/yıl) oranı 1,53'dür.

Günlük hayatta ihtiyaç duyduğumuz (konut, sanayi, metro ulaşımı, resmi daire, çevre aydınlatması gibi) kişi başı tüm elektrik enerjisi ihtiyacı TÜİK 2007-2021 yılı verilerinden temin edilerek Şekil 4'deki grafik çizilmiştir. En son 2021 yılı verilerine baktığımızda Türkiye geneli, Ege Bölgesi ve Manisa İli için bu değer sırasıyla 3386, 4164 ve 3878 kWh olarak değişmektedir. Buradan Manisa ili için kişi başına toplam elektrik tüketiminin Türkiye genelinden yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

4 kişilik normal bir ailenin evindeki günlük elektrik tüketimi, evdeki cihazların sayısı ve türüne, aydınlatma kaynaklarına ve uyguladıkları enerji tasarrufu yöntemlerine bağlı olarak

değişebilmekle birlikte genel olarak, evin günlük elektrik tüketimi, 15-20 kWh arasındadır. Bu değeri ortalama 18 kWh alırsak bir evin yıllık elektrik tüketimi 6570 kWh olacaktır. Manisa ili için hayvansal kaynaklı biyogazdan elde edilebilecek yıllık enerji miktarı 720.731.084 kWh'dir. Bu durumda 109700 hanenin (hanelerin 4 kişiden oluştuğu kabul edildiğinde 438.800 kişinin), 2023 yılı Manisa il nüfusuna göre ise il nüfusunun %29,73'ünün evsel elektrik tüketim ihtiyacının hayvansal gübre kaynaklı biyogaz üretiminden karşılanabileceği görülmektedir. Türkiye'deki mevcut potansiyel değerlendirildiği takdirde biyoenerji, hem tarım ve orman ürünlerinin yönetiminde hem atık kaynaklı çevre sorunlarını önlemede hem de CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmada yardımcı olacaktır. Bu nedenle sırf maliyet odaklı düşünülerek biyogaz tesislerinin kurulum ve işletilmesinden vazgeçmek doğru bir yaklaşım değildir.

Biyogaz tesislerini başarılı şekilde işleten Ülkeler sistemin kendi kendini kısa sürede amorti ettiğini böylece hem doğaya hem de ülke kalkınmasına katkıda bulunduğunu göstermiştir [18]. Bu nedenle illerin enerji ve kalkınma planları hazırlanırken mutlaka değerlendirilmesi ve eğer uygunsa üretime geçilmesi gereken bir yatırımdır.



Şekil 4. TÜİK verilerine göre kişi başına toplam elektrik tüketimi

Figure 4. Total electricity consumption per capita according to TurkStat data

Dursun [19] tarafından 2023 yılı verileriyle yapılan çalışmada Ege Bölgesi'nin hayvan sınıfına göre hayvansal atık miktarı belirlenerek, biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada TÜİK 2023 verilerine göre bölgede büyükbaş (2051641), küçükbaş (3867541) ve kümes hayvanı (38346914) olmak üzere toplam 44266096 adet hayvan olduğu açıklanmıştır. Hayvan sayıları hesabında 12 ay ve üzeri yaş grubu büyükbaş hayvan (saf kültür sığırları, süt sığırları, melez sığırlar, yerli sığırlar, manda) ve küçükbaş hayvan (keçi, koyun) sayıları, kümes hayvanlarında ise, yumurta tavuğu, kaz, hindi, ördek ve beç tavuğu sayıları değerlendirmeye alınmıştır. Hayvan sınıflarına göre elde edilebilecek biyogazın yıllık TEP cinsinden enerji eşdeğeri Ege Bölgesi için toplam 552699,4 TEP/yıl, Manisa ili için 86184,4 TEP/yıl olarak açıklanmıştır. Bölge enerjisinin %15,6'sının Manisa ilinden karşılanabileceği görülmektedir. Ege Bölgesi kapsamında, hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin il bazında belirlenmesine yönelik yapılan araştırmalar, biyogaz potansiyelinin enerji eldesine önemli miktarda katkısı olacağını göstermektedir. Bu potansiyel katkı göz önünde bulundurularak, bölgede biyogaz tesisi sayısının gelecek yıllarda artırılması Dursun [19] tarafından elde edilen sonuçlar neticesinde önerilmektedir.

2015 ve 2016 yılı verileri esas alınarak Sivas ili için yapılan bir çalışmada oluşacak biyogazdan elde edilecek elektrik enerjisi miktarı 2015 yılı için 229,7 GWh, 2016 yılı için ise 246,2 GWh olarak hesaplanmıştır. Sivas iline ait yıllık 3764 GWh elektrik tüketim ihtiyacının % 6,5'inin hayvansal kaynaklı biyogazdan karşılanabileceği çalışmada rapor edilmiştir [7]. Bingöl ili için 2020 yılında Demir ve Çulun [20] tarafından yapılan çalışmada ilde kurulacak enerji santralinin potansiyel kapasitesinin 25,6 MW olacağı raporlanmıştır. Bizim yapmış olduğumuz bu çalışma için ise 2023 yılı verileri değerlendirildiğinde Manisa ilinde kurulacak enerji santralinin potansiyel kapasitesinin 82,275 MW olduğu anlaşılmaktadır.

2018 yılı verileri esas alınarak Adana ili için yapılan başka bir çalışmada 3.062.992 adet hayvandan yılda toplam 88.367,42 m<sup>3</sup> metan üretilebileceği bunun enerji eşdeğerinin ise 3.181,23 GJ/yıl olduğu raporlanmıştır. Çalışmada ayrıca metan gazı ortalama elektrik verimi %35 olan bir kojenerasyon motorunda yakıldığında yılda 309,29 MWh elektrik üretiminin mümkün olacağı raporlanmıştır [5].

Hesaplamalara göre, Türkiye genelinde 1 MWh (birim) brüt elektrik üretimi başına ortalama 0,439 ton CO<sub>2</sub>-eşd. sera gazı emisyonu salınmaktadır [21]. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre Türkiye, Ege Bölgesi, Manisa İli ve Manisa İli Salihli İlçesindeki hayvanlardan elde edilecek hayvansal gübre kaynaklı biyogazdan sırasıyla 31.524.943, 3.363.902, 720.731 ve 120.724 MWh/yıl elektrik üretim potansiyelinin olduğu görülmektedir. Bu potansiyel değerlendirildiğinde her bölge için sırasıyla 13.839.450, 1.476.753, 316.401, 52.998 ton CO<sub>2</sub>-eşd. sera gazı emisyonu salınımının önüne geçilebilecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi sayesinde doğaya salınan CO<sub>2</sub> miktarında düşüm sağlanabilmektedir [22].

Hindistan'ın Haryana kırsalında hayvan gübresinden elde edilen biyokütle kaynakları potansiyelini tahmin etmek ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için [23] tarafından bir araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmaya göre Eyalet, yılda 5464,11 milyon m<sup>3</sup> biyogaz ve 9835,4 GWh elektrik enerjisi üreten 52,29 milyon ton hayvan gübresi potansiyeline sahiptir. Hayvan gübresinin kişi başına elektrik potansiyelinin 387,96 kWh/kişi olacağı öngörülmektedir. Biyokütle enerji üretimi, enerji için dizel yerine yerel hayvancılık biyokütlesine geçişle, 2560,32

milyon kg/yıl CO<sub>2</sub> eşdeğer emisyonu baz alınarak, 1707,08 ila 3583,73 milyon kg/yıl arasında tahmini bir tasarruf sağlanmaktadır.

Çiftlik hayvanı atıklarından biyoenerji potansiyelini tahmin etmek için Bangladeş, Chattogram'da çok amaçlı bir çiftlik ve bir süt çiftliğinde yürütülen bir aylık çalışma sonuçları çok amaçlı çiftlik ve süt çiftliğinin yıllık 209.660,2 ve 1.205.035,5 m<sup>3</sup> biyogaz üretim potansiyeline sahip olduğunu ve sırasıyla 3,77E+05 ve 2,17E+06 kWh/yıl biyoelektrik ürettiğini göstermektedir. Çok amaçlı çiftlik ve süt çiftliği yıllık 982,03 ve 16092,49 ton biyogübre potansiyeline sahiptir [24]. Hem çevresel hem de ekonomik analizler, her iki çiftliğin de iyi bir sera gazı azaltma potansiyeline sahip olduğunu ve piyasada elektrik ve biyogübre satarak önemli gelir elde edebileceğini göstermektedir.

Tüm bu araştırmalar yapılırken unutulmaması gereken nokta; saha çalışmaları, doğru atık tespitleri, belirli aralıklarla yapılacak atık analizleri, atıkların tesise ulaştırılması için gerekli olan ulaşım ve altyapı maliyetleri, üretimde uygulanacak teknoloji, bu teknoloji için gerekli yatırım maliyeti ve bu maliyetin amortisman süresi gibi bilgilerin en doğru şekilde hesaplanabilmesi için detaylı ve doğru bir fizibilite ve optimizasyon çalışması kesinlikle gereklidir [4]. Bunun yanında hesaplamalar yapılırken mutlaka en doğru teorik kabuller ve literatür verileri kullanılmalıdır.

## Sonuçlar

Tarımsal ve hayvansal faaliyetler sonrasında atık olarak ortaya çıkan biyokütleyi enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirmek ülkelerin karbon ayak izini azaltmada ve kendi öz kaynakları ile dışa bağımlı olmadan yenilenebilir enerji kaynaklarını üretmede etkili olacaktır. Bu tarz enerjinin toplam enerji ihtiyacımızı karşılamaya yetmese bile katkı sunacağı ve CO<sub>2</sub> salınım miktarını azaltacağı yapılan hesaplardan anlaşılmaktadır.

2023 TÜİK verilerine göre Manisa ilinde beslenen hayvan atıklarının toplam kullanılabilir gübre potansiyeli, bu gübreden elde edilecek biyogaz potansiyeli ve biyogazdan üretilen enerji miktarının belirlenmesi amacıyla yapmış olduğumuz çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Toplam çiftlik hayvanı sayısı (Büyükbaş+Küçükbaş+Kanatlı) 52.180.148 adet, bu hayvanlardan oluşacak yaş gübre miktarı 2.621.545 ton/yıl, gübrenin biyogaz potansiyeli 153.347.039,2 m<sup>3</sup>/yıl ve biyogazdan üretilen enerji miktarı ise 720,73 GWh/yıl olarak belirlenmiştir.
- Maksimum elektrik enerjisi üretim potansiyeli Salihli İlçesinde (120,72 GWh/yıl), en düşük enerji üretim potansiyeli ise Gölçümlü ilçesinde (9,6 GWh/yıl) belirlenmiştir.
- Üretilen enerjinin kaynağını %57 oranında kümes hayvanları oluştururken, %25'ini küçükbaş hayvanlar, %18'ini ise büyükbaş hayvanlar oluşturmaktadır.

Biyogaz tesisinin kurulmasıyla hem hayvansal gübrelerin çevreye zarar vermeksizin bertaraf edilmesi, hem temiz enerji elde edilmesi hem de anaerobik fermantasyon sonucu oluşan materyalin tarımda organik gübre olarak kullanılması mümkün olacaktır. Ayrıca fosil

yakıtlardan kaynaklı sera gazı salınımı azalırken karbon ayak izine olan katkı engellenecektir. Bölge için yapılacak farklı araştırmalarda hayvansal atıktan elde edilecek biyogaz potansiyelini artırmak amaçlı farklı biyokütle karışımları bir arada değerlendirilebilir.

### Kaynaklar

- [1] Yapılcan HE, Bakırtaş H. Aksaray ilinde küçükbaş ve kanatlı hayvan gübresi temelinde biyogaz potansiyelinin belirlenmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2024;**13**:107–115.
- [2] Mert RA, Gökçek ÖB. Niğde İlinin Hayvansal ve Tarımsal Atık Miktarlarının ve Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi 2023;**39**:417–429.
- [3] Appels L, Lauwers J, Degreve J, et al. Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011;**15**:4295–4301.
- [4] Can ME. Büyükbaş hayvan ve tavuk gübreleri kaynaklı biyogaz potansiyeli; Adana ili örneği. Mediterranean Agricultural Sciences 2021;**34**:205–214.
- [5] Yağlı H, Koç Y. Hayvan gübresinden biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi: Adana ili örnek hesaplama. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 2019;**34**:35–48.
- [6] Klavon KH, Lansing SA, Mulbry W, et al. Economic analysis of small-scale agricultural digesters in the United States. biomass and bioenergy 2013;**54**:36–45
- [7] Bulut Polat, A, Canbaz Topal, G. Hayvan Atıklarından Sivas İli Biyogaz Potansiyelinin Araştırılması. Karaelmas Fen ve Müh. Derg. 2019;**9**(1):1-10.
- [8] <https://bepa.enerji.gov.tr>, BEPA 2024 (Erişim tarihi: 8.11.2024).
- [9] <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle>, 2022 (Erişim tarihi: 5.11.2024).
- [10] <https://www.enerjiatlası.com/biyogaz>, Enerji Atlası 2024 (Erişim tarihi: 12.11.2024).
- [11] Nuralan Poyraz H, Elden G, Genç G. Kayseri İli İçin Büyükbaş Hayvan Atığından Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin ve Maliyetinin Araştırılması. Dicle University Journal of Engineering 2020;**11**(3):1175-1185.
- [12] Ozcan M, Öztürk S, Oguz Y. Potential evaluation of biomass-based energy sources for Turkey. Engineering Science and Technology, an International Journal 2015;**18**:178–184.
- [13] Hacısalihoğlu S. Hayvansal atıkların yönetimi, Bursa-Karacabey örneği. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023;**25**:403–415.
- [14] Topal Canbaz G, Polat Bulut A. İç Anadolu Bölgesinde Bulunan Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyelinin İncelenmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 2021;**8**:905–912.
- [15] <https://manisa.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Brifing%202020/2020%20Brifing.pdf> (Erişim tarihi: 10.11.2024).
- [16] Bilir M, Deniz Y, Karabay E. Biyogaz Üretimine Yönelik Değerlerin Saptanması. Toprak Su Araştırma Ana Projesi, Proje No: 872, Ankara, 1983.
- [17] Avcioglu AO, Türker U. Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012;**16**:1557–1561.
- [18] Yildirim AM, Koçer NN. Diyarbakir İli Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Üretimi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2022;**25**:27–40.
- [19] Dursun N (2024) Determination of Biogas Production Potential of Aegean Region from Animal Waste. pp 78–82
- [20] Demir Ü, Çulun P. Investigation of Biogas Potential from Animal Waste in Bingöl Province. Türk Doğa ve Fen Dergisi 2022;**11**:36–42.
- [21] <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri> (Erişim tarihi: 9.11.2024).
- [22] Matur UC, Atasayın A. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Ankara, Gaziantep, Kars. Mühendis ve Makina 2024;**716**:409–431.
- [23] Nehra M, Jain S. Estimation of renewable biogas energy potential from livestock manure: A case study of India. Bioresource Technology Reports 2023;**22**:101432.
- [24] Das P, Islam KS, Uddin SM. Biogas production potential from animal farm waste in Bangladesh: Case studies of two selected farms. Environmental Progress & Sustainable Energy 2023;**42**:e14214.



## Sustainable Smart Lighting System Application: Sivas Cumhuriyet University

Gülhan Şahin Özyalçın<sup>1,a,\*</sup>, Derya Betül Ünsal<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Bilimi ve Teknoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sivas, Türkiye

<sup>2</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sivas, Türkiye

<sup>2</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Sivas, Türkiye

<sup>2</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sürdürülebilirlik Ofisi Koordinatörlüğü, Sivas, Türkiye

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 21/06/2024

Accepted: 26/11/2024

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

Like the rest of the entire world, Turkey's finite resources cannot keep up with the country's rapid population growth and industrialization-driven energy demand; as a result, the gap between energy production and consumption is widening, and the country's reliance on imported energy is growing. The most effective and efficient use of renewable energy sources is required to meet the rapidly rising demand for energy. The purpose of this study is to lower electricity consumption costs by using electricity produced from renewable sources to power street and road lighting in the Sivas Cumhuriyet University campus region. Data including lighting supply points, total power in lighting regions, and the number and diversity of lighting fixtures were gathered by inventorying the campus lighting electrical design. A model of a solar power plant and a lighting system appropriate for a sustainable smart campus model were developed based on the data collected.

**Keywords:** Smart campus, Sustainable lighting, Renewable energy.

## Sürdürülebilir Akıllı Aydınlatma Sistemi Uygulaması: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

#### Süreç

Geliş: 21/06/2024

Kabul: 26/11/2024

### Öz

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de hızla artan nüfus ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji talebindeki artış, ülkemizin kısıtlı kaynakları ile karşılanamamakta, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açık hızla büyümekte ve enerjide dışa bağımlılık oranı artmaktadır. Enerji talebindeki hızlı artışın karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynaklarından en etkin ve verimli biçimde yararlanılması gerekmektedir. Bu çalışmada Sivas Cumhuriyet Üniversitesi kampüs alanı içerisinde bulunan cadde ve sokak aydınlatmalarının yenilenebilir enerjiden üretilen elektrik enerjisi ile çalışması ve elektrik tüketim faturalarının düşürülmesi amaçlanmıştır. Kampüs aydınlatma elektrik planının envanteri çıkarılarak, aydınlatma besleme noktaları, aydınlatma mahallerindeki toplam güç, aydınlatma armatür çeşitliliği ve miktarı gibi veriler toplanmış, elde edilen sonuçlara uygun bir güneş enerjisi santrali modeli oluşturularak sürdürülebilir akıllı kampüs modeline uygun bir aydınlatma sistemi tasarlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı kampüs, Sürdürülebilir aydınlatma, Yenilenebilir enerji

<sup>a</sup> [dbunsal@cumhuriyet.edu.tr](mailto:dbunsal@cumhuriyet.edu.tr)

<sup>ID</sup> 0000-0002-7657-7581

<sup>b</sup> [mail.gulhansahin4@gmail.com](mailto:mail.gulhansahin4@gmail.com)

<sup>ID</sup>

**How to Cite:** Şahin Özyalçın G, Ünsal DB (2024) Sustainable Smart Lighting System Application: Sivas Cumhuriyet University, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 152-165



## Giriş

Ülkemizde yenilenebilir enerji alanında 2015 yılından bu yana birçok büyük adımlar atılmış, çeşitli finansmanlar ile üreticinin her kademesinde ve her sektörde yenilenebilir enerjiye geçiş için destekler sağlanmıştır. Türkiye rüzgar ve güneş enerjisi yönünden oldukça verimli olmasına rağmen hala yenilenebilir enerjinin toplam üretilen enerji içindeki yüzdesi istenilen seviyede değildir. Enerji maliyetlerinin düşürülebilmesi ve enerji talebinin yerli kaynaklardan sağlanabilmesi için coğrafi olarak oldukça yüksek bir potansiyele sahip olduğumuz yenilenebilir enerji potansiyelini en verimli ve etkin şekilde kullanmak zorundayız. Bunu yaparken çevreye saygılı, yeşil ekonomi modeline uygun, sürdürülebilir politikalar üretmek hem kamu hem de özel sektörün görevidir.

Yenilenebilir enerjiye geçişin kamu yatırımları ile hız kazanması özel sektöre de öncülük edecektir. Kamu binalarının kendi enerjisini üretmesi konusunda yeni inşa edilecek binaların yeşil bina modeline uygun tasarlanması, iklim özelliklerinden faydalanılması, güneş ve rüzgar enerjisinden faydalanılması, gri su kullanımı çözümlerin binaların mimari planları hazırlanırken düşünülüp tasarlanması binaların ilk yapım maliyetlerini artırsa da kullanım süresi boyunca ekonomik olarak büyük avantajlar sağlayacaktır. Büyük güneş enerjisi santralleri kurmak kadar, üniversitelerin de dahil olduğu kamu binalarının, fabrikaların, sanayi bölgelerinin, aydınlatma, sıcak su, günlük enerji tüketimi gibi ihtiyaçlarının güneş ya da rüzgar enerjisi ile karşılanması da yenilenebilir enerjiye geçişte büyük rol oynayacak ve sürdürülebilirliğe uygun, ekonomik olarak daha verimli çözümler üretilmesine katkı sağlayacaktır. Bu amaçla bu çalışmada ilk olarak Türkiye’de ve diğer ülkelerde üniversite yerleşkeleri özelinde yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Sutopo, W. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sokak aydınlatmasının güneş enerjisi tabanlı sistemleri ile değiştirilmesi durumunda ekonomik ve teknik olarak verimli olup olmayacağını araştırmış, yaptıkları finansal ve teknik analizler sonucu, güneş enerjisi tabanlı aydınlatma sistemleri ile sokak aydınlatmasının daha iyi performans ve güvenilirlikte çalışacağı sonucuna varmışlardır.[1]

Nugraha A., M. Ve Nugurah Desnanjaya G., M., Kupang Denizcilik ve Balıkçılık Politeknik Okulu kampüs alanı için güneş enerjili sokak aydınlatması sistemi tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Bu tasarımı yapabilmek için bölgenin 1 yıllık meteorolojik verilerini incelemiş, solar radyasyon, sıcaklık, nem, rüzgar gibi parametrelerin tasarıma etkilerini analiz etmişlerdir. Bu meteorolojik verileri referans alarak, tasarlanan güneş enerjili sokak aydınlatması sisteminin üretim değerlerini hesaplamışlardır. Teknik, ekonomik ve sosyal açıdan yaptıkları analiz sonuçlarına göre, kampüs alanı için yapılan güneş enerjili sokak aydınlatmasının performansının %85 olduğu, tasarlanan sistem ile kampüs alanında yılda 15,99 Mwh enerji tasarrufu yapılabileceği sonucuna varmışlardır.[2]

Geyik, N.E. yaptığı çalışmada enerji performansının artırılmasına yönelik binalarda uygulanan pasif bina tasarım sistemlerinin sürdürülebilir mimari ilkeleri ile bütüncül değerlendirilmesi bağlamında, Abu Dhabi’de bulunan Masdar Şehri ve kentin içinde yer alan Masdar

Bilim ve Teknoloji Enstitüsü Kampüsü araştırma alanı olarak incelemiştir. Araştırmada Masdar şehri ve Masdar Bilim ve Teknoloji Kampüsü mimari, ekolojik, atık yönetimi, ısıtma ve soğutma sistemleri, elektrik tüketimi ve yenilenebilir enerji sistemleri, yalıtım sistemi, su sistemleri, taşımacılık ve ulaşım gibi pek çok alanda sürdürülebilirlik bakımından incelenmiş, mimari plana uygun %5 lik açılı ile konumlandırılmış çatı tipi fotovoltaik sistemler ile yenilenebilir elektrik enerjisi kullanımının %95’e çıkarılarak elektrik tüketiminin azaltıldığı görülmüştür. Temiz enerji kullanımı ile yüksek standartlarda bir şehir planlamasının mümkün olduğu ve Masdar şehrinin de buna iyi bir örnek olduğu sonucuna varmıştır. [3]

Prakash, O. ve arkadaşları NIT Jalandhar kentindeki solar sokak aydınlatmalarının enerji tüketimine etkisini araştırmışlardır. NIT Jalandhar güneş panelleri için yapılan analiz, şebekeden bağımsız off-grid tip güneş panellerinin şebekeye bağlanması ve güç sağlanması durumunda, çok büyük miktarda elektrik faturası tasarrufu sağlayabileceği sonucuna varılmıştır. [4]

Noel, N. ve diğerleri yaptıkları çalışmada Burundi Cumhuriyeti’ndeki Gitega şehrinde sokak aydınlatma sistemleri için güneş enerjisinin kullanılma olasılığını tartışmışlardır. Şehrin hava ve iklim koşullarının analizi yapılmış ve güneş enerjili mini güce dayalı etkili bir sokak aydınlatma sistemi geliştirilmiştir. Işık akısının kademeli değişimine sahip akıllı bir lamba ile çalışan akıllı kontrollü ekonomik bir aydınlatma sistemi tasarlanmıştır. Ekonomik verimlilikler yapılmış ve geliştirilen sistemin çalışma prensibi açıklanmıştır. Kontrol sinyallerini iletme yöntemlerinin ve farklı lamba türlerinin performanslarının karşılaştırılmasının yanı sıra batarya deşarj sürecinin bir değerlendirmesi yapılmıştır. PV paneller ve batarya sistemleri ile beslenen sokak aydınlatmasının Gitega şehri için hem ekonomik hem de enerji verimliliği açısından uygulanabilir olduğu sonucuna varmışlardır.[5]

Ateş, A. M. ve diğerleri çalışmalarında, Manisa Celal Bayar Üniversitesi bünyesinde hizmet veren Köprübaşı Meslek Yüksekokul binasını inceleyerek enerji tasarruf performansını araştırmışlardır. Yıl boyunca ölçümler yaparak binanın mevcut durumunun davranışını ve enerji kullanım düzeyi belirlenmiştir. Daha sonra önerilen iyileştirmeler sonucunda nasıl bir enerji tasarrufu sağlayacağını belirlemek amacıyla, bilgisayar tabanlı enerji modellemesi yapılmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen verilerden yola çıkarak, binanın enerji tasarruf potansiyeli ve iyileştirme sonucunda nasıl bir davranış göstereceği hesaplanmıştır. Hem ölçüm verilerinden hem de modellemeden elde edilen veriler doğrultusunda, mevcut bina yıllık bazda, 90,40 kWh/m<sup>2</sup>yıl enerji tüketirken, önerilen iyileştirmeler sonucunda 55,54 kWh/m<sup>2</sup>yıl enerji tüketir hale gelmiştir. Yani, yaklaşık %40 oranında enerji tasarrufu sağlama potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Binanın mevcut durumdaki kullanım düzeyine göre sera gazı emisyonu 74,90 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>yıl değerinde iken, önerilen iyileştirmeler ve bina çatısında hâlihazırda mevcut olan FV-GES’in desteğiyle bu değer 12,61 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>yıl değerine kadar düşeceği hesaplanmıştır.[6]

Khan, I. ve diğerleri Bangladeş'te üniversite kampüslerinde yenilenebilir enerji kullanımının enerji verimliliğine katkısını inceledikleri araştırmalarında, günlük ortalama güneş radyasyonu 4-6,5 kWh/m<sup>2</sup> civarında olan Bangladeş'in, solar enerji potansiyelinin oldukça iyi olmasına rağmen, güneş enerjisi uygulamaları sadece geleneksel kullanımlarla sınırlı kaldığını tespit etmişlerdir. Bu araştırma, Bangladeş'teki üniversite kampüsleri için gelecekteki enerji tedarik stratejilerini ortaya koymuştur. Çalışmada, sadece ışık ve klima için elektrik sağlamak üzere 140 batarya (24V, 100 AH) ile birlikte her biri 75 W kapasiteye sahip 142 fotovoltaik modülden oluşan entegre bir güneş enerjisi sistemi önerilmiştir. Yapılan finansal analiz ile, entegre bir yenilenebilir enerji çözümünün Bangladeş'te elektrik enerjisini verimli kullanan üniversite kampüslerine ulaşılmasında önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir. [7]

Oyepo, S. ve diğerleri Covenant Üniversitesi enerji tüketimlerini incelemiş ve üniversite kampüsü içerisinde enerji tüketimlerini azaltmak için öneriler sunmuşlardır. Kampüs içerisinde seçilen binalardaki enerji tüketiminden sorumlu elektrikli aletleri belirlemiş, 18 binada enerji etüdü gerçekleştirmişlerdir. Oluşturulan modeller üzerinde parametrik simülasyonlar çalıştırmak için simülasyon aracı (eQuest) kullanarak binaların her biri için bina enerji modelleri oluşturmuşlardır. Covenant Üniversitesi'nin 5 yıllık (2014-18) elektrik faturaları, enerji tüketiminin mevsimsel değişimi açısından incelenmiştir. Çalışma, üniversitede enerjinin israf edildiği çeşitli yollar olduğunu ortaya koymuştur. Buna ek olarak, tesislerdeki enerji tüketimini azaltmak için olası enerji tasarrufu çözümleri önerilmiştir. Önerilerin odaklandığı alanlar arasında binaların çatılarında fotovoltaik panellerin kullanılması, kampüste enerji bilincini artırmak için Hebron Enerji Kulübü'nün kurulması, verimsiz floresan tüplerin ışık yayan diyot ampullerle değiştirilmesi ve enerji israfını azaltmak için koridor ışıklarında otomatik kontrol sistemlerinin kullanılması yer almaktadır. İki önerinin niteliksel analizi, 6 yıldan daha kısa bir geri ödeme süresiyle yılda 81.000 \$ üzerinde tasarruf sağlanabileceğini göstermiştir. Ayrıca, bu önerilerin uygulanması halinde yılda yaklaşık 500 ton CO<sub>2</sub> emisyonu ortadan kaldırılabilir. [8] Passago, S. ve diğerleri yaptıkları çalışmada sokak aydınlatması için büyük miktarda enerji tüketmeyen yeni bir sistem tasarımı konusunda çalışmışlardır. Bu tasarımda düşük enerji tüketimi ile yüksek ışık yoğunluklu sokak aydınlatması yapmak hedeflenmiştir. Rajabbat Maha Sarakham Üniversitesi kampüs aydınlatması için tasarlanan bu projede öncelikle halojen aydınlatma armatürleri led armatürler ile değiştirilmiş, daha sonra sistem şebekeden ayrılarak PV paneller ile beslenmeye başlanmıştır. 12 V 45 Ah aküler ve 80 Watt'lık güneş pilleri ile tasarladıkları sistemde ortalama parlaklığın 186 - 340 lux olduğu durumda güneş pili enerji depolama miktarlarının enerji tüketiminden daha yüksek olduğunu ve gece boyunca led aydınlatma için için yeterli enerji depolandığı sonucuna varmışlardır. Çalışma sonucunda, sokak aydınlatmalarında karbon emisyonları azaltmak, tüketim maliyetlerini

düşürmek, enerji verimliliği sağlamak için öncelikle yüksek ışık verimine sahip led aydınlatma ürünlerinin kullanılması önerilmiştir. Orta derece güneş radyasyonuna sahip bir bölgede sokak aydınlatmasının PV paneller ve aküler yardımıyla şebekeden ayrılarak tamamen yenilenebilir enerji ile beslenmesinin hem ışık verimliliği hem de ekonomik kazanç anlamında olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. [9]

Oraz, E. ve diğerleri ofisler ve laboratuvarlardan oluşan karmaşık ve yüksek enerji tüketen çok işlevli bir binada olası enerji tasarrufu stratejilerini inceleyerek ve ardından enerji verimliliği stratejilerini araştırmışlardır. Bina yönelimi, bina yalıtımı, cam özellikleri, aydınlatma ekipmanları, HVAC sistemleri ve bina sakinlerinin davranışları gibi çeşitli temel aktif ve pasif iyileştirme stratejilerinin bireysel ve birleşik etkilerini değerlendirmek için kapsamlı bir enerji modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada örnek çalışma alanı olarak İTÜ Fen Edebiyat Fakültesi seçilmiştir. Yerinde güç üretmek için çatı üstü PV panelleri uygulanarak binanın elektrik tüketiminin azaltılması amaçlanmıştır. Çatı katının %70'ini kaplayan %20,4 verimliliğe sahip monokristal tip fotovoltaik paneller simüle edilmiştir. Fotovoltaik panellerin entegrasyonu enerji verimliliğini önemli ölçüde artırmıştır. Simüle edilen PV panel konfigürasyonu toplam elektrik tüketiminin %26,09'una kadarını karşılayabileceği sonucuna varılmıştır. [10]

Literatür çalışması sonucunda, üniversite kampüsleri içerisinde aydınlatma amaçlı güneş enerjisi sistemi kullanımı ile ilgili yapılan benzer çalışmalarda kampüs enerji besleme hatlarının güneş enerjisi ile desteklenmesine uygun olup olmadığı, besleme hatlarının şebeke bağlantılı (on-grid), şebekeden bağımsız (off-grid) ya da batarya destekli güneş enerjisi sistemlerinden hangisine daha uygun olduğu konusunda detaylı araştırmalar yapılmadığı tespit edilmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalarda güneş enerjisi ile besleme yapılırken sadece bir yöntem seçilmiş ve diğer yöntemlerin verimliliği analiz edilmeden seçilen bu yöntem ile tasarım tamamlanmıştır. Bu çalışmada Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsü içerisinde bulunan aydınlatma elemanları detaylı şekilde incelenmiş, envanteri çıkarılmış ve toplam güçleri hesaplanarak fizibilite raporu hazırlanmıştır. Aydınlatma besleme hatlarının on-grid, off-grid ve bataryalı güneş enerjisi sistemleri ile beslenmesi halinde alınacak sonuçlar ayrı ayrı incelenerek simülasyon ve hesaplama sonuçları ile kıyaslanmıştır. Alınan sonuçlar ile en verimli güneş enerjisi temelli sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarımı yapılmış ve performans sonuçları elde edilerek bu alanda yapılacak çalışmalara bir rehber niteliğine olması hedeflenmiştir. Sistemin sürdürülebilir ve akıllı kampüs hedeflerine yaptığı katkılar sonuç bölümünde ayrıntılı olarak izah edilmiştir.

### **Sivas İli Coğrafi ve İklim Özellikleri**

Sivas ili, geniş ve açık bir arazi yapısına sahip olması, marjinal tarım sahası sayısının çokluğu, orman ve mera vasfı taşıyan arazilerin nispeten az oluşu sebebiyle güneş

ve rüzgar enerjisi santralleri kurmak oldukça uygun coğrafi koşullara sahiptir. 2023 yılı itibariye Sivas'ta 100 MW üzeri kurulu güçte GES tesisi bulunmaktadır. Ancak bu güç Sivas güneş enerjisi potansiyelinin küçük bir kısmıdır. 2020 yılı itibariyle Sivas'ta kamu yatırımları ile faaliyete geçirilen güneş enerjisi santralleri sayısı hızla artmış ve yeni yatırımlar da devam etmektedir. İç Anadolu Bölgesinde yer almakta olup şiddetli karasal iklim etkisi altında olan ilde yeryüzü şekillerini ağırlıklı olarak ağırlıklı olarak platolar oluşturmaktadır. Coğrafi dağılımın % 47,6'sı platolar, % 46,2'si dağlar, %6,2'si ise ovalar oluşturur. Sivas'ın en büyük platosu Uzunyayla'dır. Türkiye güneş potansiyeli atlasına bakıldığında Sivas ilinin çoğunlukla 1600-1650KWh/m<sup>2</sup>-gün güneş radyasyonu değerine sahip olduğu, böylece güneş enerjisi santrali kurmak için uygun bir coğrafi kuşakta bulunduğu söylenebilir.[11]

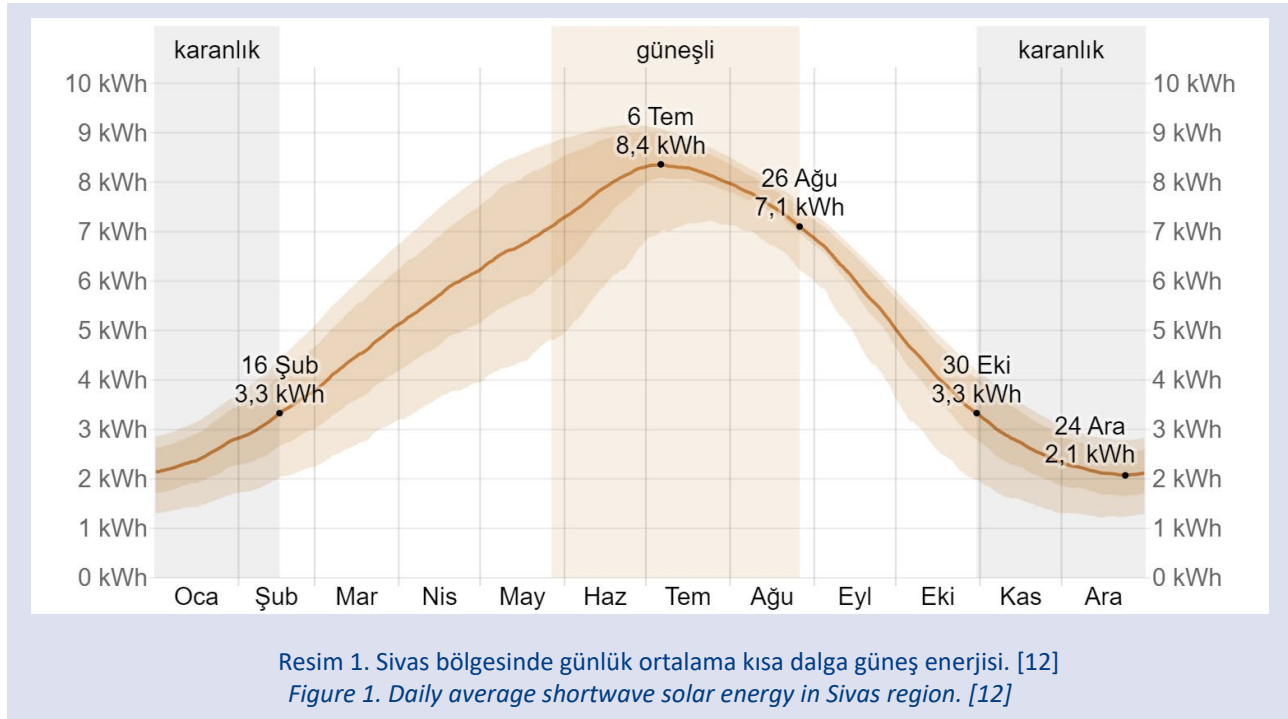
Sivas bölgesi coğrafi koordinatları 39,748° enlem, 37,016° boylam ve yüksekliği 1.287 metredir. Sivas bölgesinin 3 kilometre çapındaki topoğrafyada maksimum 137 metrelik yükseklik farkları bulunur. Deniz seviyesinden ortalama yüksekliği ise 1296 metredir. 16 kilometre çapında yükseklikteki değişimler 530 metreye kadar çıkabilmektedir. 80 kilometre çapında ise yükseklik değişimleri oldukça büyük varyasyonlar göstererek 2450 metrelere çıkabilmektedir.[12]

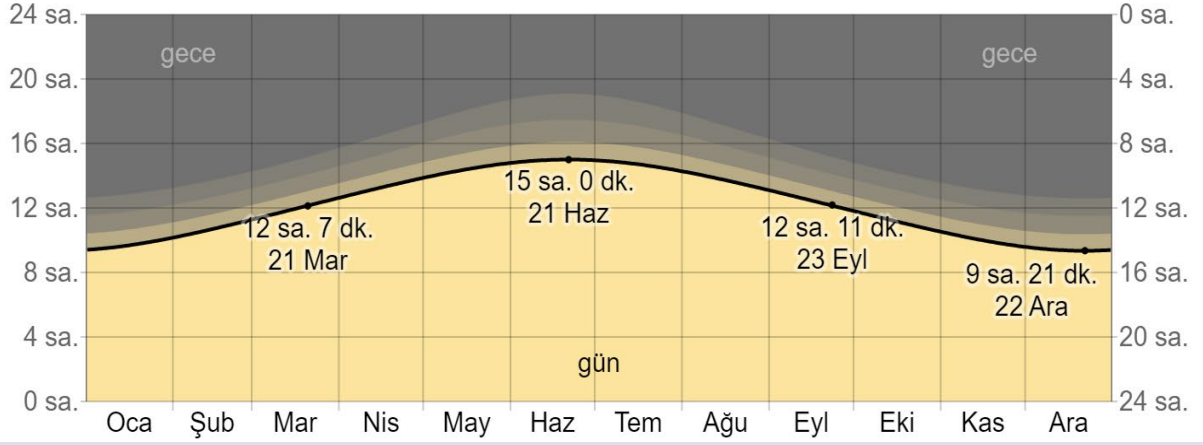
Sivas ilinin 3 kilometre çapı yakınındaki alanların %62'si yapay yüzeyler ve %35'i ekili arazi ile kaplıken, 16 kilometre çapı yakınındaki alanda ekili arazi %48

ve çayır arazisi %21 oranındadır. 80 kilometre çapı yakınındaki alanların ise %38'i ekili arazi ve %24'ü ağaçlar ile kaplıdır [12]. Sivas ili günlük kısa dalga güneş enerjisi yıl boyu farklılık gösterir. Geniş bir alan üzerinde yüzeye ulaşan toplam günlük kısa dalga güneş enerjisini ele alacak olursak ve günün uzunluğu, Güneşin ufuk çizgisi üstündeki yüksekliği, bulut ve diğer atmosferik bileşenler tarafından emilim üzerinde mevsimsel etkileri gibi faktörleri göz önünde bulunduramaz gerekecektir. Kısa dalga radyasyonu görünür ışın ve ultraviyole radyasyon içerir. Ortalama günlük kısa dalga güneş enerjisi yıl boyunca aşırı mevsimsel değişiklikler gösterir.[12]

Yılın daha güneşli dönemi olan 27 Mayıs - 26 Ağustos tarihleri arasındaki 3 aylık süreçte metrekaşe başına 7,1 kWh düzeyinin üstünde günlük ortalama kısa dalga enerjisi ulaşır. Temmuz ayında ise ve bu değer ortalama 8,2 kWh olmaktadır. Yılın daha karanlık olan dönemi 30 Ekim – 16 Şubat tarihleri arasında metrekaşe başına 3,3 kWh düzeyinin altında günlük ortalama kısa dalga enerjisi oluşur ve bu süreç 3,6 ay sürer. Sivas ilinde en karanlık ay Aralık ayıdır ve bu dönemde günlük ortalama kısa dalga enerjisi ortalama 2,1 kWh olmaktadır.[12]

Sivas gün uzunluğu yıl boyunca önemli ölçüde değişiklik gösterir. Yılın en kısa günü 22 Aralık tarihinde 9 saat 21 dakika gün ışığıyla gerçekleşirken en uzun günü ise 21 Haziran tarihinde 14 saat 59 dakika gün ışığıyla gerçekleşir.





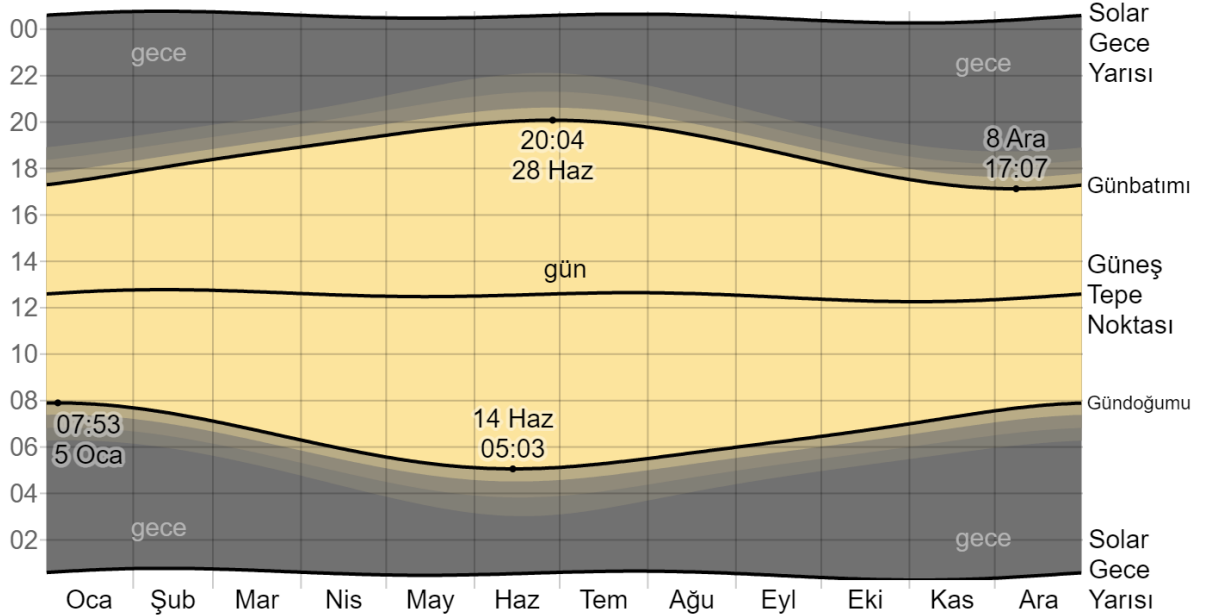
Resim 2. Sivas bölgesi seher ve tan saatleri. [12] (WeatherSpark.com, 2023) (Güneşin görünür olduğu saatlerin sayısı (siyah çizgi). En aşağıdan (en sarı) en yukarı kadar (en gri) renk bantları şunları ifade etmektedir: tam gün ışığı, tan (sivil, denizci ve astronomik) ve tam gece.

Figure 2. Sunrise and sunset times in Sivas region. [12] (WeatherSpark.com, 2023) (Number of hours when the sun is visible (black line). The colour bands from the lowest (yellowest) to the highest (greyest) indicate full daylight, full tan (civil, nautical and astronomical) and full night.

Çizelge 1. Sivas ili aylara göre gün ışığı süreleri.[12]

Table 1. Daylight hours according to months in Sivas province.[12]

Saatleri	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
Gün Işığı	9,7s	10,7s	12,0s	13,3s	14,4s	14,9s	14,7s	13,7s	12,4s	11,1s	10,0s	9,4s



Resim 3. Sivas İli Tan, Gün Doğumu ve Gün Batımı (2023 yılı boyunca güneş günü. Yukarıdan aşağıya siyah izgiler önceki solar gece yarısını, gün doğumunu, güneş tepe noktasını, gün batımını ve bir sonraki solar gece yarısını göstermektedir. Gün, tan (sivil, denizci ve astronomik) ve gece sarıdan griye renk bantlarıyla gösterilmektedir).[12]

Figure 3. Sivas Province Tan, Sunrise and Sunset (Solar day during the year 2023. From top to bottom, black lines indicate the previous solar midnight, sunrise, solar zenith, sunset, and the next solar midnight. Day, tan (civil, nautical and astronomical) and night are shown with yellow to grey colour bands).[12]

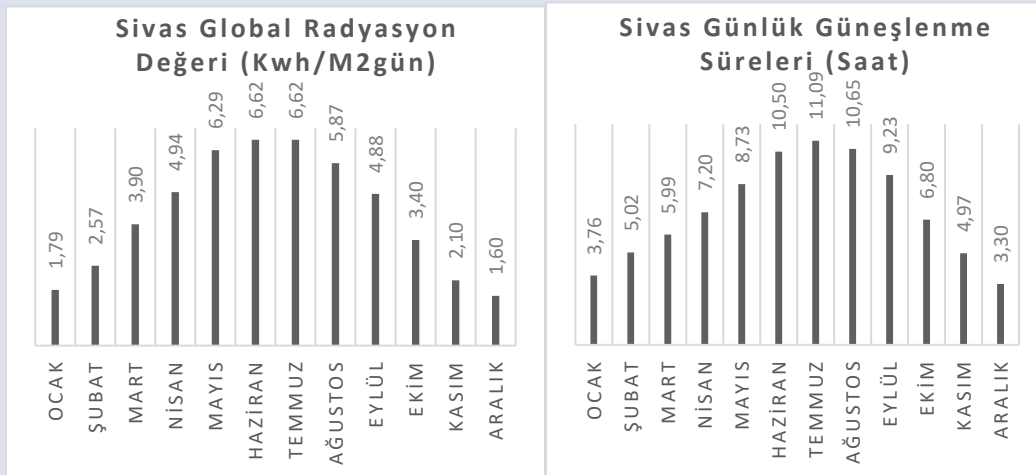
Çizelge.2 Sivas ili iklim verileri. [13]

Table 2. Sivas province climate data. [13]

SIVAS (1930- 2022)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)
Ocak	-3.4	0.9	-7.3	2.5	13.01	43.4
Şubat	-2.1	2.6	-6.2	3.5	12.16	39.3
Mart	2.6	8	-2.1	4.8	13.3	45.4
Nisan	9	15.3	3.1	6.3	13.29	56.1
Mayıs	13.5	20.1	6.9	8.1	13.86	60.4
Haziran	17	24.1	9.6	10.5	8.71	35
Temmuz	20	27.8	11.7	11.9	2.4	9.3
Ağustos	20.2	28.6	11.7	11.4	2.05	6.8
Eylül	16.2	24.6	8.1	9.4	4.24	17.8
Ekim	10.9	18.6	4.2	6.5	7.72	33
Kasım	4.7	10.8	-0.3	4.2	9.3	40.2
Aralık	-0.7	3.7	-4.3	2.5	12.2	44.2
Yıllık	9	15.4	2.9	6.8	112.2	430



Resim 4. Sivas ili güneş enerjisi potansiyeli atlası  
Figure 4. Sivas province solar energy potential atlas



Resim 5. Sivas ili global radyasyon değeri ve günlük güneşlenme süreleri  
Figure 5. Global radiation value and daily sunshine hours in Sivas province

En erken gün doğumu 14 Haziran tarihinde 05:03 saatindedir ve en geç gün doğumu ise 5 Ocak tarihinde 2 saat 50 dakika sonra 07:53 saatindedir. En erken gün batımı 8 Aralık tarihinde 17:07 saatinde ve en geç gün batımı 28 Haziran tarihinde 2 saat 57 dakika sonra 20:04 saatindedir.

Sivas güneş enerjisi potansiyeli atlasına bakıldığında ilin kuzeyinden güneye doğru inildikçe radyasyon değerinin arttığı ve güney bölgelerde daha verimli güneş enerjisi santrallerinin kurulmasının mümkün olduğu görülmektedir. Yaz aylarında 10 saatin üzerinde güneşlenme süresine sahip olan ilde açık gün sayısı da oldukça fazladır.

### Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsü Güneş Enerjisi Temelli Aydınlatma Sistemi Tasarımı ve Uygulaması

Kampüs alanı içerisinde bulunan mevcut cadde ve sokak aydınlatmalarının güneş panellerinden elde edilecek elektrik enerjisi ile çalıştırılabilmesi için üç farklı

yöntem araştırılacaktır. Bunlardan birincisi her bir aydınlatma direği üzerine yeterli güçte PV panel konularak, her bir aydınlatma direği için uygun güçte jel batarya ile enerjisinin kesintisiz olarak elde edilmesi sağlanacaktır. Bu yöntem ile kampüs aydınlatma direklerini besleyen enerji hattı iptal edilmiş olacaktır.

İkinci yöntemde, aydınlatma direklerini besleyen enerji hattı korunarak, bu hattın besleme çıkışları, tek bir merkezde toplanan off-grid bir mini güneş enerjisi santralinden beslenecek, böylece her bir aydınlatma direği için panel, şarj regülatörü ve batarya montajı yapmaktansa tüm sistem tek merkezde toplanacaktır.

Üçüncü yöntem ise, on-grid mini bir güneş enerjisi santrali kurarak sistemden aküleri çıkarmak, sistemi şebekeye bağlayarak çift yönlü sayaç ile ilgili elektrik dağıtım şirketi ile mahsuplaşma yoluna gitmektir.

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsü içerisinde bulunan aydınlatma direkleri envanteri Çizelge 3' de verildiği gibidir.

Çizelge 3. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsü içerisinde bulunan tek konsollu aydınlatma direkleri envanteri.  
Table 3. Inventory of single console lighting poles in Sivas Cumhuriyet University Campus.

Mahal Adı	70 W 6 Mt. Tek Konsol	60 W 4 Mt. Tek Konsol	60 W 4 Mt. Dairesel Led	80 W Tek Konsol Led	100 W 5 Mt. Led Dairesel	70/70 W 6 Mt. Çift Konsol	100 W Tek Konsol	125 W Led Tek Konsol
Lojmanlar-Nizamiye Ana Kavşak	24	20				1		23
Mihmandar Otel Yolu								5
Gençlik Merkezi			15		40		18	
Tıp Fak. İktisat Fak.- Mühendislik Dek.							7	
Rektörlük Çevre Aydınlatma			16	34				
Yüzme Havuzu Spor Sahası								27
Ana Yol		69		13			13	10
Eczacılık Fak.				10			26	
Hasbahçe				16			82	
Toplam Aydınlatma Elemanı Sayısı	24	89	31	73	40	1	146	65
Güçler Toplamı (Watt)	1.680,0 0	5.340,0 0	1.860,0 0	5.840,0 0	4.000,0 0	140	14.600, 00	8.125 ,00

Çizelge 4. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsü içerisinde bulunan çift konsollu aydınlatma direkleri envanteri.  
Table 4. Inventory of double console lighting poles in Sivas Cumhuriyet University Campus.

Mahal Adı	100/50 W 6mt. Çift Konsol	100/100 W Çift Konsol	80/80 W Çift Konsollu Led	125/125 W Led Çift Konsol	70/70 W 6 Mt. Çift Konsol
Lojmanlar-Nizamiye Ana Kavşak	132				1
Mihmandar Otel Yolu	20				
Tıp Fak. İktisat Fak.- Mühendislik Dek.	13	11			
Rektörlük Çevre Aydınlatma			5		
Yüzme Havuzu Spor Sahası				15	
Ana Yol	185	7			
Eczacılık Fak.		7			
Toplam Aydınlatma Elemanı Sayısı	350	25	5	15	1

Güçler Toplamı (Watt)	52.500,00	5.000,00	800,00	3.750,00	140,00
-----------------------	-----------	----------	--------	----------	--------

Çizelge 5. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsü içerisinde bulunan projektör aydınlatma direkleri envanteri.

Table 5. Inventory of projector lighting poles in Sivas Cumhuriyet University Campus.

Mahal Adı	100 W Led Projektör	150 W Led Projektör	250 W Led Projektör	200 W Led Projektör
Lojmanlar-Nizamiye Ana Kavşak			52	18
Mihmandar Otel Yolu				4
Sağlık Hizmetleri Otopark				6
Tıp Fak. İktisat Fak.- Mühendislik Dek.				10
İktisat Önü-Cüsem Arkası				12
Güzel Sanatlar Fak.				6
Cumhuriyet Parkı				6
Mühendislik Fak. Önü				6
Marangoz Atölyesi				6
Amfi Arkası				6
Yüzme Havuzu Spor Sahası				
Ana Yol		6		24
Eczacılık Fak.	6			
Hasbahçe				4
Toplam Aydınlatma Elemanı Sayısı	6	6	52	108
Güçler Toplamı (Watt)	600,00	900,00	13.000,00	21.600,00

Çizelge 6. Solar Led Armatür maliyetleri

Table 6. Solar Led Luminaire costs

ARMATÜR WATT DEĞERİ	ARMATÜR ADETİ	BİRİM FİYATI (TL)	TUTARI (TL)
100 W SOLAR LED	546	562.00	306,852.00
80 W SOLAR LED	83	941.00	78,103.00
125 W SOLAR LED	95	826.00	78,470.00
70 W SOLAR LED	26	941.00	24,466.00
40 W SOLAR LED	116	666.40	77,302.40
60 W SOLAR LED	120	850.00	102,000.00
100 W SOLAR LED PROJEKTÖR	6	1,535.33	9,211.98
150 W SOLAR LED PROJEKTÖR	6	1,209.50	7,257.00
250 W SOLAR LED PROJEKTÖR	52	1,499.00	77,948.00
200 W SOLAR LED PROJEKTÖR	108	1,209.50	130,626.00

Çizelge 3, Çizelge 4 ve Çizelge 5'teki aydınlatma güçleri toplamı 144.38 kWh'tir. Burada aydınlatma armatürlerinin çalışma süresi 12 saat alınmıştır. Bu durumda harcanan toplam enerji;

Güç x günlük çalışma saati

$$144,38 \text{ kWh} \times 12 \text{ h} = 1732,56 \text{ kWh}$$

Günlük 1732,56 kWh olacaktır. Sivas ili günlük güneşlenme süresi yaklaşık 7 saat alınarak hesaplanan günlük güneş enerjisi ihtiyacı ise;

Güç x günlük çalışma süresi / günlük güneşlenme süresi

$$144,38 \text{ kWh} \times 12 \text{ h} / 7 \text{ h} = 247,50 \text{ Kwp}$$

olarak hesaplanmıştır. Bu değer güneş panellerinin standart sıcaklık ve gün ışığında optimal koşullarda üretebildiği maximum güçtür.

Gerçek koşullarda optimum şartlara ulaşmak mümkün değildir. Panel kirliliği, olumsuz hava koşulları, modül sıcaklığı, invertör ve kablolamadan doğan enerji kayıpları gibi birçok faktör göz önüne alınarak güneş enerjisi sistemi tasarımı yapılmalıdır. PVsyst programı ile yapılan bir

simülasyon çalışmasında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi kampüs aydınlatması için gerekli olan yıllık 632.384,4 kWh enerji üretimine 380 kWp güçte bir güneş enerjisi santrali kurularak ulaşmanın mümkün olduğu görülmüştür. Kayıplar ideal kabul edilmiştir.

#### Yöntem 1. Solar Led Aydınlatma Uygulaması

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi kampüs alanı içinde bulunan led aydınlatma direklerinin enerji ihtiyacının solar paneller ile karşılanabilmesi için düşünülen ilk yöntem her bir konsol üzerine yeterli güçte bir solar panel ve batarya şarj regülatörü yerleştirmektir. Kampüs aydınlatma sistemi mevcut konsollar üzerine solar led aydınlatma montajı yapılarak revize edilmesi olarak açıklanabilecek bu yöntemde aydınlatma direklerini besleyen kuvvet hattını işlevsiz hale gelecektir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı maliyetinin yüksek olmasıdır. Çizelge 4'de görüldüğü üzere kampüs alanı içinde 1065 adet aydınlatma elemanı bulunmaktadır. Her birinin demontajı yapıp yerine solar

panel ve batarya sistemi montajı yapılması oldukça maliyetli bir yöntemdir. Ayrıca bu yöntemin ömrü on-grid bir GES sistemi kadar uzun olmadığından fayda-maliyet açısından uygun olmayacaktır.

Çizelge 6'ya göre toplam aydınlatma elemanı malzeme tutarı 2023 yılı fiyatları ile 892.296,38 TL'dir. 300.000,00 TL işçilik giderleri olarak hesaplandığında toplam değişim maliyeti 1.192.236,38 TL'dir. Kullanılan solar armatürün 45r kalitesine göre sistemin en az 5-8 yılda bir değişmesi gerekebilir. Yaz ve kış aylarında güneşlenme miktarı ve süresine göre aydınlatma verimi değişkenlik gösterir. Dahili batarya tam dolmadığı sürece gece aydınlatma kesintisiz sağlanamaz. Bu durumda armatürlerin tamamının solar led aydınlatma armatürleri ile değişmesi uygun bir yöntem olmayacaktır.

### Yöntem 2. Off- Grid Mini GES Uygulaması

Şebeken bağımsız (off grid) solar sistemler; ada tipi çalışan bağımsız sistemlerdir. Tüketilen elektrik sadece güneş panelleri tarafından üretilir. Kampüs aydınlatma sisteminin off-grid (şebekeden bağımsız) bir güneş enerji santrali ile sağlanması için tüketim fazlası bataryalar tarafından depolanır. Bu tür güneş / solar sistemler şebekeden uzak kullanımlar için daha uygundur. Güneş panelleri tarafından üretilen DC elektrik doğrudan kullanılır ve kullanım fazlası bataryalar aracılığıyla depolanır. Bir off-grid sistemi oluşturan temel bileşenler sırasıyla; güneş paneli, batarya, şarj regülatörü, invertörlerdir.

**Güneş paneli (PV):** Fotovoltaik modüller, güneş pillerinin paralel veya seri olarak bağlanması ile elde edilirler. İki güneş pili paralel bağlandığında, voltaj sabit kalırken akım iki katına çıkar, seri bağlandığında ise, akım sabit kalırken, voltaj iki katına çıkar. Bu şekilde, gerilimi 14-16 volta çıkarmak mümkündür. Fotovoltaik modüller, sert dış ortam şartları için tasarlanmaktadır. Güneş pillerinin ve elektriksel bağlantıların dış ortamdaki korunması için modüller kapsüllenirler. Fotovoltaik paneller, fotovoltaik modüllerin, paralel veya seri olarak bağlanması ile elde edilirler. Bu şekilde 12-600 V arasında gerilim elde etmek mümkün olabilmektedir.

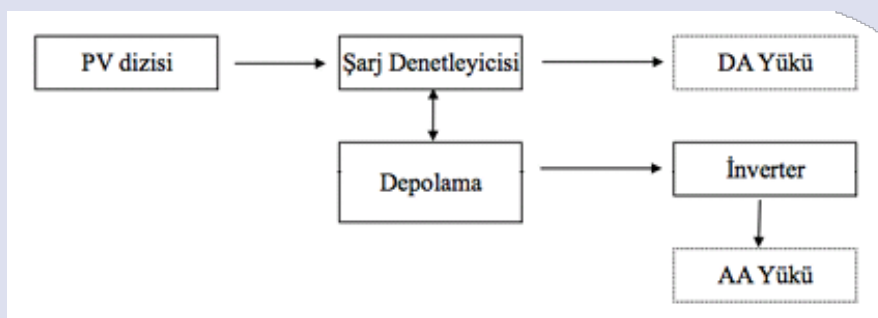
**Batarya:** Güneş panelinin ürettiği kullanım fazlası DC elektriği kimyasal enerji olarak depolayan elektro kimyasal bir ekipmandır. Şebekeden bağımsız (Off Grid) sistemlerde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta güneş enerjisi sistem tasarımı ve ihtiyaca göre belirlenecek olan depolamadır. Off-grid sistemlerde enerji depolamak için solar jel veya lityum bataryalar kullanılır. Solar jel ile lityum bataryalar arasındaki temel fark, lityum bataryaların solar jel bataryalara kıyasla daha uzun ömürlü oluşudur. Solar jel bataryalar doldur-boşalt döngü sayısında belirli bir ömre sahiptir. Bu kullanıma bağlı olarak yaklaşık 5-6 yıl civarındadır. Bu süre sonrasında batarya ömrü ve verimlerinde azalma olacağı için bataryaların sistem içerisinde yenilenmesi gerekir. Solar jel bataryalar lityum bataryalara göre daha düşük kapasiteye sahip olabilmektedir. Lityum bataryalar ise solar jel bataryalara kıyasla çok daha uzun ömürlüdür.

**Şarj regülatörü:** Solar panellerinden gelen akımı ve gerilimi (voltajı) "regüle" ederek (dengeleyerek) bataryaların aşırı derecede şarj edilmesini engelleyen cihazdır.

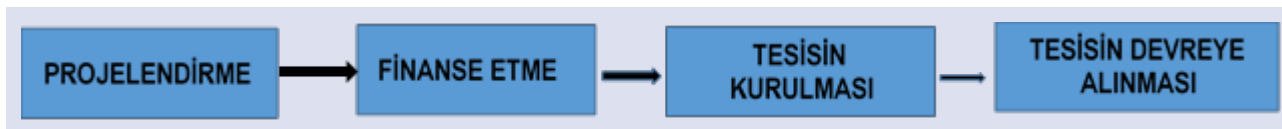
**Invertör:** Invertörler, doğru akımı alternatif akıma çeviren elektronik cihazlardır. Kapasitelerine göre belirli DC voltaj aralıklarına göre çalışmaktadırlar. Bu voltaj değerlerine göre de batarya bağlantısı ve bu bataryaları şarj etmek için de panel kablo bağlantıları ayarlanır. Off-grid solar invertörler 1000VA-5000VA arasında olabilmektedir. Invertörler ayrıca birbirleriyle paralellenerek güçleri arttırılabilir.

Aşağıda bir off-grid solar sistemin basit bir şeması verilmiştir. Solar panellerden elde edilen DC güç şarj kontrol ünitesi vasıtasıyla bataryalarda depolanır, enerjiye ihtiyaç duyulan durumlarda akülerden DC güç çıkışı alınır, AC güç için ise invertörler vasıtasıyla güç çıkışı verilir.

Off-grid bir solar sistem kurmak için herhangi bir elektrik iletim dağıtım kurumuna başvuru yapılması, proje onayı alınması ya da kurulumu yapılan tesisin kabul işlemlerinin gerçekleştirilmesi gerekmez. Yeterli finansman ve sistemi kurmak için proje mevcut ise kurulumu hızlı bir şekilde gerçekleştirerek sistem devreye alınabilir. Off-grid bir sistemin iş akış şeması aşağıdaki görülmektedir.



Resim 6. Bağımsız PV Sistemlerinin Şematik Çizimi  
Figure 6. Schematic Drawing of Standalone PV Systems





Resim 7. Off-Grid Sistem Blok Diyagramı  
Figure 7. Off-Grid System Block Diagram

Şebekeden Bağımsız (Off Grid) Solar Sistemlerin Avantajları, Dezavantajları ve Kullanım Yerleri:

- Elektrik iletim hattından uzak veya olmadığı durumlarda iletim hattına bağlanmaya kıyasla daha ekonomik bir uygulamadır.
- Elektrik hattının bulunduğu alanlarda akülü bir sistem kurulması ekonomik değildir. Bu nedenle off grid sistemlerin kurulduğu yerler elektrik hattın uzak yerlerdir.
- Yakıt veya iletim/dağıtım maliyeti yoktur.
- Enerjinin DC olarak taşınması esnasında, mesafe arttıkça kaybedilen enerji miktarı oldukça önemli miktarlara ulaşabilmektedir. Bu nedenle kullanılacak cihazların (güneş paneli-batarya-inverter) aralarındaki mesafe minimum olmalıdır. Buna ek olarak uygun kesitte kablo kullanılmalıdır.
- Kurulum için ilgili kurumlara başvuru, bağlantı görüşü, proje onayı, tesis kabul işlemi gibi süreçlere ihtiyaç duymaz, sistem kullanıcı tarafından projelendirilip tesis kurularak kullanıma alınabilir.
- Üretilen fazla enerji bataryalarda depolanır, panellerden daha az enerji üretilmesi durumunda bataryada depolanan enerji kullanılır.
- Kampüs aydınlatma sistemi özelinde;
- Her bir aydınlatma konsolu üzerinde tek tek çalışmaktansa, sistem tek merkezde toplanarak daha az işçilikle tesis kurulabilir.
- Daha büyük güçte daha az sayıda batarya kullanılarak sistem bileşen sayısı azaltılmış olur. Böylece daha az karmaşık bir sistem şeması oluşturulur.

- Sistemde arıza olması durumunda daha çok alan etkilenir.

Off-Grid sistemi çok fazla bakım gerektirmez. Enerji üretiminin sağlıklı sürdürülebilmesi adına kışın kar güneş panellerinden mümkün olduğunca uzak tutulmalıdır. Bataryalar ayda bir kontrol edilmelidir (en sık bozulan tip olan normal derin döngülü sulu kurşun asitli aküler için). Bataryaların kontrol edilmesi, gerekirse sıvı seviyesinin damıtılmış suyla doldurulması, güneş paneli dışındaki cihazların mümkün olduğunca kapalı ve havalandırılabilen ortamlarda muhafazalı olarak bulundurulması ve temizliklerine dikkat edilmesi ve en önemlisi kullandığınız cihazların uzun ömürlü olabilmesi için kullanma kılavuzlarının dikkatlice okunarak belirtilen kurallara uyulması önemlidir.

Cumhuriyet üniversitesi kampüsü aydınlatma kuvvet planı incelendiğinde, aydınlatma armatürlerinin 42 ayrı noktadan beslendiği görülmektedir.

Off-grid GES tasarımı yapabilmek için kuvvet planında revize yapılması, birçok mahallin birleştirilerek tek bir besleme hattına bağlanması ya da ana besleme hattı sayısının minimize edilmesi gerekmektedir. Söz konusu bu imalatlar zaman, maliyet ve işçilik açısından uygun olmayacağından Sivas Cumhuriyet Üniversitesi kampüs aydınlatması off-grid GES tasarımı fizibilite analizine göre uygun değildir sonucuna varılmıştır.

Çizelge 7: Cumhuriyet Üniversitesi kampüs aydınlatma planı besleme noktaları  
Table 7. Cumhuriyet University campus lighting plan supply points

MAHAL ADI	BESLEME HATTI SAYISI (Pano Besleme Noktası)
Gençlik Merkezi Çevresi	2
Lojmanlar-Nizamiye	7
Bankalar- Müh. Fakültesi Yolu	9
Mihmandar Otel Yolu	1
Anayol Aydınlatma	12
Eczacılık Fak.-Sağlık Bil. Fak.	2
Hasbahçe	2
Yüzme Havuzu-İletişim Fak.	2
Rektörlük	1
Amfi Arkası	1
Güzel Sanatlar Fak.	1
Cüsem	1
Sağlık Hizmetleri Otopark	1

### Yöntem 3. On-Grid Sistem:

Şebekeyle bağlantılı (on grid) solar sistemler; solar paneller tarafından tutulan elektriği depolamadan üretildiği yerde satılması veya tüketilmesi prensibine dayalı olarak çalışmaktadır. Bu tür solar sistemler evsel kullanım veya yüksek güçte santral sistemlerinde kullanılır.

Güneş panelleri tarafından üretilen DC elektrik, merkezi şehir sistemine bağlı yüksek çevrim gücü olan invertörler ile doğrudan şebekeye iletilir. Bir On-grid GES sisteminin bileşenleri şu şekildedir:

#### Güneş Paneli

On grid Solar sistemlerde güneş panelleri elektriği ürettiği ve şebekeye ilettiği için panellerin voltaj değerleri önemlidir. İnverterlerin çalışabileceği voltaj bandına göre paneller bağlanmalıdır. Panellerin güç değerine göre voltaj ve akımın değiştiği unutulmamalıdır.

#### İnverter

İnverter, şebekeye bağlı sistemlerin ana parçasıdır. Güneş panellerinden alınan DC elektriği AC elektrik enerjisine dönüştürür. İnverterlere data logger bağlanarak ürettiği elektrik gücünü cep telefonundan takip edebilmektedir.

### Çift Yönlü Elektrik Sayacı

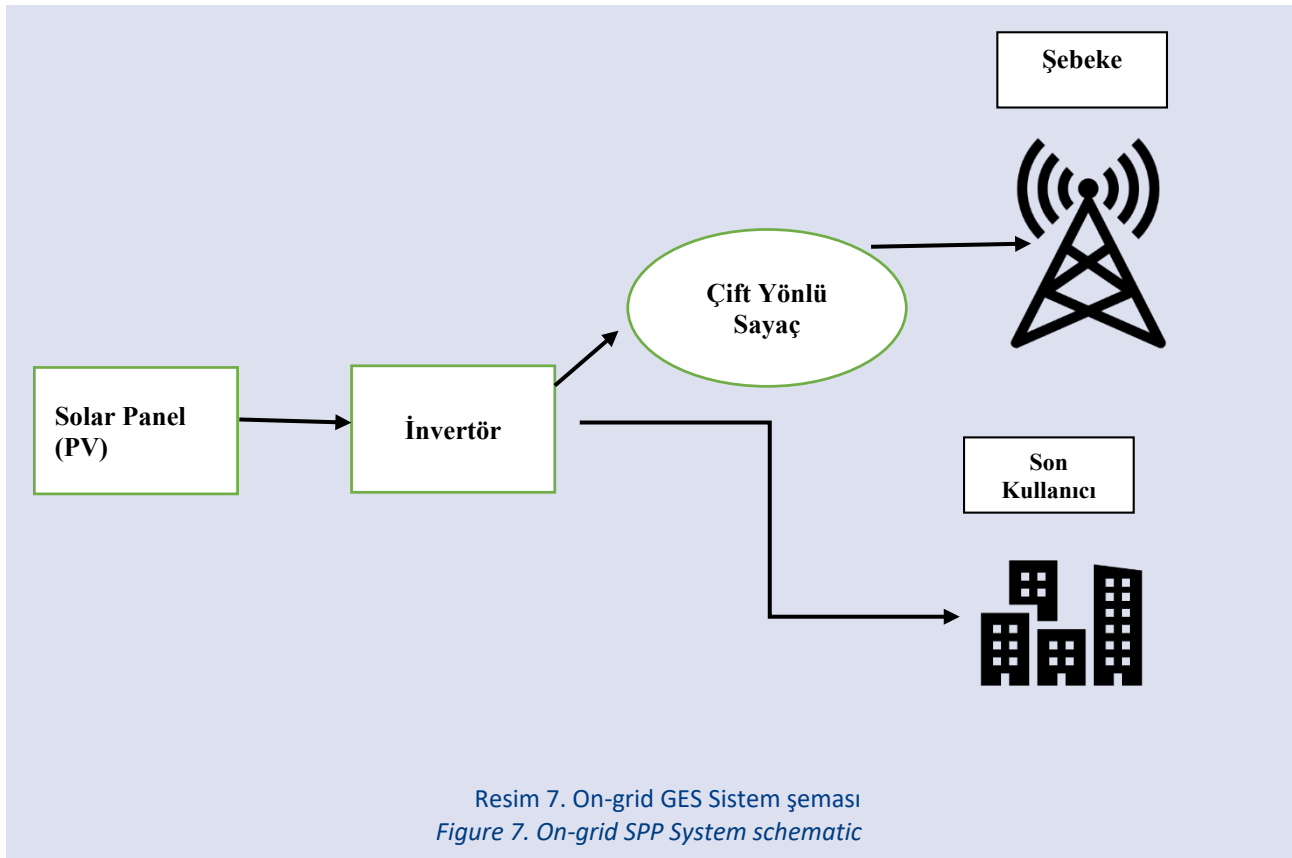
Çift yönlü elektrik sayaçları, tek yönlü elektrik sayaçları gibi şebekeden gelen elektriği konuta iletir. Tek yönlü sayaçtan farkı ise harici bir yerden üretilen elektriği de elektrik şebekesine iletmesidir.

### Şebekeye Bağlı (On Grid) Sistemlerin Avantajları ve Kullanım Yerleri

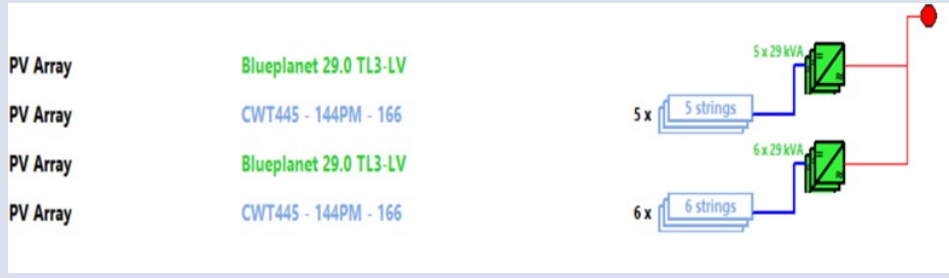
Sistemde depolama birimleri kullanılmayacağı için depolama için ayrıca ek bir maliyet olmaz. Üretilen enerji şebekeye bağlı olduğu için aynı zamanda üretilen enerji yetmediğinde şebeke devreye girecek ve enerji eksiksiz olarak yükü besleyecektir. Sistem tasarımı yapılırken, yükün tamamını karşılanması gibi bir zorunluluk olmadığı için esnek kurulum maliyetine ve tasarımla sahiptir. Elektrik faturasını düşürmek, ek gelir elde etmek isteyen şehir hatlarına yakın evsel kullanıcılar için tavsiye edilir.

### Kampüs Aydınlatması On-Grid GES Uygulaması

Hesaplama sonuçlarına göre, 1859 m<sup>2</sup> modül olanı olan 380 kWp gücünde bir güneş enerjisi santrali için kampüs sınırları içinde birisi 9626,27 m<sup>2</sup>, diğeri 11.275,74 m<sup>2</sup> büyüklükte iki alan seçilmiştir. Sistem her iki alana da gölgeleme olmaksızın kurulabilir.



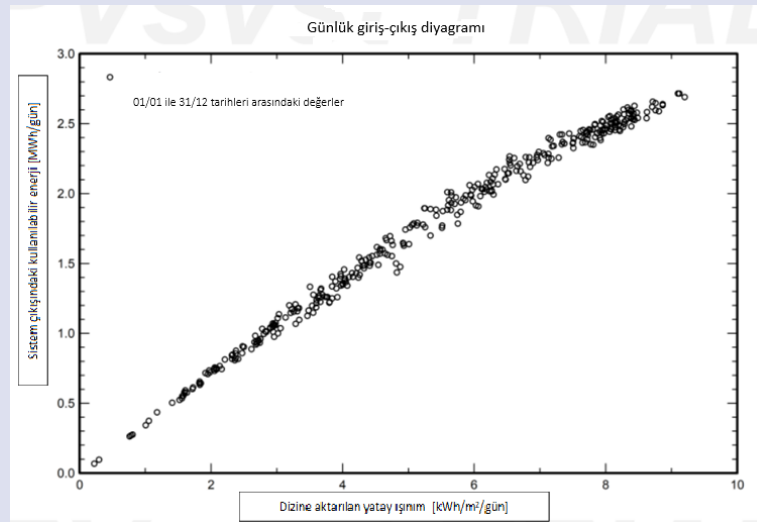
Resim 7. On-grid GES Sistem şeması  
Figure 7. On-grid SPP System schematic



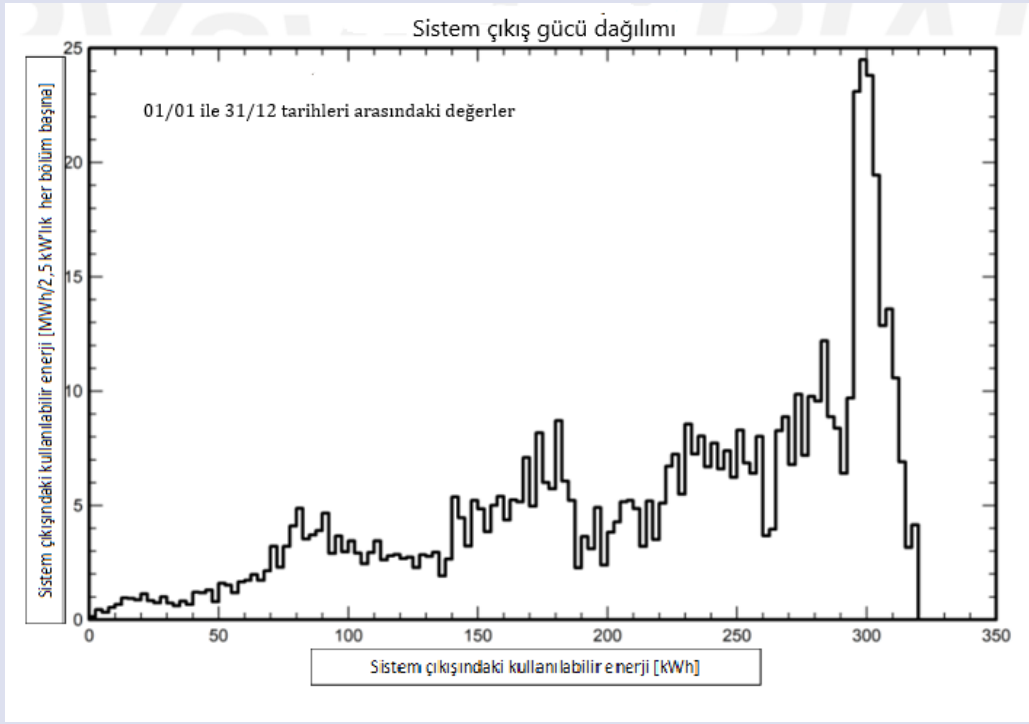
Resim 8. Simülasyon ile oluşturulmuş sistem diyagramı  
Figure 8. System diagram generated by simulation

Çizelge 8. PVsyst Simülasyon sonuçları  
Table 8. PVsyst Simulation results

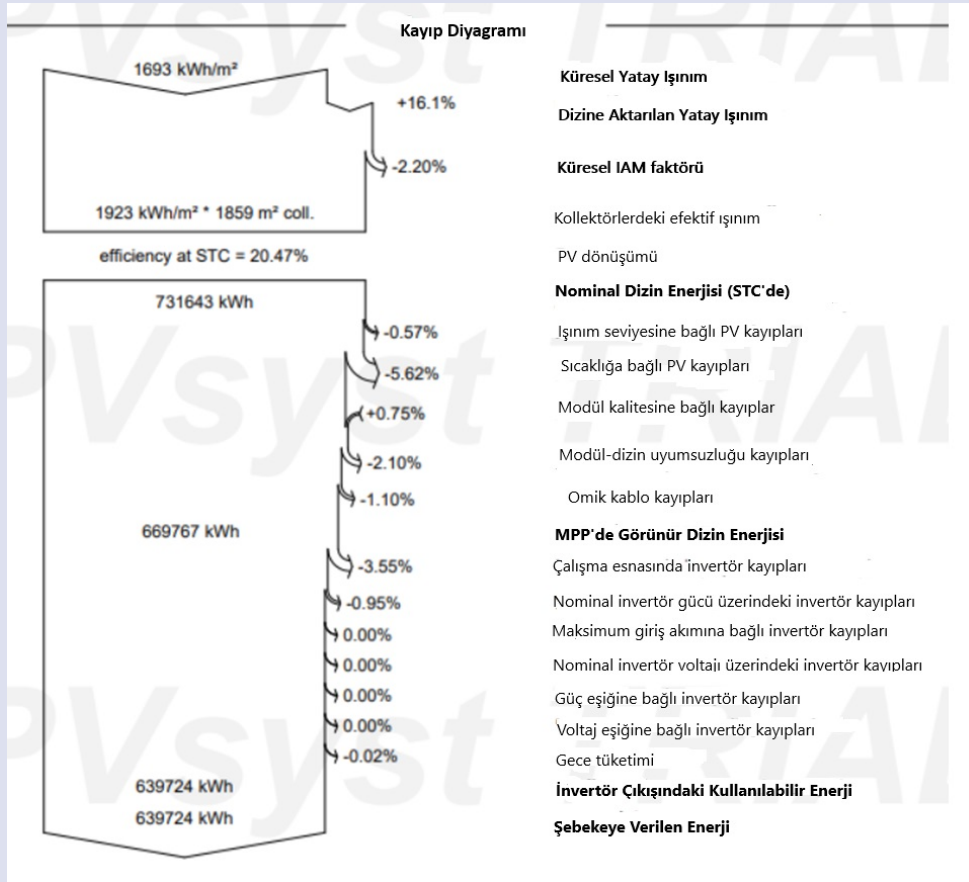
Temel Sonuçlar								
	Yatay Küresel Işınım kWh/m <sup>2</sup>	Yatay Difüz Işınım kWh/m <sup>2</sup>	Ortam Isısı °C	Dizine İsalet Eden Işınım kWh/m <sup>2</sup>	Kolektör Üzerindeki Küresel Işınım kWh/m <sup>2</sup>	Dizi Çıkışında Efektif Enerji kWh	Şebekeye Aktarılan Enerji kWh	Performans Oranı
Ocak	62,70	29,78	- 3,81	99,60	97,70	36.866,00	35.526,00	0,94
Şubat	85,30	34,80	- 2,13	122,00	119,90	44.075,00	42.462,00	0,92
Mart	124,80	49,64	3,42	156,30	153,20	54.365,00	52.377,00	0,88
Nisan	159,80	61,45	8,42	173,30	169,40	58.515,00	56.381,00	0,86
Mayıs	196,20	71,65	13,04	193,60	188,50	64.323,00	62.015,00	0,84
Haziran	219,30	65,31	16,77	206,50	200,90	67.361,00	64.919,00	0,83
Temmuz	219,90	61,55	20,52	210,80	205,20	67.431,00	65.002,00	0,81
Ağustos	207,90	56,69	21,10	219,30	214,30	70.337,00	67.830,00	0,81
Eylül	165,50	43,23	16,34	198,90	195,00	64.346,00	62.035,00	0,82
Ekim	115,20	42,57	10,84	158,60	155,70	54.043,00	52.117,00	0,86
Kasım	75,50	29,02	4,40	120,90	118,90	42.964,00	41.426,00	0,90
Aralık	60,80	25,80	- 1,30	106,20	104,10	39.037,00	37.635,00	0,93
Yıllık	1.693,00	571,50	9,03	1.965,90	1.922,60	663.663,00	639.724,00	0,86



Resim 9. Simülasyon sonucu günlük enerji giriş/çıkış diyagramı  
Figure 9. Daily energy input/output diagram as a result of simulation



Resim 10. Simülasyon sonucu sistem çıkışı güç dağılımı  
Figure 10. System output power distribution as a result of simulation



Resim 11. Simülasyon sonucu sistem kayıp diyagramı  
Figure 11. System loss diagram as a result of simulation

## Sonuç:

Bu çalışmada, üç farklı yöntemin kıyaslaması ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi sürdürülebilir kampüs aydınlatmasının güneş enerjisi temelli bir sistem ile beslenmesinin en verimli sonucunun, kampüs besleme noktalarına yakın bir lokasyona 380 kWp gücünde şebeke bağlantılı (on-grid) bir güneş enerjisi santrali kurulması olduğu görülmüştür. Aydınlatma elemanlarına herhangi bir fatura bedeli ödenmemesini sağlayacak olan bu sistem sayesinde kampüsün sürdürülebilirliğine katkıda bulunmuş olacaktır. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilirlik amaçlarından Erişilebilir ve Temiz Enerji, Sürdürülebilir şehirler ve Topluluklar, Sorumlu Üretim ve Tüketim başlıklarında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi'ne katkı sağlayacak olan bu yapı sayesinde karbon emisyonu da azaltılmış olacaktır. Depolama sistemi başlığına da katkıda bulunulmuş olacaktır. Depolama sistemleri bulunan diğer yöntemler şebekeden bağımsız çalıştığı için sistem güvenilirliğini ve sürekliliğini sağlama konusunda on-grid bir sistem kadar iyi olmayacaktır. Kampüs alanı 24 saat boyunca kesintisiz olarak aydınlatılması gereken bir mahal olduğundan sistemin kesintisiz ve güvenilir olarak sürdürülebilmesi önemlidir.

Kampüs alanı içinde gölgeleme olmaksızın yeterli büyüklükte bir tesisin kurulabileceği alanlar mevcuttur. PVsyst simülasyonu sonuçlarında da görüleceği gibi uygulanacak güneş enerjisi santralinin performans değerleri oldukça yüksek olup, uygulanabilir sonuçlar elde edilmiştir.

## Kaynakça:

- [1] W. Sutopo, I. S. Mardikaningsih, R. Zakaria, and A. Ali, "A model to improve the implementation standards of street lighting based on solar energy: A case study," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 3, 2020, doi: 10.3390/en13030630.
- [2] I. M. A. Nugraha and I. G. M. N. Desnanjaya, "Technical, economic and social feasibility of using solar street lighting on campus," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, vol. 14, no. 3, pp. 1731–1738, Sep. 2023, doi: 10.11591/ijpeds.v14.i3.pp1731-1738.
- [3] N. E. Geyik, "Tamamen Yenilenebilir İlk Güneş Enerjili Yapı Örnekleri: Masdar Şehri ve Masdar Bilim ve Teknoloji Enstitüsü Kampüsü First Completely Renewable Solar Energy Building Examples: Masdar City and Masdar Science and Technology Institute Campus."
- [4] O. Prakash, S. Kumar, and P. Kumar, "Applications of solar Photovoltaic's to power stand-alone area and street lighting," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1104, no. 1, p. 012030, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1104/1/012030.
- [5] N. Noel, N. Leonidas, and B. M. Petrovich, "Improved design and recommendations for street lighting in Gitega city," *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, vol. 5, no. 6. ASTES Publishers, pp. 1356–1365, 2020. doi: 10.25046/aj0506163.
- [6] A. M. ATEŞ, Ö. KESTANE, and K. ULGEN, "Üniversite Binalarının Enerji Performans Değerlendirmesi: MCBÜ Köprübaşı Meslek Yüksekokulu Örneği," *Mühendis ve Makina*, vol. 62, no. 704, pp. 534–555, Sep. 2021, doi: 10.46399/muhendismakina.912893.
- [7] Khan Imran, Halder Pobitra, Moznuzzaman Md., and Sarker Eity, "Renewable Energy Applications in the University Campuses: A Case Study in Bangladesh," *2021 5th International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT)*, pp. 1–6, 2021.
- [8] S. O. Oyedepo, E. G. Anifowose, E. O. Obembe, and S. Khanmohamadi, "Energy-saving strategies on university campus buildings: Covenant University as case study," *Energy Services Fundamentals and Financing*, pp. 131–154, Jan. 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-820592-1.00006-3.
- [9] S. Passago, C. Yodying, W. Monatrakul, and T. T. Santiboon, "Research and development of renewable energy: Prototype of LED street lighting from solar energy," 2020.
- [10] E. Oraz, P. Candidate, and H. Sözer, "Critical Saving Exposed by Investigating Energy Efficiency Performance and Retrofitting Measures in University Campus Buildings A Comprehensive Case Study." [Online]. Available: <https://ssrn.com/abstract=4580492>
- [11] "Wikipedia," Wikimedia Foundation, Inc.
- [12] "WeatherSpark.com."
- [13] "Meteoroloji Genel Müdürlüğü," Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü.



## The Distribution of Facies of Oligocene Aged Siliciclastic-Carbonated Lacustrine Sequence and its Depositional Processes, Sivas Basin

Özgen Kangal<sup>1,a,\*</sup>, Levent Karadenizli<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 58140 Sivas, Türkiye

<sup>2</sup> MTA (Maden Tetkik ve Arama) Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütler Dairesi, 06530, Ankara, Türkiye

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 15/11/2024

Accepted: 27/11/2024

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

### ABSTRACT

This study was carried out in the Oligocene siliciclastic-carbonated lacustrine sequence that crops out approximately 25 km southeast of Gemerek in the western part of the Sivas Basin and aimed to reveal the depositional processes of the sequence. In the study carried out with the facies analysis method, 12 facies were distinguished. These are: Massive-disorganized conglomerate (F1); graded-matrix-supported conglomerate (F2); cross bedded- grain supported conglomerate (F3); large scale cross bedded- pebbly sandstone (F4); tabular cross-bedded sandstone (F5); parallel bedded sandstone (F6); well sorted-bedded sandstone (F7); massive-pebbly mudstone (F8); laminated claystones-marl (F9); bedded limestone (F10); brecciated limestone (F11) and limestone clasts (F12) facies.

The association of these distinguished facies reflects the existence of three closely related sub-environments: (1) alluvial fan and fluvial (2) coastal lacustrine and (3) lacustrine environments.

This lithological and environmental diversity is provided by the coastal line movements controlled by climate and tectonism and the biochemical changes in the lake water. Reflecting a semi-arid climate and shallow water conditions, the lake was dominated by alluvial fans, fan deltas and delta processes that carried clastic material into the lake during periods when the water level dropped and intense weathering and erosion took place in terrestrial areas. In the reverse process, as a result of the rise in the lake level, the material that filled the lake was reprocessed and formed sand bars. During periods when there was no land-based debris input into the lake, carbonate sedimentation was effective and carbonate banks were able to develop.

**Keywords:** fluvio-lacustrine facies; siliciclastic-carbonate; Sivas Basin.

## Sivas Havzası, Oligosen Yaşlı Silisiklastik-Karbonatlı Göl İstifindeki Fasiyeslerin Dağılımı ve Çökelim Süreçleri

#### Süreç

Geliş: 15/11/2024

Kabul: 27/11/2024

### Öz

Bu çalışma, Sivas Havzası'nın batı kesiminde, Gemerek'in yaklaşık 25 km. güneydoğusunda yüzeyleyen Oligosen yaşlı kırıntılı-karbonatlı gölsel istifte yapılmış ve istifin çökelim süreçlerini ortaya konması amaçlanmıştır. Fasiyes analizi yöntemiyle yürütülen çalışmada, 12 fasiyes ayrılmıştır. Bunlar: Masif, organize olmamış çakıltası (F1); dereceli, matris destekli çakıltası (F2); çapraz tabakalı, tane destekli çakıltası (F3); büyük ölçekli çapraz tabakalı çakıllı kumtaşı (F4); düzlemsel çapraz tabakalı kumtaşı (F5); paralel tabakalı kumtaşı (F6); iyi boylanmış, tabakalı kumtaşı (F7); masif, çakıllı çamurtaşı (F8); laminalı kumtaşı-marl (F9); tabakalı kireçtaşı (F10); breşleşmiş kireçtaşı (F11) ve kireçtaşı kırıntıları (F12) fasiyesleridir.

Bu fasiyeslerden, kökensele olarak benzerlik sunanlarla oluşturulan fasiyes toplulukları, birbirleri ile yakın ilişkili üç alt ortamın varlığını yansıtmaktadır. Bunlar (1) alüvyal yelpaze ve akarsu (2) göl kıyısı ortamları ve (3) göl içi ortamlarıdır.

Bu litolojik ve ortamsal çeşitlilik, iklim ve tektonizmanın denetlediği kıyı çizgisi oynamaları ve göl suyundaki biyokimyasal değişimlerle sağlanmıştır. Yarı kurak bir iklim ve sığ su koşullarını yansıtan gölde, su düzeyini düşüğü ve karasal alanlarda yoğun ayrışma-kazınmanın gerçekleştiği dönemlerde, kırıntılı malzemeyi göl içine taşıyan, alüvyal yelpaze, yelpaze deltası ve delta süreçleri egemen olmuştur. Tersine işleyen süreçlerde ise göl düzeyindeki yükselmeler sonucunda, göl içine dolan malzeme yeniden işlenerek kum barlarını oluşturmuştur. Karadan kırıntı getiriminin olmadığı dönemlerde ise karbonat çökelişi etkin olup, karbonat bankaları gelişebilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** akarsu-göl fasiyesleri; silisiklastik-karbonat, Sivas Havzası

okangal@cumhuriyet.edu.tr

0000-0002-3357-3193

levent.karadenizli@gmail.com

0000-0002-8012-0779

**How to Cite:** Kangal Ö, Karadenizli L (2024) The Distribution of Facies of Oligocene Aged Siliciclastic-Carbonated Lacustrine Sequence and its Depositional Processes, Sivas Basin, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 166-175

## Giriş

Silisiklastik-karbonat geçişli göller, iklimsel ve tektonik süreçlerin çökelimdeki etkilerini belirgin olarak yansıtan ortamlardır. Bu çalışmanın konusunu oluşturan silisiklastik-karbonat geçişli göl istifi, Sivas Havzası'nın GB kesiminde, Gemerek'in yaklaşık 25 km. güneydoğusunda yer alır (Şekil 1, 2). Bölgede Oligosen yaşlı karasal istif geniş yüzleklere ve büyük bir kalınlığa sahiptir. İstifin asıl bölümünü, kırmızı renkli akarsu çökelleri oluşturur (Altınyayla Formasyonu) [1]. Bu çalışmaya konu olan yaklaşık 200 m kalınlığındaki gösel çökeller ise akarsu çökellerinin üzerinde ve onlarla yanall geçişli olarak bulunur. İçerdiği karbonat kayaçlarla arazide belirgin olarak izlenebilen bu gösel istif, Tekeli ve diğ. [2] tarafından Malak formasyonu olarak adlandırılmış ve Miyosen yaşlı önerilmiştir. Paleontolojik çalışmalarla Oligosen yaşlı saptanan [3, 4] istif için Malak Formasyonu adlanması bu çalışmada da benimsenmiştir. Silisiklastik-karbonat geçişli bu gösel istifin sedimantolojik incelemesi ve çökelim koşullarının ortaya konması, bu çalışmanın başlıca konusunu oluşturmaktadır.

Bu amaçla istif, en iyi yüzlek verdiği ve fasiyes/ortam geçişlerinin belirgin olarak gözlemlendiği Hayriye köyü yakınlarında, 210 m. lik bir ölçülü kesitte incelenmiştir. Fasiyes analizi niteliğinde yürütülen ölçülü kesit alımında, 12 fasiyes belirlenmiş, fasiyeslerin yanall ve düşey dağılımlarından 3 tane fasiyes topluluğu saptanmıştır. Bunlar; i) alüvyal yelpaze ve örgülü akarsu ortamları; ii) göl kıyısı ortamları (yelpaze deltası, delta, kıyı yakını kum barları, karbonat bankları) ve iii) göl içi

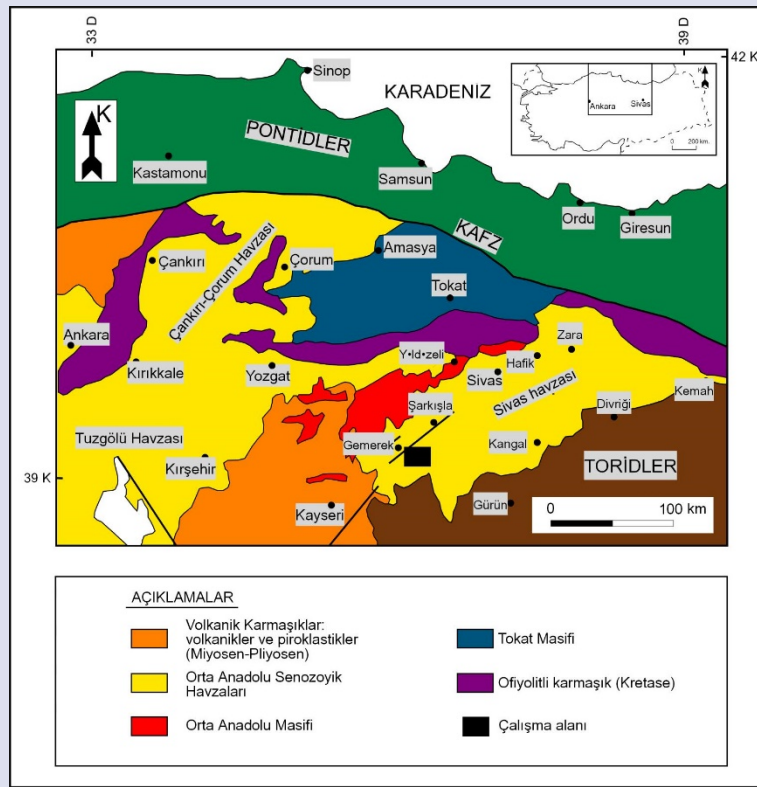
ortamlardır. Bu toplulukların birlikte değerlendirilmesi ile depolanma ortamı ve etkili olan süreçler ortaya konmuştur.

## İnceleme Yöntemleri

Bu çalışma, arazi ve mikroskop çalışmaları olmak üzere iki aşamada yürütülmüştür. Arazi çalışmalarında uygulanan başlıca yöntem, ölçülü stratigrafik kesit alımıdır. Kesit ölçümünde çelik şerit metre metodu tercih edilmiştir. Fasiyes tanımlamalarında, alüvyal yelpaze ve akarsu ortamları için Miall [5]; yelpaze deltası-delta ortamları için Nemec ve Steel [6]; Mc Pherson vd. [7] ve Postma [8]; göl ortamları için Talbot ve Allen [9]; karbonatlar için Platt ve Wright [10] ölçütleri kullanılmıştır. Fasiyes tanımlamaları esas olarak, tek tabaka incelemeleri, birincil ve ikincil tortul yapı araştırmaları ve tane boyu analizlerine dayandırılmış, mikroskop ölçeğinde yürütülen mineralojik-petrografik analizlerle de desteklenmiştir.

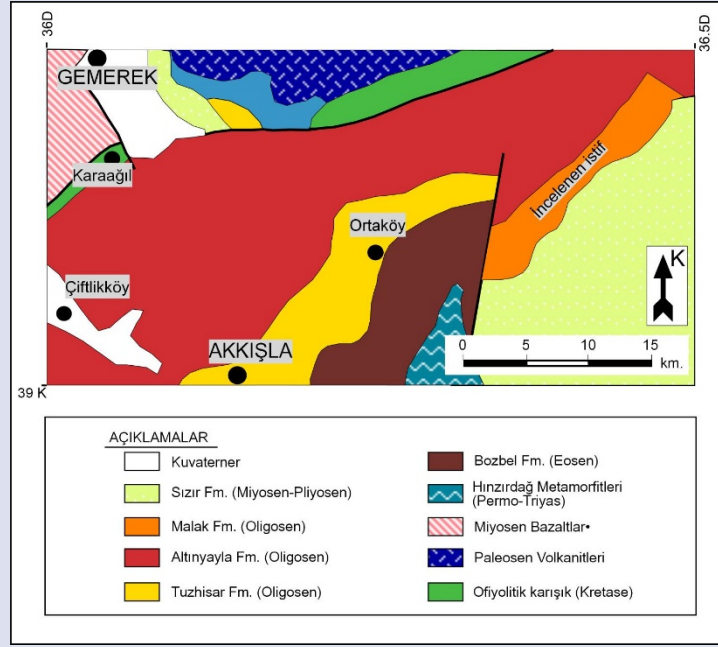
## Bölgesel Jeoloji Ve Stratigrafi

Çalışma alanının içerisinde yer aldığı Sivas Havzası, Orta Anadolu Senozoyik havzalarından biridir. Diğer Orta Anadolu havzaları (Çankırı-Çorum, Haymana-Polatlı ve Tuz Gölü havzaları) gibi, Sivas Havzası'nın gelişiminde başlıca belirleyici olay Geç Kretase'den itibaren Neotetis'in kuzey kolunun kapanmaya başlamasıdır [11]. KD-GB yönünde uzanan ve doğuya doğru daralarak kapanan havza Kuzeyde Pontid kuşağı, güneyde Torid kuşağı ve batıda Kırşehir masifiyle sınırlanmıştır (Şekil 1).



Resim 1. Sivas Senozoyik Havzası'nın ve çalışma alanının konumu (1: 2.000.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritasından (MTA) yalınlaştırılmıştır).

Figure 1: Location of Sivas Cenozoic Basin and study area (simplified from Geological Map of Turkey; 1: 2.000.000 in scale, MTA).



Resim 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (1:500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritasından (MTA) yalınlaştırılmıştır)  
Figure 2: Geological maps of study area (simplified from Geological Map of Turkey; 1: 500.000 in scale, MTA).

Çalışma alanı Sivas Havzası'nın güney kenarında yer alır. Bu kesimde havzanın temelini Permo-Triyas yaşlı Hınzırdağ metamorfileri [12] oluşturur (Şekil 2). Bu temel üzerinde konglomeratik bir düzeye transgresif olarak başlayan Eosen istifi 2000 m ye ulaşan kalınlığı boyunca egemen olarak fliş niteliğindedir (Bozbel Formasyonu [13]). Lütesiyen-Priaboniyen yaşlı derin denizel bu istif, tavanda sığlaşarak tabakalı-laminalı bir evaporit-çamurtaşı paketiyle (Tuzhisar Formasyonu [14, 15]) sonlanarak Oligosen çökellerine geçer.

Yörede Oligosen dönemi bütünüyle karasal koşulları yansıtan ve kalınlığı 3000 m'ye yaklaşan iki formasyonla temsil edilir. Bunlardan Oligosen istifini asıl bölümünü (2500 m'yi aşan kalınlık) tabandaki Altınyayla Formasyonu [1], akarsu ortamında çökelmiş, kırmızı renkli çakıltaşı, kumtaşı ve siltaşı ardalanmasından oluşur. Altınyayla formasyonu geçişli olarak izlenen silisiklastik karbonat geçişli akarsu-göl istifi ise Malak formasyonu olarak adlandırılmıştır [2].

Malak formasyonu, litolojik ve ortamsal olarak çeşitlilik gösterir. Özellikle gösel çökeliyi yansıtan kireçtaşlarının, alüvyal kıyı ovasını niteleyen fosil toprak oluşumlarının, kaba taneli alüvyal yelpaze çökellerinin ve birbirlerini üzerleyen loblar halindeki kaba taneli delta ön takımlarının varlığı, Malak formasyonun başlıca ayırtman özellikleridir. Gemerek'in güneyinden geçen ve Ecemiş fay zonunun bir parçası olan Mudarası fayının kuzeyindeki ve güneyindeki Oligosen-Miyosen istifleri oldukça farklı kalınlık ve litolojilerde gelişmiştir. Bu farklılaşmanın temel nedeninin, Mudarası fayının yöredeki çökeliyi tektonik olarak denetlemesidir [2]. Yöredeki karasal çökelim koşulları Miyosen ve Pliyosen'de de sürmüştür.

## Fasiyeler

Tabanda akarsu çökellerinin baskın olduğu ve tavana doğru gösel çökellere geçen 210 m kalınlığındaki ölçülü stratigrafik kesitte 12 fasiyes ayırtlanmıştır (Şekil 3-4a). Bunlar: Masif, organize olmamış çakıltaşı (F1); Dereceli, matriks destekli çakıltaşı (F2); Çapraz tabakalı, tane destekli çakıltaşı (F3); Büyük ölçekli çapraz tabakalı çakıllı kumtaşı (F4); Düzlemsel çapraz tabakalı kumtaşı (F5); Paralel tabakalı kumtaşı (F6); İyi boylanmış, tabakalı kumtaşı (F7); Masif çakıllı çamurtaşı (F8); Laminalı kıltaşı-marn (F9); Tabakalı kireçtaşı (F10); Breşleşmiş kireçtaşı (F11) ve Kireçtaşı kırıntıları (F12) biçiminde adlandırılmıştır.

### Masif, organize olmamış çakıltaşı (F1)

Çakıltaşlarının tabaka kalınlıkları 1-3 m arasında değişir. Yanal devamı onlarca metre olup merceksidir. Tabaka tabanları genellikle aşınmasıdır. Fasiyes özellikleri organize olmayan bir fabrik sunar. Ters derecelenme ve çok zayıf boylanmış gösterirler. Matriks çamur ve kumdur. Yer yer tabakalar arasında kırmızı renkli oksidasyon zonları gözlenir. Tane bileşenleri genellikle volkanik, kireçtaşı ve ofiyolitik melanja ait kayaç parçalarıdır. Ortalama tane boyu 5-7 cm, maksimum tane boyu 45 cm'yi bulan bloklar yer alır (Şekil 4b).

**Yorum:** Tekçe tabakaların çok kalın ve masif oluşu ve iri blokların gözlenmesi bu fasiyesin kütle akmaları ile depolandığını işaret etmektedir. Diğer taraftan organize olmayan bir fabrik ve ters derecelenme bu fasiyesin moloz akmaları ile yerleştiği görüşünü destekler. Kırmızı renkle belirginleşen oksidasyon düzeyleri çökeliğin atmosferik koşullarda gerçekleştiğini işaret eder. Taban oygularının ve kiremitlenmenin olmaması, çökellerin laminer akış altında taşındığını gösterir.



**Dereceli, matriks destekli çakıltaşı (F2)**

Tabaka kalınlıkları 1-2 m arasında değişir. Yanal devamlılıkları 250-300 m arasında olup kıltaşı ve çamurtaşları ile kamalanırlar. Tekçe çakıltaşı tabakalarında matriks oranı yukarı doğru artar. Yer yer yük yapıları gözlenir (Şekil 4c). Ortalama tane boyu 5-10 cm, maksimum tane boyu 40 cm'nin üzerindedir ve yanal tane yönlenmesi gözlenmektedir.

*Yorum:* Yanal tane dizilimi, matriks oranının yukarı doğru artması, yük-alev yapıları ve kıltaşı ile ardalanma bu fasiyeslerin sualtı moloz akması şeklinde depolandığına işaret eder [6].

**Çapraz tabakalı, tane destekli çakıltaşı (F3)**

Fasiyes içerisindeki çakıllar ortalama 5-8 mm boyunda olup, 50 mm ye ulaşan tanelere de rastlanır. Fasiyes içerisindeki çakıllar çoğunlukla dizilimler (kiremitlenme) oluştururlar. Genellikle çamurtaşları üzerinde erozyonel bir tabanla başlayıp üste doğru kumtaşı ve karbonat fasiyeslerine geçerler. Bu fasiyesin oluşturduğu takımlar yaklaşık 1 m kalınlığa ve 10 m ye kadar ulaşan uzanımına sahiptir. Bu setlerde düşük açılı (ortalama 10°) öntakımlar izlenir (Şekil 4d).

*Yorum:* Bu fasiyes sualtı bar ya da dünlerinin göçüyle oluşan çökeller olarak yorumlanır [16, 17]. Çamurtaşları ve karbonatlarla yakın çökelim ilişkileri sığ su koşullarını gösterir. Fasiyesin kanal morfolojilerinin izlendiği kesimlerinde alüvyal etki baskındır ve alüvyal yelpazenin kaynağa yakın kesimlerindeki örgü barları olarak yorumlanabilirler. Büyük ölçekli teknesmi çapraz tabakalı setler, sualtı barlarının kalınlıklarının 1 m ye ulaşabildiğini göstermektedir. Diğer taraftan bu fasiyes sualtı yüksek yoğunluktaki turbidit akıntılar ile de oluşmuş olabilirler [18].

**Büyük ölçekli çapraz tabakalı çakıllı kumtaşı (F4)**

İstifin tavan bölümünde çok tipik olarak izlenen fasiyes, iyi boylanmalı ve kilsiz, çapraz tabakalı çakıllı kumtaşlarından oluşmaktadır. Eğim açıları 15°-35° arasında değişen çapraz tabakalı paketler, birbirlerini üzerleyen loblar biçiminde bir geometri sunar. Kalınlıkları 1m' ye ulaşabilen bu loblar üzerinde yer yer ince karbonat düzeyleri izlenir (Şekil 4e, f).

*Yorum:* Yüksek açılı çapraz tabakalarından oluşan bu fasiyes tipik olarak delta öntakımlarını oluşturur [19, 20]. Üzerlerinde yer alan ince karbonat düzeyleri deltanın dinlenme dönemlerini yansıtır [21, 22].

**Düzlemsel çapraz tabakalı kumtaşı (F5)**

Düzlemsel çapraz tabakalı kumtaşlarının tabanı her yerde aşınmalıdır ve üzerinde bulunduğu litolojiyi keserek yerleşmiştir. Çapraz tabaka kalınlıkları 10-18 cm arasında değişir (Şekil 4g). Bunlar çapraz tabakalı ve laminalı olup ön takımlarının kalınlıkları 6-10 mm'dir. Ön takım eğimleri 10-14 derece arasında değişir. Kumtaşları ince-orta kum tane boyuna sahip olup orta-zayıf boylanma göstermektedir.

*Yorum:* Fasiyesin aşınma tabanlı ve çapraz tabakalı oluşu, yatak yükünün görel olarak yüksek enerjili su akıntıları ile yanal yönde taşınması ile oluştuğunu gösterir. Bu tür düzlemsel çapraz tabakalar barların göçü ile meydana gelmektedir [23, 24].

**Paralel tabakalı kumtaşı (F6)**

Tabaka düzlemleri paralel olup, kalınlıkları 5-15 cm arasında değişir. Tabaka tabanlarında aşınmasız olup bu kumtaşlarının yanal devamı onlarca metreyi bulmaktadır. Egemen taneler orta-kaba kumdur. Yer yer çakıllı seviyelerin de olduğu bu kumtaşlarında, boylanma kötü olup, zayıf bir derecelenme sunarlar.

*Yorum:* Tabakaların yanal devamlı oluşu ve tabanlarında kazıma yapılarının izlenmemesi, kum boyutundaki yatak yükünün sellenmelerle taşınıp, yaygın biçiminde çökteldiğini gösterir. Ayrıca bu tür paralel tabakalı kumtaşı fasiyesleri su üstü yüksek yoğunluk (hiperkonsantre) akıntılarla da gelişebilirler [25].

**İyi boylanmış, tabakalı kumtaşı (F7)**

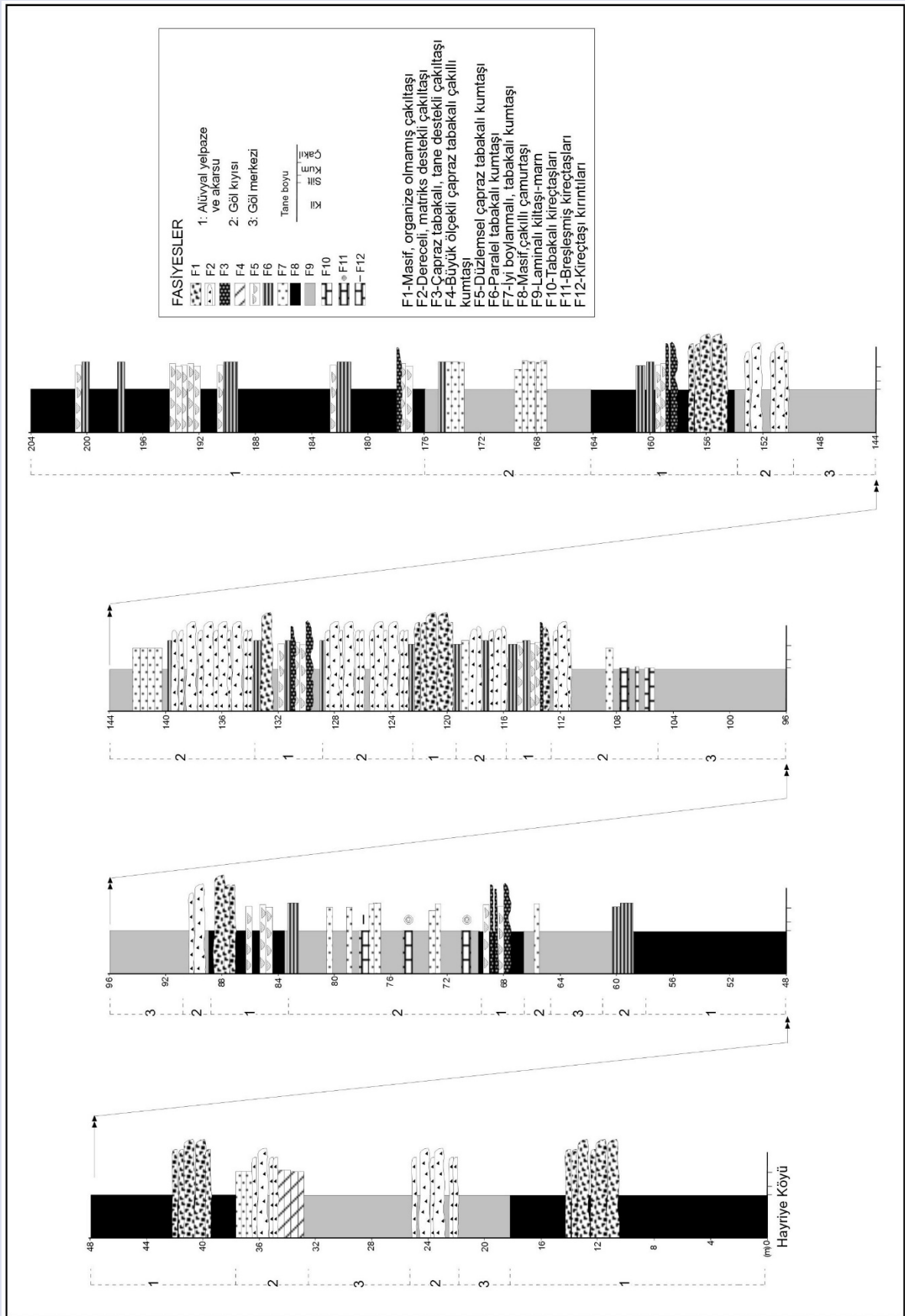
Sarı, gri renkli kumtaşları ince-orta paralel tabakalardan oluşur. Tabakaların üst yüzeyleri aşınmalıdır. Orta-kaba tane boyundaki kumtaşları çok iyi boylanma gösterir. Kil matriks yoktur. Bu kumtaşları; masif çakıllı çamurtaşları ve kıltaşı ve marnlar fasiyesleri ile birlikte bulunur ve bu kumtaşlarında yük ve deforme yapıları gözlenir (Şekil 4h).

*Yorum:* İyi boylanmalı ve tabanları aşınmalı kumtaşı fasiyeslerine hem denizel, hem de görsel kıyı ortamlarında yaygın olarak rastlanır. Oluşumları, akarsularla veya alüvyon yelpazeleriyle kıyıya getirilen tortulların, dalgalarla yeniden işlenerek iyi boylanmış çökeller biçiminde kıyı yakınlarında depolanması biçimindedir. Delta çökelleri de dalgalarla yeniden işlenerek iyi boylanmış kumtaşları biçiminde çöktilebilir.

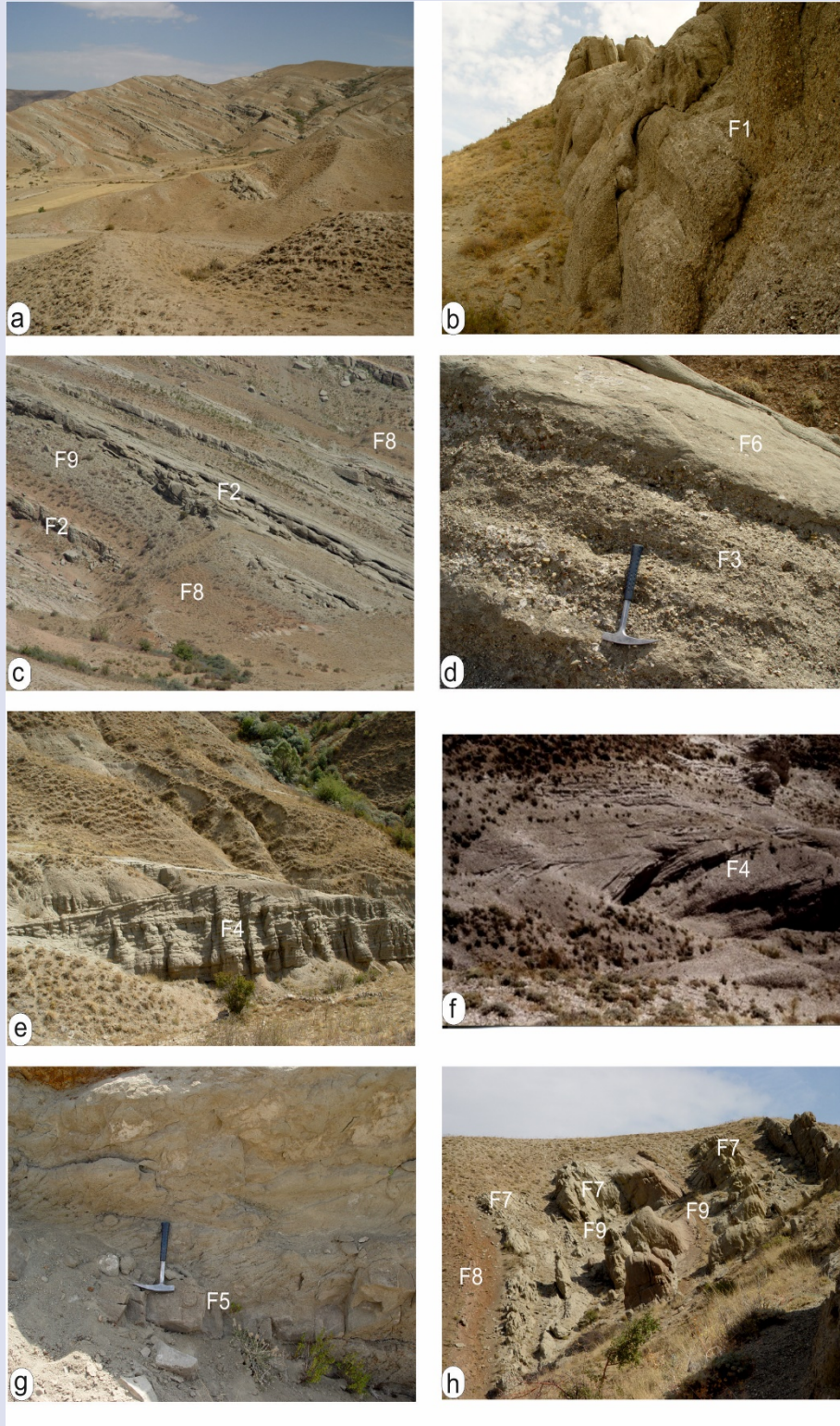
**Masif, çakıllı çamurtaşı (F8)**

Gerek breşik görünülü kireçtaşları, gerekse kaba kırıntılı fasiyeslerle yakın ilişkide çökelen bu fasiyes, kilden ince kum boyutuna kadar değişen tanelerin farklı oranlarda içerildiği kırıntılı bir fasiyestir. Egemen renk kırmızı olmakla birlikte yakından incelendiğinde kırmızı ya da gri renkli beneklerin varlığı izlenir. Kalınlıkları 1-7 m arasında değişen paketler halinde izlenen bu çamurtaşlarında tabandan tavana doğru kırmızı rengin koyulaşması belirgindir. Bu fasiyeste belirgin bir içyapıya ve fosil bulgusuna rastlanılmamıştır. Masif oluşu amalgamasyon (tabaka sınırlarının silinmesi) ile ilgilidir. Yanal yönde yayılımı yüzlerce metreyi bulmaktadır (Şekil 4c, h).

*Yorum:* Bu tip masif çamurtaşları sellenmenin azaldığı, asıltı çökelinin fazla olduğu, akarsu-bataklık alanlarında oluşur [16, 26]. Gösterdikleri benekli yapıya dayanarak yeterince gelişmemiş toprak oluşumları olarak da yorumlanabilir. [27].



Resim 3. . İstifteki fasiyelerin düşey dağılımı.  
Figure 3. Vertical distribution of facies in the sequence.



Şekil 4. İstifin genel görünüşü (a) ve kırıntılı fasiyeler (b ,c, d, e, f, g, h); F1: masif, organize olmamış çakıltaşı; F2: dereceli, matriks destekli çakıltaşı; F3: çapraz tabakalı, tane destekli çakıltaşı; F4: büyük ölçekli çapraz tabakalı çakıllı kumtaşı; F5: düzlemsel çapraz tabakalı kumtaşı; F6: paralel tabakalı kumtaşı; F7: iyi boylanmış, tabakalı kumtaşı; F8: masif, çakıllı çamurtaşı; F9: laminalı kilitaşı-marn.

*Figure 4. General view of sequence (a) and clastic facies (b, c, d, e, f, g, h); F1: massive-disorganized conglomerate; F2: graded-matrix-supported conglomerate; F3: cross bedded- grain supported conglomerate; F4: large scale cross bedded- pebbly sandstone; F5: tabular cross-bedded sandstone; F6: parallel bedded sandstone; F7: well sorted-bedded sandstone; F8: massive-pebbly mudstone; F9: laminated claystones, marl.*

**Laminalı kilitaşı-marn (F9)**

Tabakalı kireçtaşı fasiyesiyle yakın ilişkili olarak izlenen bu fasiyes, kalınlıkları 30 cm-2m arasında değişen kilitaşı-marn tabakalarından oluşur. En yaygın tortul yapı laminalanmadır. Fasiyesin değişik kesimlerinde chara ve gastropod fosillerine rastlanılmıştır (Şekil 4c, h).

*Yorum:* İnce silisiklastiklerle (çamurtaşı) karbonatların birlikteliği olan marnlar kırıntılı getiriminin azaldığı, karbonat çökeliminin baskın hale gelmeye başladığı dönemlerde depolanır. Laminalı killer enerjinin iyice düştüğü göl koşullarında asılıtdan çökeli mi ifade eder. Laminalar mevsimsel çökelimleri yansıtabilir. Gastropodlu-alg li marnlar ve kilitaşıları, karbonatlar ile ardalanmalı olarak kıyılardaki karbonat banklarında oluşabilmektedirler [28].

**Tabakalı kireçtaşıları (F10)**

Beyaz renkli kireçtaşılarıyla temsil edilen bu fasiyes, istifin orta kesimlerinde birbirlerinden ince marn düzeyleriyle ayrılan 3 tabakadan oluşmuştur. Toplam 1.5 m lik bir paket oluşturan bu kireçtaşıları, orta-kalın tabakalar yanal yönde incelererek breşik görünümlü kireçtaşılarına geçerek son bulur (Şekil 5a). Chara ve gastropoda fosilleri içeren kireçtaşılarının mikroskopik incelemelerde mikritik nitelikte oldukları ve karbonat yumruları (glabule) yuvarlağımsı çatlaklar ve değişik şekilli kovuklar içerdikleri saptanmıştır (Şekil 5b).

*Yorum:* Tabakalı kireçtaşıları sığ göl karbonatları için tipik bir fasiyestir. Karadan kırıntılı malzeme getiriminin azaldığı veya durduğu zamanlarda karbonat çökeli mi gerçekleşmektedir. Gastropod ve chara fosilleri içeren bu fasiyeste, fosiller önemli bir yoğunluk göstermemektedir. Bu nedenle karbonat çökeli minden biyolojik süreçlerin baskın olmadığı, ancak organik ve inorganik süreçlerin birlikte

çalıştığı söylenebilir. Biyo-fosilli mikrit niteliğindeki tabakalı kireçtaşıları, göl kenarlarında da oluşabilirler ve düşük enerjili bank tipi kıyılal çökel ortamlarını yansıtırılar [10].

**Breşleşmiş kireçtaşıları (F11)**

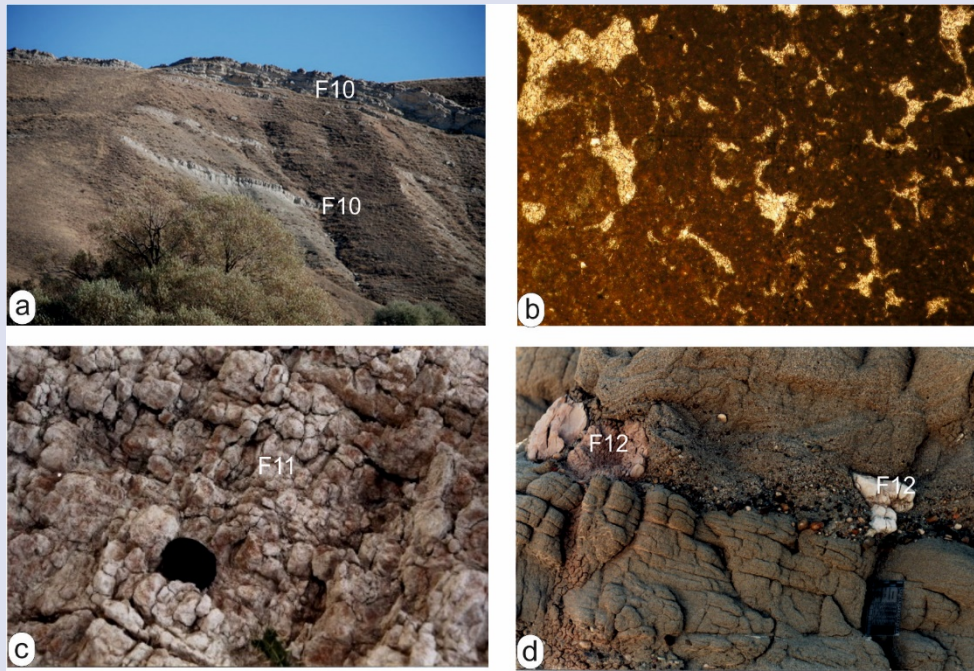
Gri renkli ve breşik görünümlü karbonatlar istif içerisinde iki düzeyde izlenirler. Kırmızı-gri renkli marnlarla geçişler sunan bu düzeyler kalınlıkları 0.5 m ye yaklaşan tabakalar halindedir. Boyutları mm den dm ye kadar değişen breşleşmeler, kuruma çatlakları ve yer yer yoğunlaşan kırmızı-kahverengi benekler belirgindir (Şekil 5c). Ayrıca mm-cm ölçeğindeki oyuk ve kovuklar yaygındır.

*Yorum:* Fasiyeste izlenen breşik yapı, kuruma çatlakları, beneklenmeler gibi özellikler, bu fasiyesin dönemsel olarak atmosfere çıkan sığ göl karbonatlarının ayrılmaya uğramasıyla oluştuğunu göstermektedir. Pedojenik süreçlerin etkisinde kalan bu tip karasal karbonatlar palustrin olarak da adlandırılır [29].

**Kireçtaşı kırıntıları (F12)**

Bu fasiyes, özellikle çapraz tabakalı kumtaşı fasiyesleri içerisinde yer alan değişik boyut ve şekillerdeki kireçtaşı parçalarından oluşmuştur. Yaygın olarak 10-15 cm büyüklüğündeki kireçtaşı bloklarıyla temsil edilir (Şekil 5d). Breşik yapı ve beneklenmenin seçilebildiğı bu karbonat taneleri çapraz tabakalı kumtaşıları içerisinde çoğunlukla bireysel taneler şeklinde yer aldığı gibi yer yer de merceksi düzeyler oluşturur.

*Yorum:* Bu karbonat fasiyesi, dönemsel olarak (kurak mevsimlerde) bir bölümü kuruyan göl tabanının atmosfere çıkması ve kireçtaşılarının flüviyal süreçlerle tekrar işlenmesi (ayırışma-taşınma) sonucu oluşmuştur.



Resim 5. Kireçtaşı fasiyesleri. (a) tabakalı kireçtaşı (F10); (b) tabakalı kireçtaşılarının (F10) mikroskop görünüşü (10x4); (c) breşleşmiş kireçtaşı (F11); (d) kireçtaşı kırıntıları (F12).

Figure 5. Limestone facies. (a) bedded limestone (F10); (b) microscopic view of bedded limestone (10X4); (c) brecciated limestone (F11); (d) limestone clasts (F12).

## Fasiyes toplulukları ve çökeltme ortamları

Ayrırtlanan fasiyeslerin birliktelikleri üç fasiyes topluluğu/ortamın varlığını yansıtmaktadır. Bunlar: Alüvyal yelpaze-akasu; göl kıyısı ve göl içi ortamlarıdır (Şekil, 6)

### Alüvyal Yelpaze ve Akarsu Ortamları

İstifin özellikle taban kesiminde baskın olarak izlenen bu fasiyes topluluğu egemen kırmızı renk, görel olarak kötü boylanmalı kırıntılı çökellerin ve fosil toprak düzeylerinin varlığıyla tanınır. Yer yer izlenen bitki parçaları dışında fasiyes topluluğunda fosil varlığı saptanamamıştır. Bu fasiyes topluluğunun egemen fasiyesleri, masif organize olmayan çakıltaşı (F1) ve çapraz tabakalı tane destekli çakıltaşıdır (F3). Bunlara eşlik eden fasiyesler, paralel tabakalı kumtaşı (F6), düzlemsel çapraz tabakalı kumtaşı (F5) ve her seviyede yer alan masif çakıllı çamurtaşı (F8) fasiyesleridir (Şekil 3, 6). Bu fasiyes topluluğu sedimanter gravite akmalı çakıllı örgülü akarsular ile karakterize edilir [5]. Ayrıca kireçtaşlarının akarsu süreçleri ile yeniden işlenmesi sonucu oluşan farklı şekil ve boyutlardaki karbonat kırıntıları (F12) gözlenir.

Bu ortamın ikinci fasiyes topluluğu ise taşkın düzlüklerinden oluşmaktadır. Ağırlıklı olarak masif çamurtaşları (F8) ile temsil edilen bu toplulukta az oranda paralel tabakalı kumtaşı (F6) fasiyesi de temsil edilir. Çamurtaşlarının bu kadar yaygın olduğu ortamlar, set üstü ve taşkın düzlüğü ortamlarını yansıtır [30]. Su dolaşımının sınırlı olduğu bataklık alanlarda kömürleşmeler gelişebildiği gibi bitki kırıntıları taşınarak çamurtaşlarına karışması da gözlenir [16, 31, 32]. Kurak iklim dönemlerinde kalış gelişebildiği gibi depolanmanın durduğu zamanlarda topraklaşma gözlenebilir [33]. Bu tip çökel ortamları için uç yelpaze (terminal fan)-terminal yelpaze taşkın havzası terimleri de kullanılmaktadır [34, 35, 36].

### Göl Kıyısı Ortamları

Su üstü ve su altı koşullarının birlikte işlediği kıyı ortamları, fasiyes çeşitliliğinin izlendiği hareketli ortamlardır. Su düzeyindeki oynamalar, bu çeşitlilik ve iç içeliği daha da zenginleştirmektedir.

Bu ortamın ilk fasiyes topluluğu olan yelpaze deltası, istifin değişik seviyelerinde yer alır (Şekil 3, 6). Egemen olan fasiyes dereceli-matriks destekli çakıltaşıdır (F2). Çakıltaşı tabakalarına masif çamurtaşları (F8), laminalı kilaşları ve marnlar (F9) eşlik eder. Bu marn ve kilaşları, konglomera düzeyleri içerisinde merceksi olarak da

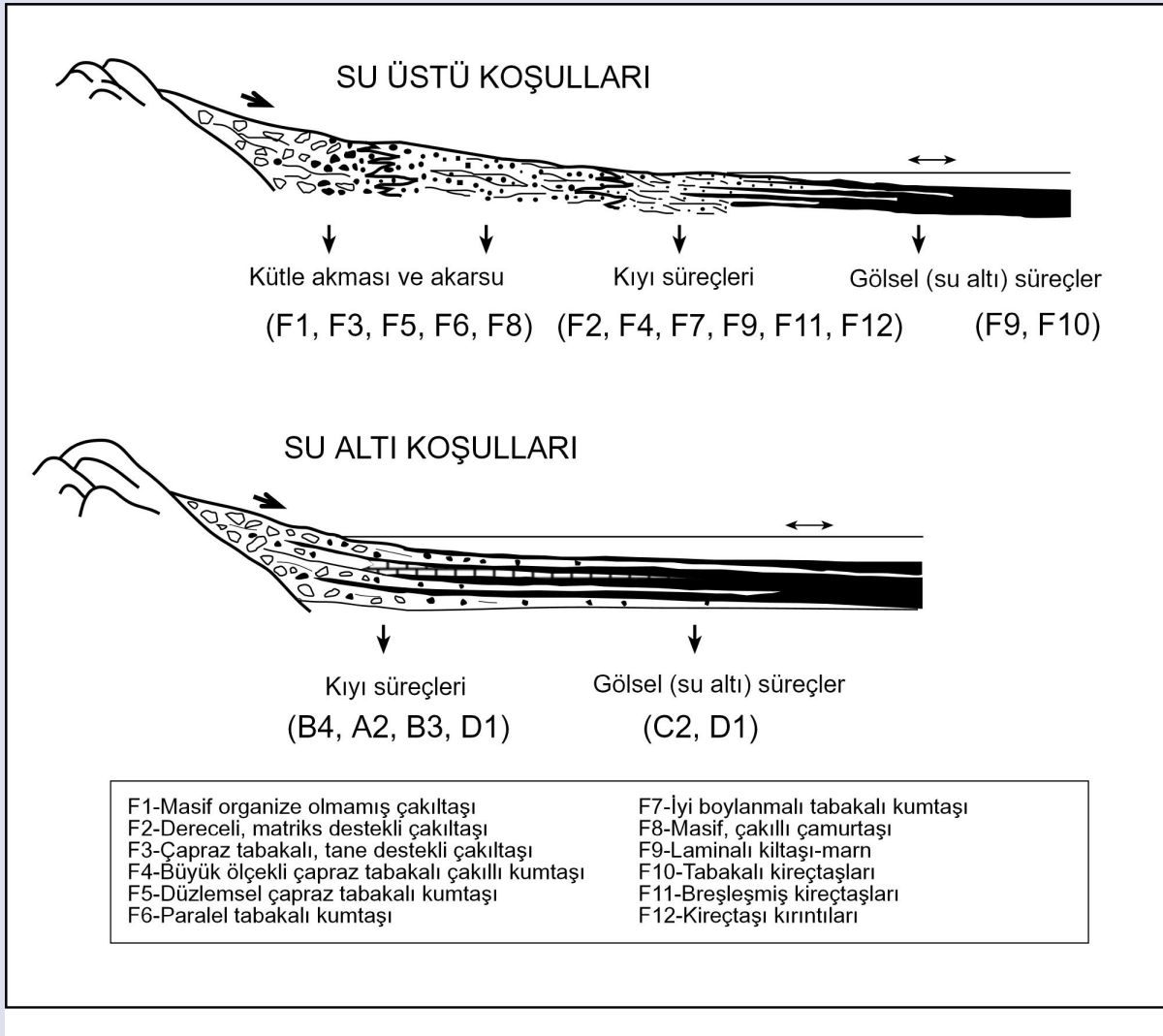
bulunabilirler. Su üstü koşullarının egemen olduğu dönemleri ise masif-organize olmayan çakıltaşı (F1) ile çapraz tabakalı-tane destekli çakıltaşlarının (F3) birlikteliği yansıtır. Nemec ve Steel'e [6] göre, alüvyal yelpazelerin sulu bir ortama (göl veya deniz) girdiğinde yelpazenin tamamı veya bir kısmı su altında kalır ve bu su altında kalan prizma şeklindeki tortullar yelpaze deltası tortulları olarak adlandırılırlar. Göl seviyesi düştüğü periyotlarda akarsu profilleri kendilerini düşük seviyelere adapte etmek için derin vadiler kazarlar. Bu arada aşınan kırıntılı malzeme kütle akma veya akarsu süreçleri ile göle taşınmakta ve alüvyal yelpaze ve yelpaze deltası ortamlarında depolanmaktadır.

Büyük ölçekli çapraz tabakalanmalı görünüşleriyle (F4) kolaylıkla tanınan delta öntakımları özellikle istifin üst kesimlerinde belirgin olarak izlenir ve göl kıyı ortamının diğer fasiyes topluluğunu oluşturur. Bu kesimlerde 1 m' ye ulaşan çapraz tabakalı kumtaşı lobları tipiktir. Lobların büyüme evreleri ince ve yanal devamsız karbonat düzeyleriyle kesilmiştir. Eğim açıları 15-35 derece arasında değişen delta ön takımları kuzeydoğudan güneybatıya doğru bir beslenmeyi yansıtmaktadır. Ön takımların oluşturduğu loblar üzerinde gelişen ince ve yanal devamsız karbonat düzeyleri, kısa sürelere yayılan delta dinlenme dönemlerini yansıtmaktadır.

Bu ortamın üçüncü fasiyes topluluğunu oluşturan kıyı yakını kum barları, istifin orta kesimlerinde gözlenirler. Genellikle kalın ince taneli kilaşı-marn tabakaları (F9) arasında iyi boylanmalı- tabakalı kumtaşları (F7) şeklinde bulunur. Bunlar önceden oluşan yelpaze deltası, delta tortullarının dalgalar ile yeniden işlenmesi ile plaj ve kıyı boyu barları tortulları şeklinde depolanırlar [36]. Burada etkili olan süreç, göl seviyesinin yükselmesi ile göl içinde depolanan malzemenin yeniden işlenerek kum barları şeklinde depolanmasıdır.

### Göl İçi Ortamı

Bu fasiyes topluluğu başlıca gri-yeşil renkli kilaşı-marn (F9) ve tabakalı kireçtaşı fasiyeslerinin (F10) birlikteliğinden oluşur (Şekil 3, 6). Gerek kireçtaşları gerekse marnların içerdikleri tatlısu gastropodları ve charalar makroskopik olarak da gözlenebilmektedir. Fasiyes topluluğun bu paleontolojik karakteri, gölsel niteliğini yansıtan en güçlü veridir. Gölün sığlaştığı zamanlarda kıyılarda karbonatlar veya kırıntılı getiriminin fazla olduğu zamanlarda yelpaze deltası-delta tortulları gelişirken, kıyı ötesinde de laminalı kilaşları ve marnlar depolanmaktadır [25]



Resim 6. İstifin depolanma süreçleri ve fasiyelerin paleocoğrafik dağılımı (Düringer'den [37] değiştirilerek).  
Figure 6. Depositional processes of the sequence and paleogeographic distribution of facies (modified from Düringer [37]).

## Sonuçlar

Kalınlığı 210 m. ye ulaşan istifte, fasiyes analizi kapsamında 11 fasiyes saptanmıştır. Bunlar; Masif, organize olmamış çakıltaşı (F1); dereceli, matriks destekli çakıltaşı (F2); çapraz tabakalı, tane destekli çakıltaşı (F3); büyük ölçekli çapraz tabakalı çakıllı kumtaşı (F4); düzlemsel çapraz tabakalı kumtaşı (F5); paralel tabakalı kumtaşı (F6); iyi boylanmış, tabakalı kumtaşı (F7); masif, çakıllı çamurtaşı (F8); laminalı kiltası-marn (F9); tabakalı kireçtaşı (F10); breşleşmiş kireçtaşı (F11) ve karbonat kırıntıları (F12) olarak adlandırılmıştır. Bu fasiyelerin birliktelikleri, alüvyal yelpaze-akarsu, göl kıyısı (yelpaze deltası, delta, kıyı boyu kum barları, karbonat bankları) ve göl içi çökel ortamlarını yansıtmaktadır.

Bu litolojik ve ortamsal çeşitlilik, iklim ve tektonizmanın denetlediği kıyı çizgisi oynamaları ve göl

suyundaki biyokimyasal değişimlerle sağlanır. Yarı kurak bir iklim ve sığ su koşullarını yansıtan gölde, su düzeyini düşüğü ve karasal alanlarda yoğun ayrışma-kazınmanın gerçekleştiği dönemlerde, kırıntılı malzemeyi göl içine taşıyan, alüvyal yelpaze, yelpaze deltası ve delta süreçleri egemen olmuştur. Tersine işleyen süreçlerde ise göl düzeyindeki yükselmeler sonucunda, göl içine dolan malzeme yeniden işlenerek kum barlarını oluşturmuştur. Göle karadan kırıntı girişinin olmadığı dönemlerde ise karbonat çökelimi etkin olup, karbonat bankları gelişebilmiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi tarafından desteklenmiştir (CÜBAP, M-186 nolu proje). Yazarlar önerileri için Baki Varol'a teşekkürlerini sunar.

## Kaynaklar

- [1] Yılmaz, A., Sümengen, M., Terlemez, I., & Bilgiç, T. (1989). Geologic Map of the Sivas Quadrangle, Sheet G 23, scale 1:100,000. Ankara, Turkey: General Directorate of Mineral Exploration and Research (MTA)
- [2] Tekeli, O., Varol, B. ve Gökten, E., 1992, Sivas Havzasının batı kesiminin jeolojisi (Tuzla gölü-Tecer dağı arası) T.P.A.O. rap., No:3178.
- [3] Poisson, A., Jean-Pierre, B., Kangal, Ö., Kavak, K., Temiz, H., and Bruno, V., 2012. 550 Stratigraphic studies in the Sivas Basin (Central Anatolia, Türkiye). 10th Swiss Geoscience Meeting, Bern, 2012. 204-205.
- [4] Weerd, A. A. van de, Bruijn, H. de, Wessels, W., 2023, A small assemblage of early Oligocene rodents and insectivores from the Sivas basin, Turkey. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*. 103, 609-632. 441-458.
- [5] Miall, 1996, The geology of fluvial deposits: Sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology. Springer, 582 p.
- [6] Nemeç, W. and Steel, R.J., 1988, What is a fan delta and how to recognize it? . In: Fan Deltas: Sedimentology and Tectonic Setting (Ed. by W. Nemeç and R.J. Steel), pp. 3-13. Blackie, London.
- [7] McPherson, J.G., Shanmugam, g.& moiola, R.J., 1988, Fan deltas and braid deltas: conceptual problems. In: Fan Deltas: Sedimentology and Tectonic Setting (Ed. by W. Nemeç and R.J. Steel), pp. 14-22. Blackie, London.
- [8] Postma, G., 1990, Depositional architecture and facies of river and fan deltas: a synthesis. In: Coarse grained deltas, A. Colella and d.B. Prior (ed.), Spec. Pub. Of International Ass. of Sedimentology, 10, 13-27.
- [9] Talbot, M.R. & Allen, P.A., 1996, Lakes. In: Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy. H.G. Reading (ed.). Blackwell Science, Oxford, pp.83-124.
- [10] Platt, N.H. and Wright, V.P., 1991, Lacustrine, carbonates: facies models, facies distributions and hydrocarbon Aspects. In: Lacustrine Facies Analysis (Ed. by P. Anadon, L. Cebreira and K. Kelts), pp. 57-74. Spec. Publ. Int. Ass. Sediment., 13.
- [11] Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y., 1981, Tethyan evolution of Turkey : A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- [12] Erkan, E.N., Özer, S., Sümengen, M. ve Terlemez, İ., 1978, Sarız, Şarkışla, Gemerek, Tomarza arasının temel jeolojisi: M.T.A. Rap., Der.No: 5646.
- [13] Kurtman, F., 1973, Sivas-Hafik-Zara ve İmranlı bölgesinin jeolojik ve tektonik yapısı: M.T.A. Derg., 80, 1-32.
- [14] Gökten, E., 1983, Şarkışla (Sivas) güney-güneydoğusunun stratigrafisi ve jeolojik evrimi. *Türkiye Jeol. Kur. Bül.*, 26, 167-176s.
- [15] Gündoğan İ, Önal M, Depçi T (2005). Sedimentology, petrography, and diagenesis of Eocene-Oligocene evaporites: the Tuzhisar Formation, SW Sivas Basin, Turkey. *J Asian Earth Sci* 25: 791-803.
- [16] Miall, A.D., 1977, A review of the braided-river depositional environment, *Earth Science Review*, 13, 1-62.
- [17] Rust, B.R., 1978, A classification of alluvial channel system. In: *Fluvial sedimentology* (Ed. by A.D. Miall), pp. 187-198. Mem. Can. Soc. Petrol. Geol., 5, Calgary..
- [18] Lowe, D.R., 1982, Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *J. Sedim. Petrol.*, 52, 279-297.
- [19] Kazancı, N., 1990, Fan-delta sequences in the Pleistocene-Holocene Burdur Basin: the role of basin margin configuration in the sediment entrapment and differential facies development . In: *Coarse grained deltas* (Ed. by A. Colella and D.B. Prior. Spec. Pub. of International Ass. of Sedimentologist, 10, 185-198.
- [20] Postma, G., 1990, Depositional architecture and facies of river and fan deltas: a synthesis. In: *Coarse grained deltas*, A. Colella and d.B. Prior (ed.), Spec. Pub. Of International Ass. of Sedimentologist, 10, 13-27.
- [21] Kazancı, N., and Varol, B., 1990, Development of a mass flow dominated fan delta complex and associated carbonate reefs within a transgressive Paleocene succession, central Anatolia, Turkey, *Sediment. Geol.*, 68, 261-278.
- [22] Kangal, Ö. ve Varol, B., 1999, Sivas Havzası Alt Miyosen istifinde havza kenarı fasiyesleri. *TPJD. Bülten*, 11/1, 31-53.
- [23] Harms, J.C., Southard, J.B. & Walker, R.G., 1982, Structure and Squence in Clastic Rocks. *Lecture Notes: Soc. econ. Paleont. Miner. Short Course No. 9*, Calgary.
- [24] Todd, S.P., 1996, Process deduction from fluvial sedimentary structures. In: *Advences in Fluvial Dynamics and Stratigraphy*. P.A. Carling and M.R. Dawson (eds.). Chichester, pp, 299-350.
- [25] Harton, B.K. & Schmitt, J.G., 1996, Sedimentology of a lacustrine fan-delta system, Miocene Horse Camp Formation, Nevada, USA. *Sedimentology*, 43, 133-155.
- [26] Flores, R.M., 1990, Tranverse and longitudinal Gilbert-type deltas, Tertiary Coalmont Formation, nort Park Basin, Colorado. USA. In: *Coarse grained deltas*, A. Colella and D.B. Prior (eds.), Spec. Publ. I.A.S., 223-233
- [27] Platt, N.H., 1989, Lacustrine carbonates and pedogenesis: sedimentology and origin of palustrine deposits from the Early Cretaceous Rupelo Formation, W Cameros Basin, N Spain. *Sedimentology*, 36, 665-684.
- [28] Platt, N.H. and Wright, V.P., 1991, Lacustrine, carbonates: facies models, facies distributions and hydrocarbon Aspects. In: *Lacustrine Facies Analysis* (Ed. by P. Anadon, L. Cebreira and K. Kelts), pp. 57-74. Spec. Publ. Int. Ass. Sediment., 13.
- [29] Alonso-Zarza, A.M. and Tanner, L.H. (2010) Carbonates in Continental Setting: Facies, Environments and Processes. *Developments in Sedimentology*, 61, 225-267.
- [30] Collinson, J.D., 1996, The sedimentology of the Graind Shales and the Kinderscout Grit: a deltaic complex in the Namurian of northern England. *Jour. of sedim. Petrol.*, 39, 194-221.
- [31] Flores, 1984, Comparative analysis of coal accumulation in Cretaceous alluvial deposits, southern United States Rocky Moutmain Basin. In: *The Mesozoic of Middle North America*, D.F. Stott and D.J. Glass (eds.) *Can.Soc. Petrol. Geol. Mem.*, 9, 373-385.
- [32] McCabe, P.J., 1984, Depositional environments of coal and coal-bearing strata. In: *Sedimentology of Coal and Coal-bearing Sequences* (Ed. by R.M. Flores), Spec. Pub. of İnternational Ass. of Sedimentologist. pp 13-42.
- [33] Nami, M. & Leeder, M.R., 1978, Changing channel morphology and magnitude in the Scalby Formation (M.Jurassic) of Yorkshire, England. In: *Fluvial Sedimentology* (ed. by A.d. Miall), pp. 431-440. Mem. Can. Soc. Petrol. Geol., 5, Calgary.
- [34] Friend, P.F., 1978, Distinctive features of some ancient river systems. In: *Fluvial Sedimentology*, A.D. Mial (eds.) *Can.Soc. Petrol. Geol. Mem.*, 5, 531-542.
- [35] Parkash, B., Awasthi, A.K. & Gohain, K., 1983, Lithofacies of the Merkanda terminal fan, Kurukshehra district, Haryana, India. In: *Modern and Ancient Fluvial system* (Ed. by J.D. Collinson and J. Lewin) pp. 337-344. Spec. Pub. of International Ass. Sediment. 6.
- [36] Kelly, S. & Olsen, H., 1993 Terminal fans – with reference to Devonian examples. In: *Current research in fluvial Sedimentology* (Ed. By C.R. Fielding), pp. 339-374. *Sedim. Geol.*, 85.
- [37] Crowell, J.C.& Link, M.H. (Eds), 1982, Geologic History of Ridge Basin, southern California. *Pasific Section Soc. econ. Paleont. Miner.*, Tulsa, 340 pp.
- [38] Düringer, P., 1997, Dynamics of graben shoulder fan-delta and rift lakes, the example of the upper Rhine Graben (Lower Tertiary, eastern France, southwestern Germany) *Gaeaeidelbergensis*, 4, 159-168.



## The Effect of the Coronavirus Pandemic on the Human Development Index of EU Countries: An Analysis Using Machine Learning Methods

Yusuf Kahreman<sup>1,a,\*</sup>, Abdulkadir Şeker<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>The Department of Banking and Finance, Zara Veysel Dursun School of Applied Sciences, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye

<sup>2</sup>The Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 25/11/2024

Accepted: 10/12/2024

### ABSTRACT

The Human Development Index (HDI) is a pivotal indicator in gauging the extent of development and living standards across countries. However, the global pandemic of the Coronavirus disease 2019 (Covid-19) is believed to exert a deleterious influence on these indices. It is therefore important to understand the effects of the pandemic on HDI and how HDI would be shaped in a scenario without the pandemic. In this context, the HDI data for the years 1995-2019 were subjected to linear regression analysis, and the HDI values for 2020, 2021 and 2022, when the effects of the pandemic were observed, were estimated. Furthermore, the original HDI indicators were compared for these years. The study demonstrates that in the absence of the pandemic, the HDI values of the countries would continue the upward trajectory observed in previous years. Furthermore, despite the initial negative effects, the Netherlands and Portugal have reached the simulated HDI values by 2022, indicating that they have been able to overcome the significant slowdown or decline in HDI caused by the pandemic. The original HDI values of Austria, Croatia, Cyprus, Denmark, Finland, France, Greece, Ireland, Italy, Spain, Sweden and Sweden were only approximated by the simulated HDI values by 2022. In other EU countries, it is observed that the effects of the pandemic on HDI are long-lasting. In the analysis, Sweden is a notable exception.

**Keywords:** HDI, COVID-19, Linear Regression, Forecasting.

## COVID-19 Pandemisinin AB Ülkelerinin İnsani Gelişmişlik Endeksi Üzerindeki Etkisi: Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle İnceleme

### Öz

İnsani Gelişmişlik Endeksi (HDI), ülkelerin gelişim düzeyini ve yaşam standartlarını belirlemede kritik bir gösterge iken COVID-19'un ülkelerin bu göstergelerini olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Bu nedenle, pandeminin HDI üzerindeki etkilerini ve pandeminin olmadığı bir senaryoda HDI'nin nasıl şekilleneceğini anlamak önemlidir. Bu bağlamda, 1995-2019 yıllarına ait HDI verileri doğrusal regresyon yöntemiyle analiz edilerek pandeminin etkilerinin görüldüğü 2020, 2021 ve 2022 yıllarındaki HDI değerleri tahmin edilmiş, ayrıca orijinal HDI göstergeleri bu yıllar için karşılaştırılmıştır. Çalışmada, pandeminin yaşanmadığı bir senaryoda ülkelerin HDI değerlerinin önceki yıllardaki artış eğilimini sürdüreceğini ortaya koymaktadır. Buna ek olarak, COVID-19'un HDI üzerinde belirgin bir yavaşlama veya düşüşe yol açtığı anlaşılmakla birlikte, Hollanda ve Portekiz'in başlangıçtaki olumsuz etkilenmelere rağmen 2022 itibarıyla simüle edilen HDI değerlerine ulaştıkları görülmüştür. Avusturya, Hırvatistan, Kıbrıs, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Yunanistan, İrlanda, İtalya, İspanya ve İsveç'in orijinal HDI değerlerinin simüle edilmiş HDI değerlerine ancak 2022 yılı itibarıyla yaklaştıkları gözlemlenmiştir. Diğer AB ülkelerinde ise COVID-19'un HDI üzerinde kalıcı bir etkisinin olduğu görülmektedir. Analizde, İsveç için ise özel bir durum söz konusudur. Çalışma, pandeminin insani gelişmişliğe sürdürülebilirlik açısından oluşturduğu tehditlerin anlaşılmasına katkı sağlayarak literatüre önemli bir bakış açısı sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** İnsani Gelişmişlik Endeksi (HDI), COVID-19, Doğrusal Regresyon, Tahminleme.

### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

<sup>a</sup> ykahreman@cumhuriyet.edu.tr

<sup>b</sup> ORCID 0000-0001-5968-5081

<sup>a</sup> aseker@cumhuriyet.edu.tr

<sup>b</sup> ORCID 0000-0002-4552-2676

**How to Cite:** Kahreman Y, Şeker A (2024) The Effect of the Coronavirus Pandemic on the Human Development Index of EU Countries: An Analysis Using Machine Learning Methods, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 176-184



## Introduction

The Human Development Index (HDI) occupies a significant position within the field of international development studies, serving as a comprehensive indicator that assesses and evaluates the development levels and living standards of countries in accordance with objective criteria. Developed and updated on an annual basis by the United Nations Development Programme (UNDP), the HDI is calculated based on three principal dimensions: education level, life expectancy and per capita income level [1]. These components facilitate a comprehensive evaluation of human development that extends beyond mere economic indicators, offering a holistic assessment of a country's social and economic structure [2]. The HDI provides a comprehensive measure of a country's welfare level and quality of life, extending beyond mere economic growth to encompass social factors such as education and health.

As a consequence of this structure, the HDI is employed as a significant data source for the comparison of the welfare level of numerous countries and the formulation of long-term development policies [3], [4], [5]. The annual updating of this index enables the monitoring of development trends in countries and the observation of the effects of social policies. However, the change in HDI over time may be affected by sudden developments on a global scale. For example, unexpected global events, such as the COVID-19 pandemic, can have short- and long-term impacts on human development [6].

In this context, when we consider HDI values as a time series data set, machine learning methods can be employed to predict future values of the index [7]. In the context of time series analysis, techniques such as linear regression are frequently employed to predict future trends based on past data. In the case of a multicomponent indicator such as HDI, these methods facilitate the modelling of the effects of the pandemic and the simulation of potential future changes through the analysis of data from each year. Consequently, a model developed based on past data will be capable of examining how HDI might trend in a scenario where there is no pandemic [8]. It follows that a model developed on the basis of past data will be capable of examining the potential trajectory of HDI in the absence of a pandemic.

In formulating a future trajectory for HDI, it is crucial for policymakers to comprehend the underlying natural progression, distinct from the exceptional influences precipitated by pandemic circumstances. It is anticipated that the effects of the pandemic will be observed not only in the field of health but also in the fundamental components of HDI, including education and economic welfare. The implementation of budgetary constraints in the field of education, the weakening of health systems and the occurrence of income losses during the pandemic may result in a deceleration or even a decline in HDI. Modelling the trajectory of HDI values in the absence of the pandemic will facilitate the formulation of effective inferences regarding long-term development goals at the country level. In order to gain a deeper understanding of

the impact of the COVID-19 pandemic on human development, it is essential to construct a model that depicts the trajectory of the HDI in the absence of the pandemic. The objective of this simulation is to provide long-term projections on the human development process of countries by enabling an examination of the natural trends of HDI independent of deviations induced by the pandemic. In accordance with the aforementioned objective, the present study seeks to forecast the manner in which the HDI values will be constituted in 2020, 2021 and 2022 in a scenario devoid of the pandemic. To this end, a simulation has been conducted based on the historical trends of HDI values, with the effects of the COVID-19 pandemic being disregarded.

In this study, the HDI data for the period 1995-2019 were modelled using the linear regression method, and HDI forecasts were made for the period 2020-2022 under the assumption that there is no pandemic. The time series models, created for each country separately, facilitate comprehension of the direct impact of the pandemic on HDI and provide a comprehensive analysis of the effects of the pandemic on socioeconomic sustainability. Consequently, this study is regarded as a valuable contribution to the literature, offering crucial insights for the formulation of sustainability strategies through the examination of economic and social indicators of HDI divergence among countries.

## Literature Review

A review of the literature reveals a multitude of studies investigating the impact of the ongoing pandemic on social and economic indicators. Palamim et al. conducted an analysis examining the relationship between case fatality rates associated with the novel coronavirus in Brazil and a range of socioeconomic indicators, including the HDI. Their findings indicate that mortality rates are higher in regions with lower HDI [9]. A further study demonstrates that the incidence of cases and deaths resulting from the novel COVID-19 infection, along with the number of tests conducted, is higher in countries with a high HDI. However, there is a negative correlation between HDI and both the case fatality rate (CFR) and the recovery rate. This indicates that more advanced reporting and monitoring systems may also be effective in countries with a high HDI [6].

In his study, Sareminia concluded that the level of education has a greater impact on mortality rates associated with the COVID-19 than environmental and health factors. He also found that knowledgeable societies are more successful in crisis management [10]. In this paper, the level of social development plays a critical role in reducing the impact of crises. The findings of this study indicate that the incidence and mortality of the COVID-19 in southeastern Brazil is influenced to a limited extent by factors such as population size, gross domestic product (GDP), and HDI. However, higher mortality rates have been observed, particularly in cities with high population density, medium GDP, and high HDI [11]. Another study

indicates that the number of confirmed cases of the COVID-19 is higher in countries with a high Human Development Index (HDI) compared to countries with a low HDI. This is attributed to the greater capacity of countries with a high HDI to conduct more tests. The study suggests that this finding can inform international cooperation in the fight against the pandemic and the development of prevention methods [12].

Artificial intelligence and machine learning methods are employed to analyse HDI and other socioeconomic indicators in real time, with the objective of predicting future trends. In their study, Kavuran et al. investigate the impact of the pandemic on HDI using AI techniques such as Deep Convolutional Neural Network (DCNN) and Support Vector Machine (SVM). They demonstrate that these methods can accurately identify the relationship between HDI and pandemic-related variables [13]. A further study demonstrates that the utilisation of machine learning techniques to investigate the correlation between economic advancement and human capital enhances the precision of Support Vector Machines (SVM) and Gaussian Process Regression (GPR) models, particularly those optimised by the Bayesian method. The BT-GPR model exhibits the most accurate predictive capacity [14]. A further study examined the efficacy of quality of life (QoL) prediction systems utilising data from the World Happiness Index, employing machine learning algorithms. The findings revealed that Lasso Regression, Multiple Linear Regression and Long Short-Term Memory (LSTM) algorithms exhibited the highest accuracy for the 2021 QoL indicator [15].

Despite the existence of numerous studies examining the relationship between HDI and the ongoing pandemic, no research has yet explored how the HDI values of countries might evolve in the absence of a pandemic. In light of this gap in the literature, this study was designed to address this gap and contribute new insights to the field.

## Materials and Methods

In this section, within the scope of the purpose of the study, firstly, how HDI real data is calculated will be explained and then the application steps of the study will be explained.

### The Official HDI Calculation method (UNDP)

The Human Development Index (HDI) is calculated by a formula that includes three basic components: Life Expectancy Index, Education Index and Income Index. HDI is calculated by taking the geometric mean of these three components. The HDI formula is as follows level [1];

### Step 1: Calculation Of Life Expectancy Index

The life expectancy index is calculated by normalizing a country's life expectancy by the minimum (20 years) and maximum (85 years) life expectancy set by UNDP. This calculation is performed by the following Equation (1).

$$\text{Life Expectancy Index} = \frac{(\text{Life Expectancy} - 20)}{(85 - 20)}$$

### Step 2: Calculation Of Education Index

The education index is a combination of two sub-indices: expected years of education and average years of education. The expected years of education index is calculated as in Equation (2), assuming a UNDP maximum expected years of education of 18 years. The average years of education index is calculated as in Equation (3), assuming a maximum average years of education of 15 years. As can be seen in Equation (4), the education index is obtained by taking the arithmetic average of these two sub-indices. Expected years of schooling and Mean years of schooling.

$$\text{Expected years of schooling} = \frac{\text{Years of schooling}}{18} \quad (2)$$

$$\text{Mean years of schooling} = \frac{\text{Years of schooling}}{15} \quad (3)$$

$$\text{Education Index} = \frac{\text{Expected years of schooling} + \text{Mean years of schooling}}{2} \quad (4)$$

### Step 3: Calculation Of Income Index

The income index is calculated with the help of Equation (5) using the Gross National Income (GNI) per capita data. The income index is normalised between the minimum (\$100) and maximum (\$75,000) income values determined by UNDP.

$$\text{Income index} = \frac{\log(\text{per capita GNI}) - \log 100}{\log(75000) - \log(100)} \quad (5)$$

### Step 4: Calculation Of Human Development Index

Finally, the life expectancy, education and income indices calculated above are combined by taking the geometric mean. The HDI is calculated by taking the cube root of the product of these three indices.

$$\text{HDI} = \sqrt[3]{\frac{\text{Life Expectancy Index} \times \text{Education Index} \times \text{Income Index}}{\text{Income Index}}} \quad (6)$$

### The Dataset

Within the scope of the study, the performances of countries in various indicators (e.g. education, life expectancy) by years were obtained from UNDP reports. EU countries were filtered from this report and the data containing the indicators to be used for the calculation of HDI components (Expected Years of Schooling (years), Gross National Income Per Capita (2017 PPP\$), Life Expectancy at Birth (years), Mean Years of Schooling (years)) were selected.

### The Forecasting Model

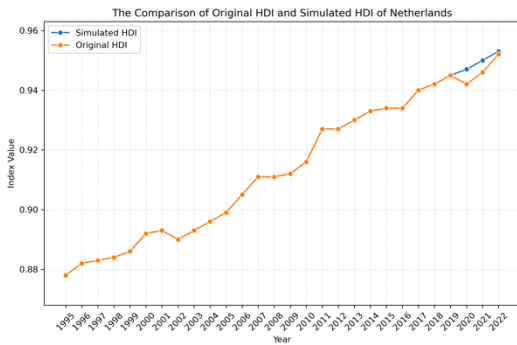
Linear regression is a basic statistical method used to model the linear relationship between a dependent variable and one or more independent variables, and is often preferred to predict future values based on past data. In this study, the life expectancy index, the education index and the income index, which make up the HDI value, were estimated with 3 different models. The model was trained with data from 1995-2019 and the years 2020-2022 were estimated. The parameters of the linear regression model are as follows;

- fit\_intercept (default=True) ;The model is estimated in the form  $y = mx + b$  (b is the value of the intercept).
- normalise (default=False) ;The independent variables are not normalised.
- copy\_X (default=True) ;Guarantees that the original data will not be changed.

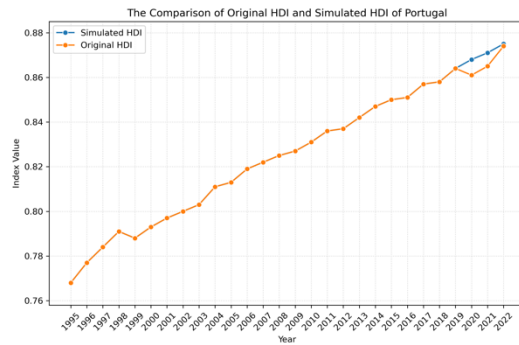
- n\_jobs (default=None) ;The number of processors to use in the calculation is set to 1.

**Results**

In this section, the findings obtained within the scope of the research are examined in detail and the results of the analyses are presented in a systematic manner.



(a)

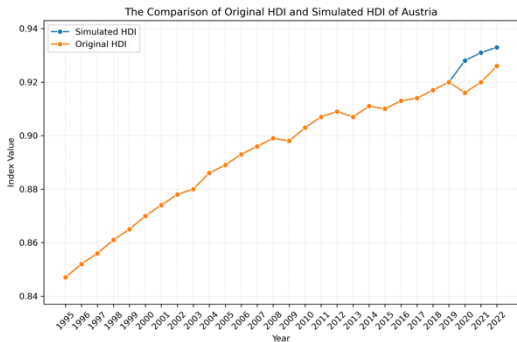


(b)

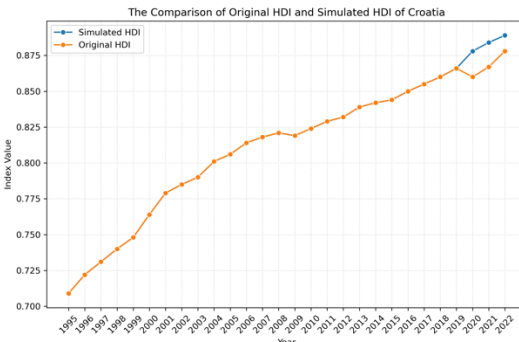
Figure 1. The HDI Graphics of Netherlands (a) and Portugal (b)

In the Netherlands and Portugal, although there was a significant decline HDI values at the beginning of the COVID-19 pandemic, it was found that the simulated HDI levels of the no-pandemic scenario were reached by 2022. Analyzing Fig 1, it can be seen that both countries

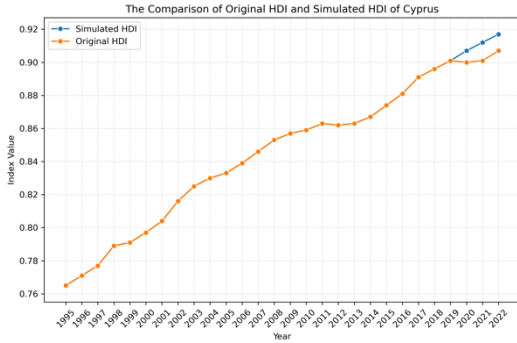
experienced a decline in their initial HDI values during the transition period from 2019 to 2020, but immediately after this decline they showed a more pronounced upward trend.



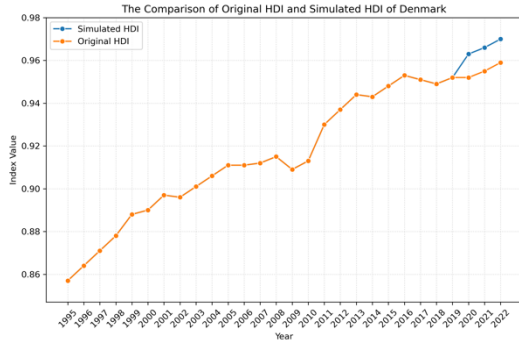
(a)



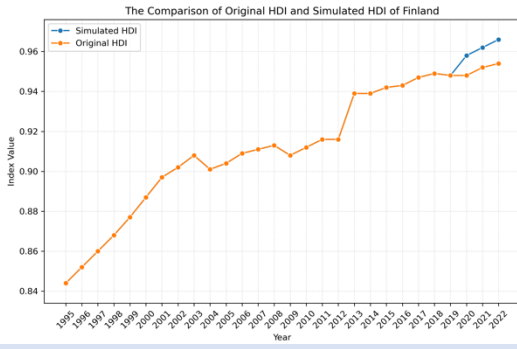
(b)



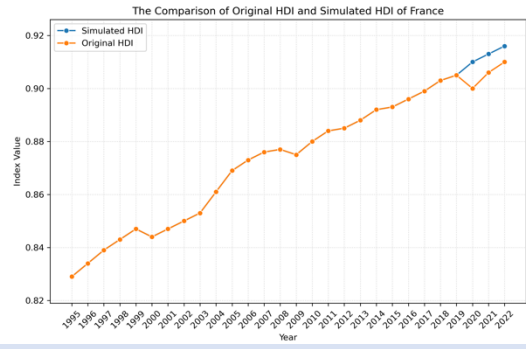
(c)



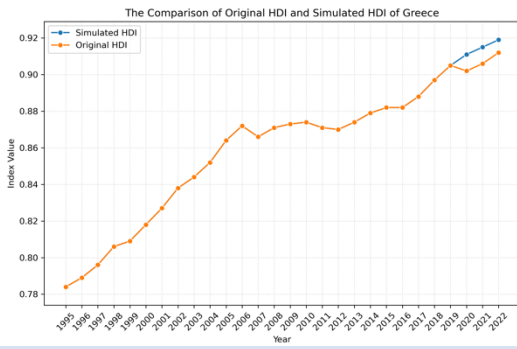
(d)



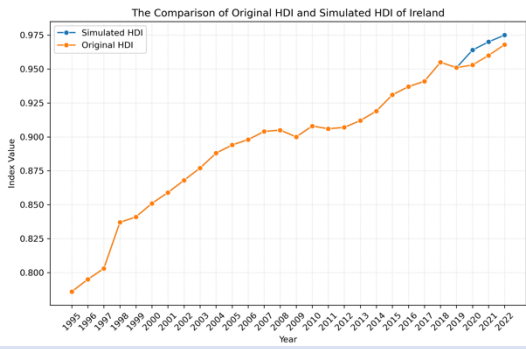
(e)



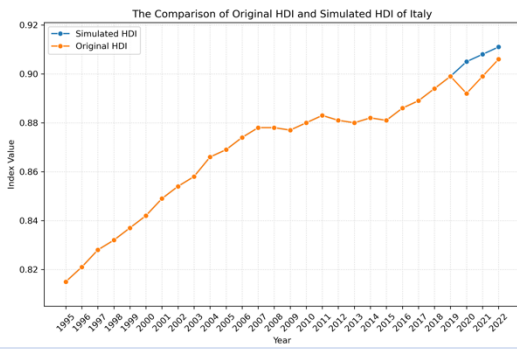
(f)



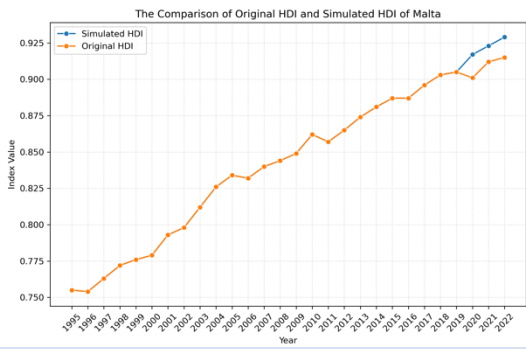
(g)



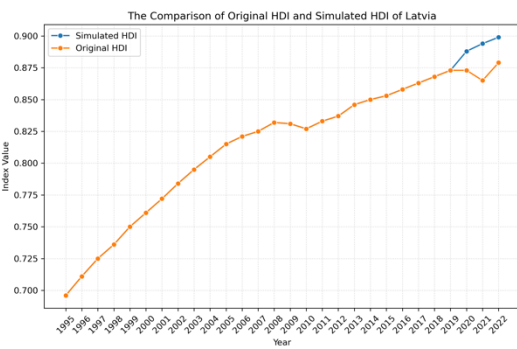
(h)



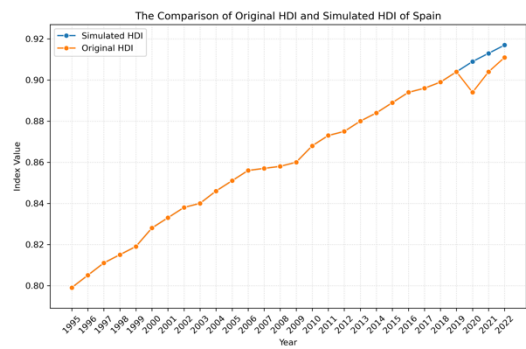
(i)



(j)



(k)

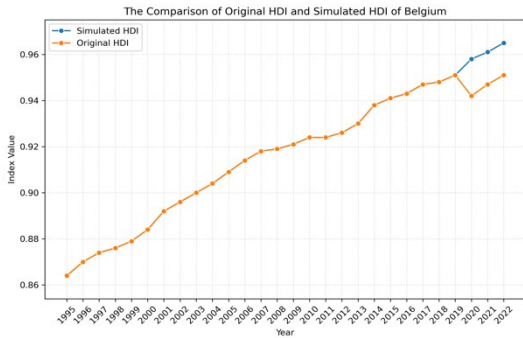


(l)

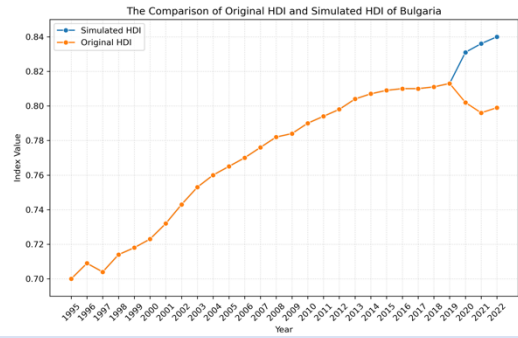
Figure 2. The HDI Graphics of Austria, Croatia, Cyprus, Denmark, Finland, France, Greece, Ireland, Italy, Malta, Latvia, Italy, Malta, Latvia and Spain.

The HDI values of Austria, Croatia, Cyprus, Denmark, Finland, France, Greece, Ireland, Italy, Malta, Latvia, Italy, Malta, Latvia and Spain were significantly closer to the simulated levels by 2022, indicating that the effects of the pandemic have lasted to a limited extent. Analysis of Fig 2 reveals that in most of these countries, the COVID-19

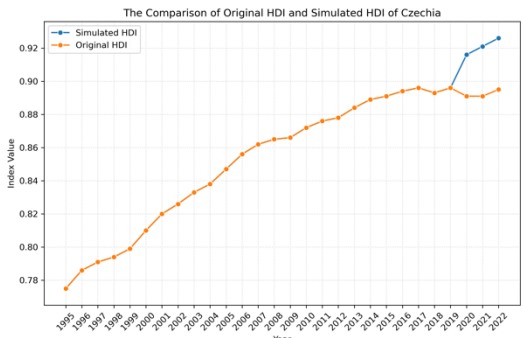
pandemic caused a direct decline in HDI, followed by a clear upward trend in the original HDI values. Cyprus and Ireland, in particular, were able to reach simulated HDI levels more quickly, as the effects of the pandemic on the original HDI were more limited.



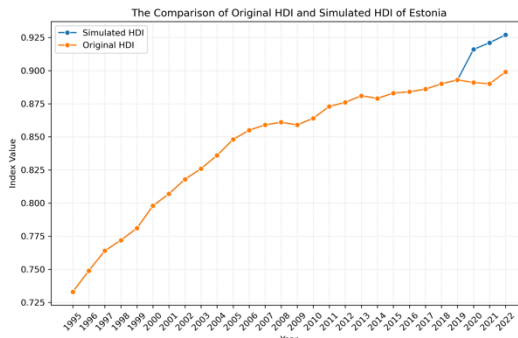
(a)



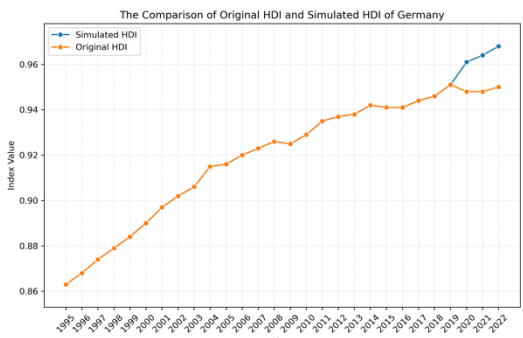
(b)



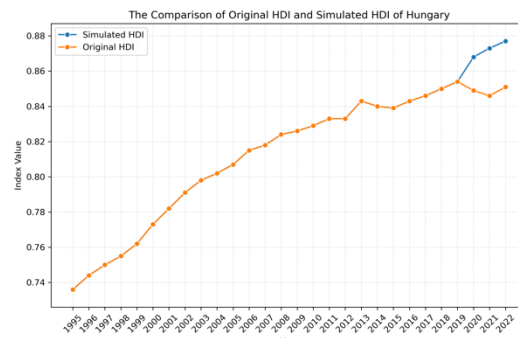
(c)



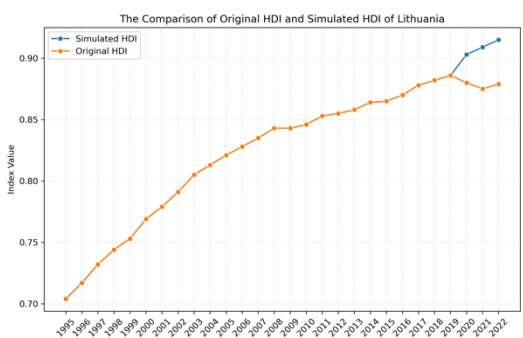
(d)



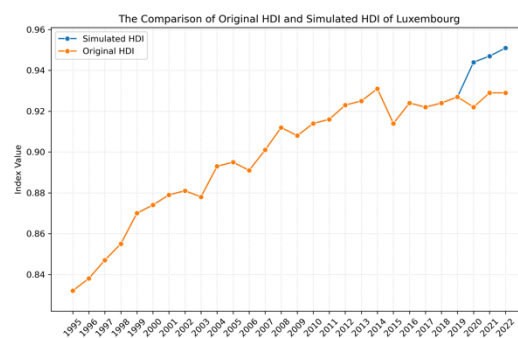
(e)



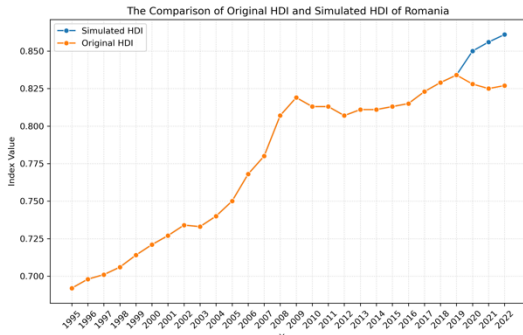
(f)



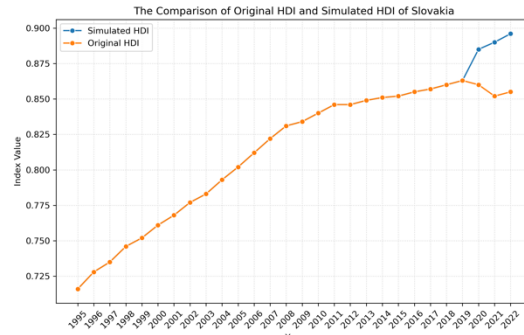
(g)



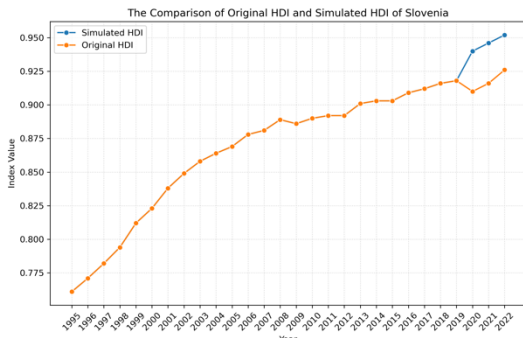
(h)



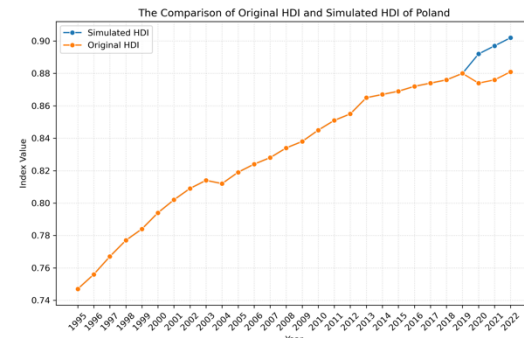
(i)



(i)



(j)



(k)

Figure 3. The HDI Graphics of Belgium, Bulgaria, Czech Republic, Estonia, Germany, Hungary, Lithuania, Luxembourg, Romania, Slovakia, Slovenia and Poland

In Belgium, Bulgaria, the Czech Republic, Estonia, Germany, Hungary, Lithuania, Luxembourg, Romania, Slovakia, Slovenia, Luxembourg, Romania, Slovakia, Slovenia and Poland, the negative impact of the pandemic has had a more lasting impact on HDI and the recovery

process has not yet gained sufficient momentum. These countries have not fully recovered from the decline in HDI at the beginning of the pandemic and have difficulties in reaching the simulated HDI levels.

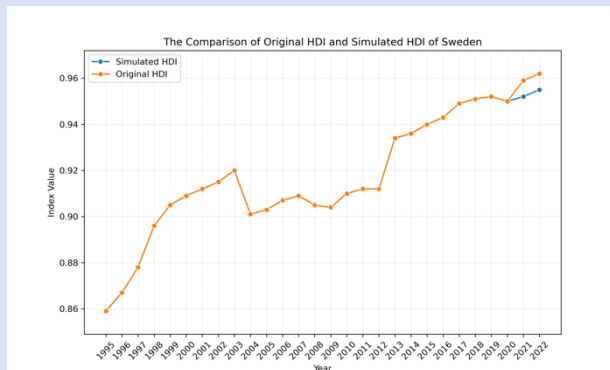


Figure 4. The HDI Graphic of Sweden.

When the effects of the COVID-19 pandemic on the HDI for Sweden are analyzed, it is found that the pandemic has produced some positive results. After the pandemic year, it was observed that the original HDI showed an above-normal increase, which is thought to have caused the simulated HDI to remain below the original HDI.

### Conclusion

The Netherlands and Portugal experienced a significant drop in Human Development Index (HDI) values at the onset of the COVID-19 pandemic, but both countries have shown a strong recovery, returning to the HDI levels estimated in a no-pandemic scenario by 2022. This recovery is largely attributed to both countries' rapid

and effective government interventions, health policies, high immunization rates and financial assistance from the European Union. The Netherlands' strong health infrastructure and economic diversification, and Portugal's recovery trends that quickly overcame the economic downturn, are projected to have enabled a rapid improvement in human development indicators in both countries. The reasons behind this recovery are predicted to be that successful management strategies in health and economic policies will allow the HDI to show sustainable growth in the long run, regardless of the pandemic.

In countries such as Austria, Croatia, Cyprus, Denmark, Finland, France, Greece, Ireland, Italy, Malta, Latvia, Italy, Malta, Latvia and Spain, the fact that the negative impacts of COVID-19 only approached the simulated HDI values by 2022 suggests that the recovery trend observed in these countries may be a result of the long-lasting effects of the pandemic in education, health and economic areas. The pandemic's economic contractions, disruptions in health systems and disruptions in the education sector may have had longer-lasting negative effects on certain components of the HDI (especially health and education) in these countries. In addition, although the financial and health assistance received in EU member states has led to a limited recovery in some countries, factors such as economic vulnerabilities, long-term labor force loss and unemployment, and disruptions in education, especially in low-income countries, may have prevented the HDI from fully recovering. In addition, post-pandemic social and economic recovery processes may have been faster in countries with stronger health and education infrastructure, whereas in countries with less developed economies, this recovery process may have taken longer, leading to lower HDI values than in the no-pandemic scenario. While these countries have experienced a reacceleration of economic growth, improved labor markets, and restructuring in the education sector, it suggests that more time will be needed for the negative post-pandemic effects of the HDI to fully dissipate.

During the pandemic, EU countries such as Belgium, Bulgaria, Czech Republic, Estonia, Germany, Hungary, Lithuania, Luxembourg, Romania, Slovakia, Slovenia, Luxembourg, Lithuania, Luxembourg, Romania, Slovakia, Slovenia and Poland have experienced lasting negative impacts on HDI. These countries have faced a range of problems, including capacity limitations of their health systems, disruptions in education and labor force losses. Germany, despite having a strong health system, has been slower to recover due to high morbidity and mortality rates during the pandemic. Similarly, high mortality rates and labor force losses in countries such as Belgium and Luxembourg led to lower HDI values compared to the no-pandemic scenario. In Central and Eastern European countries such as Poland, the Czech Republic, Slovakia and Hungary, pressures on health care and major disruptions in education led to persistent negative changes in the HDI. In lower-income EU countries, such as Romania and Bulgaria, the pandemic had deeper and longer-lasting

effects due to inadequacies in health and education systems. In these countries, economic difficulties and infrastructure deficiencies during the pandemic led to a decline in HDI values and the recovery process was limited. The Baltic countries of Estonia and Lithuania have similarly failed to show a significant improvement in HDI values due to deficiencies in health and education. These countries felt the negative effects of the pandemic for a long time, as they were economically weaker and tried to recover after the pandemic with limited resources.

In the analysis, there is a special case for Sweden. When the effects of COVID-19 on the Human Development Index (HDI) are analyzed, it is observed that the pandemic has led to certain positive outcomes. In particular, Sweden, which has a highly developed healthcare system and education infrastructure, has increased social welfare by digitizing and strengthening these structures during the pandemic, resulting in a positive impact on HDI values. Strengthening the healthcare system and accelerating the digital transformation in the education sector led to improvements in HDI, regardless of the pandemic-specific negative effects of COVID-19. However, in a scenario without the pandemic, these improvements could have been expected to occur over a longer timeframe and at a slower pace. Moreover, economic growth and social welfare gains, which gained momentum with the impact of COVID-19, would have been more limited without the pandemic. In this context, while Sweden's HDI values are likely to have fallen to lower levels compared to the projected estimates in a non-pandemic situation, the impact of COVID-19 contributed to the country's higher HDI values.

#### Acknowledgements

This paper is an extended version of an oral presentation at the CAIAC 2024 conference.

#### References

- [1] UNDP, "Human Development Report 2023-24," 2024.
- [2] C. V. Joana Carolina, R. G. Gabriela, and M. C. Ismael, "Effect of the economic, social and technological factors on sustainable entrepreneurship over time," *J Bus Res*, vol. 173, p. 114457, Feb. 2024, doi: 10.1016/J.JBUSRES.2023.114457.
- [3] A. Goswami, H. Roy, and P. Giri, "Does HDIs level sustainable during 1999/2018 across cross-nations? An application of bootstrap quantile regression approach," *Sustainable Operations and Computers*, vol. 2, pp. 127–138, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.SUSOC.2021.06.001.
- [4] C. A. Mbouteu Megaptche, S. Waita, H. Kim, P. M. Musau, and B. Odhiambo Aduda, "Multi-dimensional analysis in optimal sizing of hybrid renewable energy systems for green energy growth in Garoua, Cameroon: From techno-economic and social models to policies," *Energy Convers Manag*, vol. 315, p. 118804, Sep. 2024, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2024.118804.
- [5] K. Tong, "Urbanization moderates the transitional linkages between energy resource use, greenhouse gas emissions, socio-economic and human development: Insights from subnational analyses in China," *J Clean*

- Prod*, vol. 476, p. 143776, Oct. 2024, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2024.143776.
- [6] A. Mirahmadizadeh et al., "Correlation between human development index and its components with COVID-19 indices: a global level ecologic study," *BMC Public Health*, vol. 22, no. 1, pp. 1–8, Dec. 2022, doi: 10.1186/S12889-022-13698-5/FIGURES/1.
- [7] R. P. Masini, M. C. Medeiros, and E. F. Mendes, "Machine learning advances for time series forecasting," *J Econ Surv*, vol. 37, no. 1, pp. 76–111, Feb. 2023, doi: 10.1111/JOES.12429.
- [8] F. B. Khan and A. Noor, "Prediction and Classification of Human Development Index Using Machine Learning Techniques," in *2021 5th International Conference on Electrical Information and Communication Technology, EICT 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. doi: 10.1109/EICT54103.2021.9733645.
- [9] C. V. C. Palamim, M. N. Boschiero, F. E. Valencise, and F. A. L. Marson, "Human Development Index Is Associated with COVID-19 Case Fatality Rate in Brazil: An Ecological Study," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 9, p. 5306, May 2022, doi: 10.3390/IJERPH19095306/S1.
- [10] S. Sareminia, "Upgrading the Human Development Index (HDI) to control pandemic mortality rates: A data mining approach to COVID-19," *Journal of AI and Data Mining*, vol. 10, no. 3, pp. 345–360, Jul. 2022, doi: 10.22044/JADM.2022.11503.2307.
- [11] M. F. Groppo, F. C. Groppo, S. R. Figueroba, and A. C. Pereira, "Influence of Population Size, the Human Development Index and the Gross Domestic Product on Mortality by COVID-19 in the Southeast Region of Brazil," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 21, p. 14459, Nov. 2022, doi: 10.3390/IJERPH192114459/S1.
- [12] M. H. Heo, Y. D. Kwon, J. Cheon, K. B. Kim, and J. W. Noh, "Association between the Human Development Index and Confirmed COVID-19 Cases by Country," *Healthcare 2022, Vol. 10, Page 1417*, vol. 10, no. 8, p. 1417, Jul. 2022, doi: 10.3390/HEALTHCARE10081417.
- [13] G. Kavuran, Ş. Gökhan, and C. Yeroğlu, "COVID-19 and human development: An approach for classification of HDI with deep CNN," *Biomed Signal Process Control*, vol. 81, p. 104499, Mar. 2023, doi: 10.1016/J.BSPC.2022.104499.
- [14] E. Ozden and D. Guleryuz, "Optimized Machine Learning Algorithms for Investigating the Relationship Between Economic Development and Human Capital," *Comput Econ*, vol. 60, no. 1, pp. 347–373, Jun. 2022, doi: 10.1007/S10614-021-10194-7/FIGURES/4.
- [15] A. Jannani, N. Sael, and F. Benabbou, "Predicting Quality of Life using Machine Learning: case of World Happiness Index," *2021 4th International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies, ISAECT 2021*, 2021, doi: 10.1109/ISAECT53699.2021.9668429.





# Sivas Cumhuriyet University Journal of Engineering Faculty

| cumfad.cumhuriyet.edu.tr |

Founded: 2023

Available online, ISSN

Publisher: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

## Bekenbey AI: Innovative Solutions at the Intersection of Deep Learning and Law

Erdicem Yucesan<sup>1,a</sup>, Mehmet Ali Erkan<sup>2,b</sup>, Ali Deveci<sup>3,c</sup>, Ihsan Tolga Medeni<sup>2,d</sup>

<sup>1</sup>Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara,06760, Türkiye

<sup>2</sup>Middle East Technical University, Ankara, 06800, Türkiye

<sup>3</sup>Hacettepe University, Ankara,06800, Türkiye

### Research Article

#### History

Received: 25/11/2024

Accepted: 10/12/2024

### ABSTRACT

This research introduces a cutting-edge integration of generative artificial intelligence (AI) within the realm of law, creating a sophisticated application tailored for legal professionals, organizations, and the public. The Bekenbey AI model show cased in this study is distinguished by its substantial potential, with key performance metrics such as accuracy, precision, recall, F1- score, ROUGE, and BLEU scores illustrating its adeptness at legal analytics. The model demonstrates exceptional precision and adaptability across various legal sectors and frameworks, establishing it as an indispensable asset for modern legal challenges. The findings suggest that the Bekenbey AI proficiently handles and interprets legal texts, significantly aiding the progression of legal systems. The model's efficiency escalates with the expansion of dataset sizes, emphasizing its capacity for extensive data analysis. Ongoing enhancements are focused on increasing the model's precision and extending its functionality to a wider array of legal contexts. To the best of our knowledge, this study represents the first instance of combining the domains of artificial intelligence and law using real data.

Keywords: Advanced Generative AI, Deep Learning Innovations, Bekenbey AI Model, AI Applications in Law, Legal Framework Analysis, Legal Document Examination

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

<sup>a</sup> erdicemyc@gmail.com

<sup>c</sup> ybilqe@medicine.ankara.edu.tr

ORCID

ORCID

<sup>b</sup> mail

<sup>d</sup> mail

ORCID

ORCID

**How to Cite:** Yucesan E, Erkan MA, Deveci A, Medenia IT (2024) Bekenbey AI: Innovative Solutions at the Intersection of Deep Learning and Law, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 185-192

## Introduction

Deep Learning (DL), a sophisticated branch of machine learning, utilizes multi-layered neural networks to learn data representation through hierarchical levels of abstraction [1]. This advanced representation enhances proficiency in complex tasks including image recognition, natural language processing (NLP), and intricate data generation, thus broadening the functional scope of creative AI systems across diverse applications [2]. According to a study conducted in 2024, 70% of leading law firms in the United States predicted in 2023 that generative artificial intelligence would create value-added work for their clients. This percentage indicates a growing convergence between GenAI and the legal system [3].

The legal system, a structured regime of rules and principles enforced by institutions, governs societal behavior. AI's integration into this framework promises enhancements in legal analytics, predictive modeling, and document management through its capacity to analyze extensive datasets, recognize patterns, and facilitate complex decision-making processes. Particularly, DL models, equipped with advanced NLP capabilities, play a crucial role in interpreting and generating legal language with increasing precision and subtlety. These capabilities lead to substantial improvements in drafting legal documents, predicting case outcomes based on historical data, and conducting in-depth analyses of legal texts [4]. In recent years, the intersection of law and Generative AI has become a focal point for research, driven by the potential of AI to transform legal processes [5]. Moreover, researchers are increasingly focused on the use of AI for predictive legal analysis. By applying Deep Learning techniques, these systems can analyze large datasets of legal cases to identify trends, forecast outcomes, and suggest strategic approaches for legal practitioners. This predictive capability is especially valuable in litigation, where anticipating the likely outcome of a case can influence legal strategy and decision-making. This study explores the potential transformative impacts of integrating Artificial Intelligence (AI) technologies, particularly Generative

Artificial Intelligence (GAI) and Deep Learning (DL), into the legal sector. GAI, employing mechanisms such as Generative Adversarial Networks (GANs) and Variational Autoencoders (VAEs), possesses the capability to generate new, high-quality data that accurately reflects the distribution of input datasets. This capability enables the production of realistic outputs in various formats—text, images, and audio—highlighting the versatility and expansive potential of creative models in data generation [6].

Bekenbey AI model aims to leverage law-based AI technologies to address prevalent challenges in the legal sector, offering innovative solutions that benefit legal professionals and the broader community [7]. The paper is organized as follows. In Section II, we provide background information on DL and ANN, introduce Legislation and Court, and give an overview of Integration of Artificial Intelligence into Legislative and Court Systems. Section III

explores related studies in the literature. The proposed approach is detailed in Section IV. Section V and Section VI outlines the experimental settings and discusses the results. Finally, Section VII concludes the study.

## Background

### *Deep Learning and Artificial Neural Networks*

Deep Learning (DL) represents a fundamental domain within machine learning, distinguished by its utilization of Artificial Neural Networks (ANNs) comprising multiple layers [8]. One of the key strengths of DL lies in its capacity to autonomously extract and learn hierarchical representations from complex and large-scale and datasets. Unlike conventional machine learning models, which necessitate manual feature engineering by domain experts, DL models indicate a remarkable proficiency in automatically uncovering intricate patterns within data, particularly in the context of unstructured datasets such as audio, image, and textual information. This capability is most prominently exemplified by the success of Convolutional Neural Networks (CNNs), which have emerged as the benchmark for image recognition and various other tasks in computer vision. Similarly, Recurrent Neural Networks (RNNs) and transformers have essentially transformed the field of natural language processing, facilitating significant advancements in language modeling, machine translation, and other related areas [9]. Transformer-based models like BERT and GPT have advanced deep learning in NLP by using self-attention mechanisms to understand contextual information, overcoming the limitations of sequential processing in older architectures like RNNs. This improvement enhances performance in tasks such as language modeling, machine translation, and text generation. The evolution of deep learning and ANNs has also broadened AI applications, including in the legal industry, where AI technologies are enhancing efficiency and accuracy in legal research, document review, and contract analysis. AI systems can now rapidly sift through vast amounts of legal documents, extracting related information and providing lawyers with insights that would have taken much longer to achieve manually. This capability not only improves the speed of legal processes but also reduces costs for clients, making legal services more accessible [10].

### *Legislation and Court*

Legislation and court systems are fundamental components of the legal framework that governs societal behavior and resolves disputes [11]. Legislation refers to the body of laws enacted by a legislative body, while courts are institutions responsible for adjudicating legal disputes based on these laws [12]. The evolution of these systems reflects the complexity and dynamism of legal governance. The advent of artificial intelligence (AI)

presents new opportunities for enhancing legislative and judicial processes, though it also introduces challenges that must be addressed [13]. 1) Legislation: The process of enacting laws by a legislative body, which includes drafting, debating, and passing legal statutes [14]. Legislation serves as the foundation for legal norms and regulations governing various aspects of society. 2) Court: An institution responsible for adjudicating legal disputes, interpreting laws, and ensuring justice. Courts operate at various levels, including trial-, appellate-, and supreme-courts, each with specific roles and functions [15].

### Related Work

The integration of AI into various domains has driven significant advancements in methodologies across sectors. The deployment of Generative AI (GAI) and Deep Learning models, such as Variational Autoencoders (VAEs), Generative Adversarial Networks (GANs), and transformers, has notably transformed data-driven research. These models autonomously learn complex patterns in large datasets, enabling the generation of high-quality synthetic data that closely mirrors the original data.

The datasets employed in these studies often comprise extensive collections of unstructured data, such as text, images, and audio, sourced from diverse origins. For instance, transformer-based models have revolutionized the processing of textual datasets, including Common Crawl and OpenWeb-Text, in natural language processing tasks [16]. AI has significantly impacted the social sciences and humanities. Research by Binns has explored AI's ethical considerations, focusing on fairness and bias mitigation. In these fields, AI employs models like transformers and RNNs to analyze textual and behavioral data, providing insights into human behavior and social trends [17]. In the legal domain, AI's application has witnessed a marked increase, particularly in areas such as legal document generation, predictive analytics, and case outcome prediction. One of the seminal studies in the field of legal prediction is the research conducted by Katz, Bommarito, and Blackman (2017), which utilized advanced machine learning models to forecast the outcomes of Supreme Court cases with notable accuracy. Their study primarily employed a random forest classifier as the central machine learning technique for predicting case outcomes. The model achieved a remarkable accuracy rate of 71.9% at the individual Justice vote level over a historical period spanning from 1816 to 2015. Additionally, the model demonstrated an accuracy of 70.2% in predicting the overall outcomes of cases, underscoring the practical utility of AI in the domain of legal forecasting [18]. Predictive analytics in the legal field employs machine learning models to forecast legal case outcomes based on historical data, offering valuable insights to legal practitioners [19]. The automation of legal text creation, facilitated by advanced DL models, represents a significant breakthrough. For example, applying GANs in generating synthetic legal documents

illustrates AI's potential to handle complex, structured data with high precision [20]. Abimbola, de La Cal Marin, and Tan (2024) explored deep learning in sentiment analysis for Canadian maritime case law, developing a framework to enhance legal analytics. Their study highlights the automation of legal document extraction and the integration of sentiment analysis with advanced deep learning models [21]. These advancements highlight AI's transformative potential in improving the efficiency and accuracy of legal processes. The Bekenbey AI project stands out as a pioneering initiative, integrating Generative AI (GAI) and Deep Learning (DL) models into a comprehensive system specifically designed for legal document generation and predictive legal analytics. Unlike previous studies that focused on general applications or single-task models, Bekenbey AI employs a hybrid approach, combining GANs, VAEs, and transformers to create contextually accurate legal documents and provide predictive insights for real-time legal strategies. To our knowledge, this is the first study that successfully integrates GANs, VAEs, and transformers into a unified hybrid model specifically tailored for the legal domain.

### Proposed Model: Bekenbey AI

In an era where technology integration in law is crucial, our Bekenbey AI model represents a transformative approach. Utilizing advanced NLP and DL techniques, Bekenbey is designed to streamline complex legal processes and enhance legal document management and analysis [22]. This system integrates various NLP techniques, including tokenization, stopword removal, lemmatization, and stemming, to improve the parsing and comprehension of complex legal texts. It also utilizes text classification algorithms like Logistic Regression, SVM, and Random Forests to efficiently categorize legal documents across different domains [23]. The core functionality of Bekenbey AI is supported by advanced deep learning architectures, including Recurrent Neural Networks (RNN), Long Short-Term Memory (LSTM) networks, and the innovative Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) model. These technologies are essential for processing, understanding and generating legal language and structures, enabling the system to perform deep analyses and generate outputs that closely resemble human legal reasoning. To further augment its capabilities, Bekenbey integrates Generative AI technologies, such as Generative Adversarial Networks (GANs) and Variational Autoencoders (VAEs) to create realistic and contextually appropriate legal documents.

This feature not only accelerates document creation but also provides unparalleled customization, adapting to specific case requirements or legal stipulations [24]. In addressing the challenges of data management within legal processes, the model utilizes both SQL and NoSQL databases, including PostgreSQL and MongoDB, ensuring robust and flexible data handling. Compliance with stringent security standards and privacy regulations, such

as the General Data Protection Regulation (GDPR), is achieved through sophisticated encryption and anonymization techniques. The backend infrastructure of Bekenbey is meticulously designed using Python, with frameworks such as Django and Flask. APIs are developed using FastAPI to ensure efficient integration and communication within the legal tech ecosystem. This configuration is designed to meet the high demands for security and operational efficiency that are critical in legal applications. Moreover, the model significantly reduces the time and costs associated with traditional legal procedures while enhancing the accuracy and accessibility of legal services, marking a significant milestone in legal technology. It not only streamlines legal workflows but also provides powerful predictive analytics and decision-support tools, enhancing the ability of legal professionals to manage cases with greater efficacy and confidence [25].

Figure 1 illustrates the architecture of this comprehensive data processing and artificial intelligence modeling system. This system encompasses data collection, preprocessing, various modeling layers and output processes. In the Data Collection section, data is systematically gathered from diverse sources, including legal databases, government and corporate websites, academic and research resources, digital libraries, and archives. During the Data Preprocessing stage, the collected data undergoes cleaning, tokenization, stemming, and vectorization [26]. Once transferred to the database server, the data is processed through various embedding layers, employing techniques such as Word Embeddings, Word2Vec and BERT. The CNN Layer and RNN/LSTM Layer process the text using deep learning techniques such as ReLU, pooling layers, and GRU. The Transformer Layer handles tasks such as text translation and summarization using advanced techniques like the attention mechanism and multi-head attention. The Classification Layer classifies the data utilizing densely connected layers, softmax, and cross-entropy loss techniques. Finally, the Output Layer encompasses model training, validation, and deployment processes. The system is optimized with AI Ring nodes supported by load balancing and message queuing mechanisms [27] [28][29] [30].

## Experiments

### *Dataset and Preprocessing*

The experiments utilized datasets compiled from multiple sources, including legal databases, government and corporate websites, academic resources, and digital libraries. The datasets comprised a mix of structured data (e.g., legal codes, statutes) and unstructured data (e.g., case law texts, legal opinions). All datasets, anonymized by the Torun Law and Consulting, were subjected to a comprehensive preprocessing pipeline that included cleaning, tokenization, stemming, and vectorization. This step ensured that the data was uniformly formatted and suitable for input into the model.

### *Experimental Setup*

The model was implemented in Python, utilizing TensorFlow and PyTorch for deep learning, along with NLTK and SpaCy for natural language processing tasks. The setup also incorporated tools for hyperparameter tuning and performance monitoring. The model architecture included embedding layers (Word2Vec, BERT), CNN, RNN/LSTM, and Transformer layers. Each was carefully configured to optimize performance for tasks like text classification, summarization, and translation. The experiments involved tuning key hyperparameters, including learning rate, batch size, number of epochs, and embedding dimensions. A combination of grid search and random search techniques was employed to identify the optimal settings for each hyperparameter. The model was trained on a diverse set of legal documents, with training data split into training, validation, and test sets. The training process involved iterative updates of model weights using backpropagation, with loss minimization achieved through the use of cross-entropy loss for classification tasks. Model performance was validated at regular intervals using the validation set. The validation process involved calculating accuracy, precision, recall, and F1-score metrics.

### *Performance Metrics*

#### *Accuracy, Precision, Recall and F1-Score:*

Accuracy measures a model's overall correctness by calculating the proportion of true results (both true positives and true negatives) among the total number of cases. For classifying legal documents, Precision, Recall, and F1-Score are crucial, especially with imbalanced datasets. Precision evaluates the proportion of correctly classified documents among predicted positives, minimizing false positives. Recall measures the model's ability to identify all relevant documents, reducing missed critical information. F1-Score, the harmonic mean of Precision and Recall, balances false positives and false negatives, making it particularly useful in legal document classification, where both over-inclusion and under-inclusion can have significant consequences.

#### *ROUGE and BLEU Scores:*

For text summarization tasks, the quality of the generated summaries was evaluated using ROUGE and BLEU scores, which compared the generated outputs to reference summaries

#### *Computation Time and Memory Usage:*

The scalability of the model was assessed by measuring computation time and memory usage across different dataset sizes, providing insights into the model's efficiency.

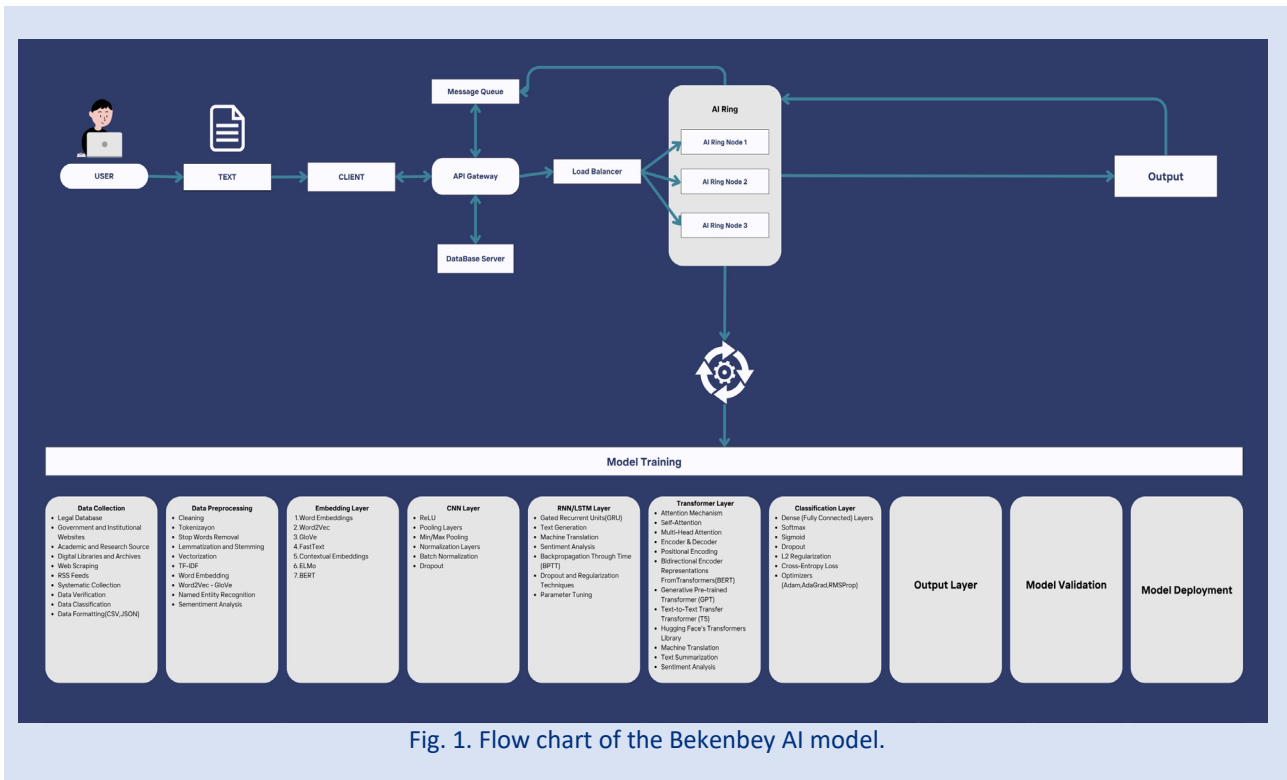


Fig. 1. Flow chart of the Bekenbey AI model.

### Experimental Results

In this study, the performance of the proposed model was thoroughly evaluated using a comprehensive set of metrics, including accuracy, precision, recall, and F1-score. These metrics were calculated across different sample sizes, allowing for an in-depth analysis of the model's behavior as the amount of training data increased. Figure 2 and Figure 3 illustrates the accuracy performance, and the computational time and memory usage (for ten different process) of the Bekenbey AI model respectively, while Table I presents its performance in terms of precision, recall, and F1-score. (Here, NoS: Number of Samples) Initially, the accuracy rate achieved with 4 samples was 45.65%, which increased to 88.73% with 50 samples.

This rise in accuracy highlights the significant improvement in the model's performance when trained with more data. Notably, a marked increase in accuracy was observed after 20 samples, indicating that the model possesses a higher learning capacity beyond a certain amount of data, resulting in more accurate predictions. An examination of the data revealed a significant increase in accuracy rates as the sample size increased. For instance, the accuracy rate obtained with 4 samples was 45.65%, which rose to 53.78% with 10 samples and further to 70.01% with 20 samples. These increases clearly demonstrate the dependency of accuracy on the sample size. The correlation between accuracy rate and sample size was calculated using the Pearson correlation coefficient. The resulting coefficient,  $r = 0.957$ , indicates a very strong positive correlation between these two variables. This finding confirms that increasing the sample

size significantly enhances the model's accuracy. Table II provides a detailed breakdown of the performance of the Bekenbey AI model in varying sample sizes (NoS: Number of Samples), as measured by the ROUGE-1(R-1), ROUGE-2(R-2), ROUGE-L(R-L) and BLEU score. The results demonstrate a consistently high level of performance across all metrics, indicating that the model effectively captures both lexical and syntactic features of the target text.

Precision also demonstrated positive trends with increasing sample sizes. Initially, the model exhibited lower precision with smaller datasets due to a higher proportion of false positives. For example, with 4 samples, the precision was 46%, indicating that nearly half of the positive predictions were incorrect. However, as the dataset grew, precision improved significantly, reaching 89% with 50 samples, suggesting enhanced reliability in positive predictions. Recall showed a similar improvement. At the smallest sample size of 4, recall was 45.00%, reflecting the model's initial difficulty in identifying all positive instances. As the sample size increased, recall steadily improved, reaching 88.00% with 50 samples. This increase indicates that the model becomes more effective at capturing all relevant data points as the training set grows. The F1-score, starting at 45.50% with 4 samples, also improved with more data, reaching 88.50% at 50 samples. The rise in the F1-score, alongside improvements in precision and recall, highlights the model's growing effectiveness in balancing the identification of positive instances and minimizing false positives as more data is processed.

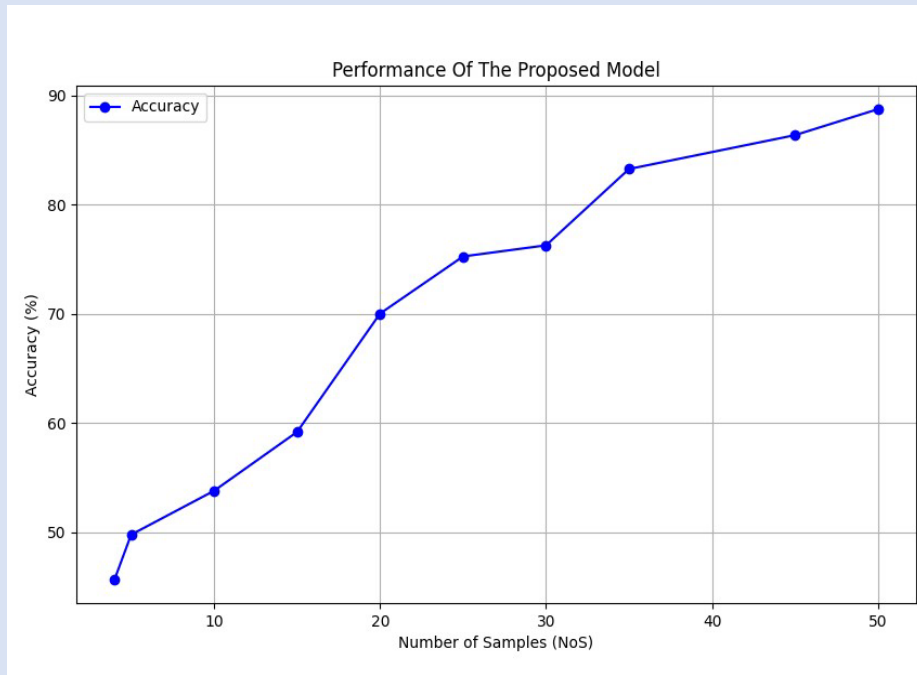


Fig. 2. The performance of Bekenbey AI model in terms of accuracy.

Table I Precision, Recall, and F1-Score Metrics for Different Sample Sizes

NoS	R-1(%)	R-2(%)	R-L(%)	BLEU(%)
4	85.50	78.30	84.20	76.50
5	87.00	80.10	85.80	78.20
10	89.30	83.50	88.20	81.60
15	91.50	86.20	90.10	84.50
20	93.00	88.00	91.70	86.80
25	94.50	89.80	93.20	88.90
30	95.20	90.70	94.00	89.80
35	96.50	92.30	95.30	91.50
45	97.00	93.00	96.00	92.30
50	97.50	93.80	96.50	93.00

Table 2 Rouge and Bleu Scores for Different Sample Sizes

NoS	Precision (%)	Recall (%)	F1-Score (%)
4	46.00	45.00	45.50
5	50.00	49.00	49.50
10	54.00	53.00	53.50
15	60.00	59.00	59.50
20	71.00	70.00	70.50
25	76.00	75.00	75.50
30	77.00	76.00	76.50
35	84.00	83.00	83.50
45	87.00	86.00	86.50
50	89.00	88.00	88.50

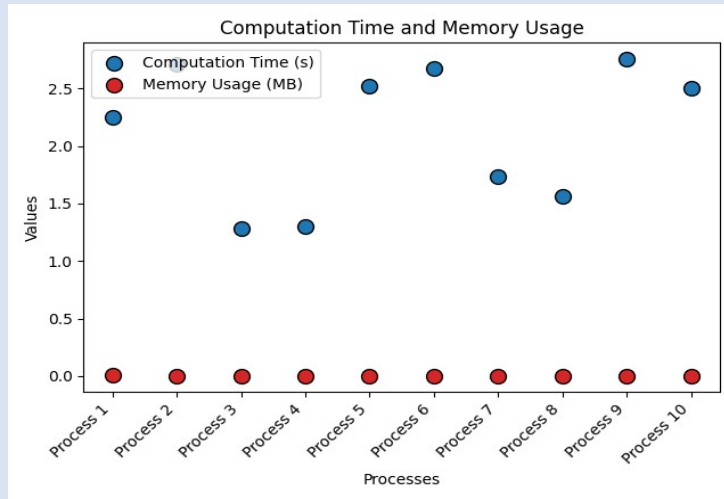


Fig. 3. Computation time and memory usage.

While the computational time varies depending on the content and length of the legal document being analyzed, there is no significant change observed in memory usage. This outcome is not unexpected, as text comparison inherently incurs a temporal cost, but it does not result in a change in the memory allocated within the same window size during a given unit of time. The ROUGE-1 scores, reflecting unigram matches, start at 85.5% for a sample size of 4 and increase to 97.5% as the sample size reaches 50, indicating improved alignment with the reference text as data exposure grows. ROUGE-2 scores, accounting for bigram matches, rise from 78.3% to 93.8%, highlighting the model's ability to maintain contextual coherence and phrase-level dependencies, crucial for fluent text generation. ROUGE-L scores, which measure the longest common subsequence, show a similar trend, starting at 84.2% and reaching 96.5%, indicating the model's effectiveness in preserving the reference text's structure. BLEU scores, which assess text similarity across various n-grams, also improve from 76.5% to 93%, confirming the model's strong performance in generating accurate and contextually appropriate text.

This study demonstrates that the proposed model exhibits high performance with large datasets and that accuracy improves with an increasing number of samples. These findings indicate that the model could be an effective tool for large-scale data analysis and applications. However, achieving higher accuracy rates and enhancing the model's overall performance will require the evaluation of additional strategies and improvements. Future work should aim to further enhance the model's performance and expand its applicability across a broader spectrum of applications.

## Conclusion

In this study, we integrated generative AI with legal domains to develop an application serving citizens, organizations, and legal professionals. The proposed Bekenbey AI model demonstrates notable performance in accuracy, precision, recall, F1-score, ROUGE, and BLEU scores, highlighting its potential to enhance legal systems. The model's strong performance across various metrics indicates its effectiveness in processing and analyzing legal texts. Its ability to generalize across different legal fields and adapt to various legal systems further enhances its practical utility and relevance to current legal challenges. To our knowledge, this is the first study to integrate GANs, VAEs, and transformers into a unified hybrid model for the legal domain, using real-world data. Our future work(s) will focus on improving the model's capabilities by: i) Analyzing different generative models in legal contexts to identify the most effective approaches. ii) Conducting comparative analyses to evaluate the strengths and limitations of various models. iii) Testing the proposed model on different datasets and application domains to assess performance and adaptability. iv) Exploring advanced techniques and strategies to enhance accuracy and overall performance.

## References

- [1] T. Rüz and C. Beisbart, "The importance of understanding deep learning," *Erkenntnis*, vol. 89, no. 5, pp. 1823–1840, 2024.
- [2] "Reward Value-Based Goal Selection for Agents' Cooperative Route Learning Without Communication in Reward and Goal Dynamism – SN Computer Science – link.springer.com." <https://link.springer.com/article/10.1007/s42979-020-00191-2>. [Accessed 22-08-2024].
- [3] "GenAI: predicted impact at top U.S. law firms, statista.com." <https://www.statista.com/statistics/1456037/genai-predicted-impact-at-top-us-law-firms/>, 2024. [Accessed 20-08-2024].

- [4] “Balancing the scale: navigating ethical and practical challenges of artificial intelligence (AI) integration in legal practices - Discover Artificial Intelligence — link.springer.com.” <https://link.springer.com/article/10.1007/s44163-024-00121-8>. [Accessed 22-08-2024].
- [5] C. V. Chien and M. Kim, “Generative ai and legal aid: Results from a field study and 100 use cases to bridge the access to justice gap,” *Loyola of Los Angeles Law Review*, forthcoming, 2024.
- [6] “Generative Legal Minds - Harvard Law School Center on the Legal Profession — clp.law.harvard.edu.” <https://clp.law.harvard.edu/knowledge-hub/magazine/issues/generative-ai-in-the-legal-profession/generative-legal-minds/>. [Accessed 22-08-2024].
- [7] “AI and law: ethical, legal, and socio-political implications AI&SOCIETY-link.springer.com.” <https://link.springer.com/article/10.1007/s00146-021-01194-0>. [Accessed 22-08-2024].
- [8] O. A. Montesinos López, A. Montesinos López, and J. Crossa, “Fundamentals of artificial neural networks and deep learning,” in *Multivariate statistical machine learning methods for genomic prediction*, pp. 379–425, Springer, 2022.
- [9] W. Q. Yan, “Convolutional neural networks and recurrent neural networks,” in *Computational Methods for Deep Learning: Theory, Algorithms, and Implementations*, pp. 69–124, Springer, 2023.
- [10] M. Kauffman and M. Soares, “Ai in legal services: New trends in ai-enabled legal services. *soca*, 14, 223–226,” 2020.
- [11] S. Kumari, “From chaos to order: The role of law in society,” *Indian Journal of Integrated Research in Law Volume IV Issue II | ISSN*, vol. 2583, p. 0538, 2024.
- [12] L. Kern, H. P. George, L. L. Evanovich, J. M. Hodnett, and J. Freeman, “A review of us policy guidance and legislation on restraint and seclusion in schools: Considerations for improvement,” *Exceptional Children*, p. 00144029241247032, 2024.
- [13] Y. K. Dwivedi, L. Hughes, E. Ismagilova, G. Aarts, C. Coombs, T. Crick, Y. Duan, R. Dwivedi, J. Edwards, A. Eirug, et al., “Artificial intelligence (ai): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy,” *International journal of information management*, vol. 57, p. 101994, 2021.
- [14] F. H. Easterbrook, “What does legislative history tell us,” *Chi.-Kent L. Rev.*, vol. 66, p. 441, 1990.
- [15] R. D. González, V. F. Vásquez, and H. Mikkelsen, “Fundamentals of court interpretation,” *Theory, policy, and practice*, 1991.
- [16] A. Radford, J. Wu, R. Child, D. Luan, D. Amodei, I. Sutskever, et al., “Language models are unsupervised multitask learners,” *OpenAI blog*, vol. 1, no. 8, p. 9, 2019.
- [17] R. Binns, “Fairness in machine learning: Lessons from political philosophy,” in *Conference on fairness, accountability and transparency*, pp. 149–159, PMLR, 2018.
- [18] D. M. Katz, M. J. Bommarito, and J. Blackman, “A general approach for predicting the behavior of the supreme court of the united states,” *PloS one*, vol. 12, no. 4, p. e0174698, 2017.
- [19] N. Aletras, D. Tsarapatsanis, D. Preo, tiuc-Pietro, and V. Lampos, “Predicting judicial decisions of the european court of human rights: A natural language processing perspective,” *PeerJ computer science*, vol. 2, p. e93, 2016.
- [20] Q. Chen, Q. Wu, J. Chen, Q. Wu, A. van den Hengel, and M. Tan, “Scripted video generation with a bottom-up generative adversarial network,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 29, pp. 7454–7467, 2020.
- [21] B. Abimbola, E. D. L. C. Marin, and Q. Tan, “Enhancing legal sentiment analysis: A cnn-lstm document-level model,” *Preprints*, 2024.
- [22] “Introduction for artificial intelligence and law: special issue “natural language processing for legal texts” - Artificial Intelligence and Law — link.springer.com.” <https://link.springer.com/article/10.1007/s10506-019-09251-2>. [Accessed 22-08-2024].
- [23] “Evaluating Text Classification in the Legal Domain Using BERT Embeddings — link.springer.com.” [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-48232-8\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-48232-8_6). [Accessed 22-08-2024].
- [24] “A Comprehensive Overview and Comparative Analysis on Deep Learning Models: CNN, RNN, LSTM, GRU — arxiv.org.” <https://arxiv.org/abs/2305.17473>. [Accessed 22-08-2024].
- [25] “Solving NoSQL database governance & compliance with CI/CD — liquibase.com.” <https://www.liquibase.com/blog/solving-nosql-database-governance-and-compliance-challenges-with-ci-cd>. [Accessed 22-08-2024].
- [26] “Big data preprocessing: methods and prospects - Big Data Analytics — bdataanalytics.biomedcentral.com.” <https://bdataanalytics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s41044-016-0014-0>. [Accessed 22-08-2024].
- [27] “Papers with Code - Enriching Word Vectors with Subword Information — paperswithcode.com.” <https://paperswithcode.com/paper/enriching-word-vectors-with-subword>. [Accessed 22-08-2024].
- [28] “Deep CNN-LSTM with Word Embeddings for News Headline Sarcasm Detection — link.springer.com.” [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-14070-0\\_69](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-14070-0_69). [Accessed 22-08-2024].
- [29] “Language Models and Contextualised Word Embeddings — davidsbatista.net.” [https://www.davidsbatista.net/blog/2018/12/06/Word\\_Embeddings/](https://www.davidsbatista.net/blog/2018/12/06/Word_Embeddings/). [Accessed 22-08-2024].
- [30] “What Are Word Embeddings? | IBM — ibm.com.” <https://www.ibm.com/topics/word-embeddings>. [Accessed 22-08-2024].





## Use of Artificial Intelligence and Big Data Management in Healthcare Institutions

Assist. Prof. Dr. İpek Eroğlu<sup>1,a</sup>, Prof. Dr. Ulaş Başar Gezgin<sup>2,b</sup>,

<sup>1</sup>School of Pharmacy, Department of Pharmacy Business Administration, Istanbul Medipol University, Istanbul Medipol Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Department of Psychology, İstanbul Galata Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

### Research Article

#### History

Received: 26/11/2024

Accepted: 13/12/2024

### ABSTRACT

Medical AI is one of the hot topics in the research and applied fields of medicine. Various research mention privacy as a major ethical challenge for medical uses of AI. The good news is most of the AI tools are design to replace physician but to assist them. This reduces ethical challenges, while not eliminating all. Researchers state that although we are far from consensus in ethical uses of medical AI, we have more or less an agreement on key principles. If the medical data to be used to train AI is from a narrow sample of patients, it can err with larger groups. On the other hand, some other problems can be due to users. Thus, development of AI literacy is necessary. In other words, they have to learn which AI tools to use for various purposes. When we consider early versions of medical AI, we realize that they mad sense for explanation and teaching, but fail as an assistant for clinical practice, but this situation has been changing rapidly. Medical students are highly positive of medical AI, and believe that it will not replace but complement human doctors. There is a realistic anxiety that in a group of medical areas, especially radiology, AI will outperform human doctors. AI anxiety can also be due to perceived difficulty to use AI. A solution to ethical problems in medical AI is trustworthy AI model.

**Keywords:** AI; Medical AI; Medical Uses of AI; Ethical Uses of AI; Ethics Issues in Medical AI

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

<sup>a</sup> [ipek.eroqlu@medipol.edu.tr](mailto:ipek.eroqlu@medipol.edu.tr)

ORCID

<sup>b</sup> [ulas.gezgin@qalata.edu.tr](mailto:ulas.gezgin@qalata.edu.tr)

ORCID

**How to Cite:** Eroğlu İ, Gezgin UB (2024) Use of Artificial Intelligence and Big Data Management in Healthcare Institutions, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 193-196

## Introduction

Today what is expected from health institutions is to offer the services to protect individuals from diseases, to ensure the continuation of their health, to increase the health level of individuals, to provide the most rational treatment to patients to ensure their well-being and to help them achieve healthy aging and longevity. Although this aim is the same as yesterday's, the difference from past health service organizational activities is that the healthcare professionals have to struggle with the pressure of the technological destruction and change process because human physical strength, human intelligence and human skills have difficulty adapting to the mind-blowing speed of technological innovations.

Medical AI is one of the hot topics in the research and applied fields of medicine. Shreve et al. (2022) notes that "techniques with emerging clinical utility include whole blood multicancer detection from deep sequencing, virtual biopsies, natural language processing to infer health trajectories from medical notes, and advanced clinical decision support systems that combine genomics and clinomics" (p.842) [1].

Medical AI is especially successful in interpreting medical images [2, 3, 4, 5], which may accelerate the healing processes. This case will be especially influential over radiology departments [6]. Medical AI has social significance, as it promises to democratize medical care [7], whereby the goal of equal access to medical expertise can be attained.

Medical AI brings out its own problems such as disregard of patients' values [8], but this criticism can be technically met. Trust is another issue to consider [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]. Another key issue is the degree of acceptance of medical AI by medical staff [17]. Before all, we need to think about how to reduce bias in medical AI [18, 19]. On the other hand, a less common topic to discuss is the problem of how to reduce ecological footprint of medical AI [20], considering its enormous footprint. Various research mention privacy as a major ethical challenge for medical uses of AI [21, 22, 23, 24, 25]. The good news is most of the AI tools are designed not to replace physicians but to assist them [26]. This reduces ethical challenges, while not eliminating all.

## Theoretical Framework

Feng et al. (2024) state that although we are far from consensus in ethical uses of medical AI, we have more or less an agreement on key principles such as "transparency, justice and fairness, non-maleficence, responsibility and privacy" (p.1) [27]. Möllmann et al. (2021) [28] lists 5 similar ones: "beneficence, non-maleficence, autonomy, justice, and explicability" (p.1). Maccaro et al. (2024)'s list includes [29] "transparency, accountability, confidentiality, autonomy, trust and fairness" (p.1). Bommu (2022) [30] names "data privacy, transparency, accountability, bias, and equity" as ethical issues central for medical AI. Canadian Association of

Radiologists (CAR) Artificial Intelligence Working Group (2019) mentions "privacy, confidentiality, ownership, and sharing" (p.107). Another list composed by Masters (2023) features "data gathering, anonymity, privacy, consent, data ownership, security, bias, transparency, responsibility, autonomy, and beneficence" (p.574) [31].

Müller et al. (2021) lists the following for '10 Commandments of Ethical Medical AI':

"1. It must be recognizable that and which part of a decision or action is taken and carried out by AI.

2. It must be recognizable which part of the communication is performed by an AI agent.

3. The responsibility for an AI decision, action, or communicative process must be taken by a competent physical or legal person.

4. AI decisions, actions, and communicative processes must be transparent and explainable.

5. An AI decision must be comprehensible and repeatable.

6. An explanation of an AI decision must be based on state-of-the-art (scientific) theories.

7. An AI decision, action, or communication must not be manipulative by pretending accuracy.

8. An AI decision, action, or communication must not violate any applicable law and must not lead to human harm.

9. An AI decision, action, or communication shall not be discriminatory. This applies in particular to the training of algorithms.

10. The target setting, control, and monitoring of AI decisions, actions, and communications shall not be performed by algorithms." [32].

D'Souza et al. (2024) "presents twelve essential tips for addressing the major ethical concerns in the use of AI in medical education. These include emphasizing transparency, addressing bias, validating content, prioritizing data protection, obtaining informed consent, fostering collaboration, training educators, empowering students, regularly monitoring, establishing accountability, adhering to standard guidelines, and forming an ethics committee to address the issues that arise in the implementation of AI" (p.1) [33].

If the medical data to be used to train AI is from a narrow sample of patients, it can err with larger groups [34]. On the other hand, some other problems can be due to users. Thus, the development of AI literacy is necessary [34]. In other words, they have to learn which AI tools to use for various purposes [35].

When we consider early versions of medical AI, we realize that they made sense for explanation and teaching, but failed as an assistant for clinical practice [36]. However, this situation has been changing rapidly. According to Bélisle-Pipon et al. (2021), medical AI increases efficiency by "automatizing routine tasks and decreasing health-related costs, broadening access to healthcare delivery, targeting more precisely patient needs, and assisting clinicians in their decision-making" (p.1) [37].

Rosemann & Zhang (2022) lists various challenges involving medical AI such as “concerns regarding (i) the control, reliability, and trustworthiness of AI systems, (ii) privacy and surveillance, (iii) the impact of AI and automation on healthcare staff employment and the nature of clinical work, (iv) the effects of AI on health inequalities, justice, and access to medical care, and (v) challenges related to regulation and governance” (p.103) [38].

Alolabi, & Aarthy (2021) investigates ethical issues arising from medical uses of AI under six headings[39]:

- Accuracy, Reliability, and Continuous Updates
- Data Concerns: Bias, Privacy, and Security
- Transparency, Explainability, and Trust
- Liability, Oversight, and Consent
- Human Aspects: Depersonalization, Over-reliance, and Economic Impacts
- Accessibility, Equity, and Global Reach (p.30-44).

One reason people are not willing to use medical AI is the fact that they lack knowledge of algorithmic processes, which leads to a ‘black box’ feeling. However, Cadario (2021) [40] reports a successful intervention program that matches this lack of knowledge and accordingly improves willingness to use medical AI.

A solution to ethical problems in medical AI is the creation of a trustworthy AI model. According to Zhang & Zhang (2023) [41], five factors influence this model: “data quality, algorithmic bias, opacity, safety and security, and responsibility attribution” (p.1).

## Conclusion

There are many ethical challenges in terms of AI and using big data. One key element is data privacy, which involves protecting patient data. Another challenge is AI systems may reinforce inequalities in the data they are trained on. The other key element is transparency of how AI systems make decisions. When we succeed in improving AI-powered healthcare applications in the field of diagnostic support, clinical decision-making, and patient data management with ethical standards such as transparency, data confidentiality, accountability, and fairness this will persuade healthcare professionals to focus on AI literacy and embrace the challenges, paving the way to reliable AI models for a sustainable human-AI collaboration for positively evolving future healthcare facilities.

## References

[1] Shreve, J. T., Khanani, S. A., & Haddad, T. C. Artificial intelligence in oncology: current capabilities, future opportunities, and ethical considerations. *American Society of Clinical Oncology Educational Book*, 42, 842-851, 2022.

[2] Jin, S., Wang, B., Xu, H., Luo, C., Wei, L., Zhao, W., ... & Xu, W. AI-assisted CT imaging analysis for COVID-19

screening: Building and deploying a medical AI system in four weeks. *MedRxiv*, 2020-03, 2020.

[3] Rajpurkar, P., Chen, E., Banerjee, O., & Topol, E. J. AI in health and medicine. *Nature medicine*, 28(1), 31-38, 2022.

[4] Wang, B., Jin, S., Yan, Q., Xu, H., Luo, C., Wei, L., ... & Dong, J. AI-assisted CT imaging analysis for COVID-19 screening: Building and deploying a medical AI system. *Applied soft computing*, 98, 106897, 2021.

[5] Yang, Y., Zhang, H., Gichoya, J. W., Katabi, D., & Ghassemi, M. The limits of fair medical imaging AI in real-world generalization. *Nature Medicine*, 1-11, 2024.

[6] Alvarado, R. Should we replace radiologists with deep learning? Pigeons, error and trust in medical AI. *Bioethics*, 36(2), 121-133, 2022.

[7] Price, W., & Nicholson, I. I. Medical AI and contextual bias. *Harv. JL & Tech.*, 2019; 33, 65.

[8] Di Nucci, E. Should we be afraid of medical AI?. *Journal of Medical Ethics*, 45(8), 556-558, 2019.

[9] Durán, J. M., & Jongsma, K. R. Who is afraid of black box algorithms? On the epistemological and ethical basis of trust in medical AI. *Journal of Medical Ethics*, 47(5), 329-335, 2021.

[10] Ferrario, A., Loi, M., & Viganò, E. Trust does not need to be human: it is possible to trust medical AI. *Journal of Medical Ethics*, 47(6), 437-438, 2021.

[11] Kerasidou, C. X., Kerasidou, A., Buscher, M., & Wilkinson, S. Before and beyond trust: reliance in medical AI. *Journal of medical ethics*, 48(11), 852-856, 2022.

[12] Kundu, S. Measuring trustworthiness is crucial for medical AI tools. *Nature Human Behaviour*, 7(11), 1812-1813, 2023.

[13] Mainz, J. T. Medical AI: is trust really the issue?. *Journal of Medical Ethics*, 50(5), 349-350, 2024.

[14] Malešević, A., Kolesárová, M., & Čartolovni, A. Encompassing trust in medical AI from the perspective of medical students: a quantitative comparative study. *BMC Medical Ethics*, 25(1), 94, 2024.

[15] Quinn, T. P., Senadeera, M., Jacobs, S., Coghlan, S., & Le, V. Trust and medical AI: the challenges we face and the expertise needed to overcome them. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 28(4), 890-894, 2021.

[16] Zuchowski, L. C., Zuchowski, M. L., & Nagel, E. A trust based framework for the envelopment of medical AI. *Digital Medicine*, 7(1), 230, 2024.

[17] Huo, W., Yuan, X., Li, X., Luo, W., Xie, J., & Shi, B. Increasing acceptance of medical AI: the role of medical staff participation in AI development. *International journal of medical informatics*, 175, 105073, 2023.

[18] Estiri, H., Strasser, Z. H., Rashidian, S., Klann, J. G., Waghlikar, K. B., McCoy Jr, T. H., & Murphy, S. N. An objective framework for evaluating unrecognized bias in medical AI models predicting COVID-19 outcomes. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 29(8), 1334-1341, 2022.

[19] Ganz, M., Holm, S. H., & Feragen, A. Assessing bias in medical ai. In *Workshop on Interpretable ML in*

Healthcare at International Conference on Machine Learning (ICML), 2021.

[20] Truhn, D., Müller-Franzes, G., & Kather, J. N. The ecological footprint of medical AI. *European Radiology*, 34(2), 1176-1178, 2024.

[21] Marcu, L. G., Boyd, C., & Bezak, E. Current issues regarding artificial intelligence in cancer and health care. Implications for medical physicists and biomedical engineers. *Health and Technology*, 9, 375-381, 2019.

[22] Ostherr, K. Artificial intelligence and medical humanities. *Journal of Medical Humanities*, 43(2), 211-232, 2022.

[23] Price, W. N., & Cohen, I. G. Privacy in the age of medical big data. *Nature medicine*, 25(1), 37-43, 2019.

[24] Singh, J. P. The Impacts and Challenges of Generative Artificial Intelligence in Medical Education, Clinical Diagnostics, Administrative Efficiency, and Data Generation. *International Journal of Applied Health Care Analytics*, 8(5), 37-46, 2023.

[25] Vandemeulebroucke, T. The ethics of artificial intelligence systems in healthcare and medicine: from a local to a global perspective, and back. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*, 1-11, 2024.

[26] Hu, Z., Hu, R., Yau, O., Teng, M., Wang, P., Hu, G., & Singla, R. Tempering expectations on the medical artificial intelligence revolution: the medical trainee viewpoint. *JMIR Medical Informatics*, 10(8), e34304, 2022.

[27] Feng, Q. J., Harte, M., Carey, B., Alqarni, A., Monteiro, L., Diniz-Freitas, M., ... & Albuquerque, R. The risks of artificial intelligence: A narrative review and ethical reflection from an Oral Medicine group. *Oral diseases*, 2024.

[28] Möllmann, N. R., Mirbabaie, M., & Stieglitz, S. Is it alright to use artificial intelligence in digital health? A systematic literature review on ethical considerations. *Health informatics journal*, 27(4), 14604582211052391, 2021.

[29] Maccaro, A., Stokes, K., Statham, L., He, L., Williams, A., Pecchia, L., & Piaggio, D. Clearing the Fog: A Scoping Literature Review on the Ethical Issues Surrounding Artificial Intelligence-Based Medical Devices. *Journal of Personalized Medicine*, 14(5), 443, 2024.

[30] Bommu, R. Ethical Considerations in the Development and Deployment of AI-powered Medical Device Software: Balancing Innovation with Patient Welfare. *Journal of Innovative Technologies*, 5(1), 1-7, 2022.

[31] Masters, K. Ethical use of artificial intelligence in health professions education: AMEE Guide No. 158. *Medical Teacher*, 45(6), 574-584, 2023.

[32] Müller, H., Mayrhofer, M. T., Van Veen, E. B., & Holzinger, A. The Ten Commandments of Ethical Medical AI. *Computer*, 54(7), 119-123, 2021.

[33] Franco D'Souza, R., Mathew, M., Mishra, V., & Surapaneni, K. M. Twelve tips for addressing ethical concerns in the implementation of artificial intelligence in medical education. *Medical Education Online*, 29(1), 2330250, 2024.

[34] Uygun İlikhan, S., Özer, M., Tanberkan, H., & Bozkurt, V. How to mitigate the risks of deployment of artificial intelligence in medicine?. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 54(3), 483-492, 2024.

[35] Gezgin, U.B. AI Literacy: A Practical Exploration Through the Uses of AI Tools. 17. Ejons Uluslararası Kongresi "Teorikten Pratiğe Yapay Zeka ve Toplum", 21-22 Ağustos 2024. (pp.276-280). Institute Of Economic Development And Social Researches Publications. ISBN: 978-625-367-813-5; 2024. [https://www.ejonscongress.org/\\_files/ugd/614b1f\\_9620e8520c414a58bf8e9bf2f2da285e.pdf](https://www.ejonscongress.org/_files/ugd/614b1f_9620e8520c414a58bf8e9bf2f2da285e.pdf)

[36] Kulikowski, C. A. Beginnings of artificial intelligence in medicine (AIM): computational artifices assisting scientific inquiry and clinical art—with reflections on present aim challenges. *Yearbook of medical informatics*, 28(01), 249-256, 2019.

[37] Bélisle-Pipon, J. C., Couture, V., Roy, M. C., Ganache, I., Goetghebeur, M., & Cohen, I. G. What makes artificial intelligence exceptional in health technology assessment?. *Frontiers in artificial intelligence*, 4, 736697, 2021.

[38] Rosemann, A., & Zhang, X. Exploring the social, ethical, legal, and responsibility dimensions of artificial intelligence for health—a new column in Intelligent Medicine. *Intelligent Medicine*, 2(02), 103-109, 2022.

[39] Alolabi, H., & Aarthy, C. C. J. Ethical Challenges Presented by Advanced Artificial Intelligence in Diagnostics and Treatment Recommendations. *Journal of Empirical Social Science Studies*, 5(1), 30-47, 2021.

[40] Cadario, R., Longoni, C., & Morewedge, C. K. Understanding, explaining, and utilizing medical artificial intelligence. *Nature human behaviour*, 5(12), 1636-1642, 2021.

[41] Zhang, J., & Zhang, Z. M. Ethics and governance of trustworthy medical artificial intelligence. *BMC medical informatics and decision making*, 23(1), 7, 2023.



## Using the Random Forest Model to Improve Lung Cancer Diagnosis and Prognosis: A Pilot Study

Esin Bilgin<sup>1,a</sup>, Michelle M. Zhu<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup>Montclair 07043, NJ, USA

### Research Article

#### History

Received: 28/11/2024

Accepted: 13/12/2024

### ABSTRACT

There have been increasing research interests and efforts on the application of IoT network to healthcare systems. Our study primarily highlights the effectiveness of the Random Forest (RF) model in analyzing Lung cancer datasets and recognizing trends and patterns. Our study can detect different stages of lung cancer and predict the disease progression. Our work can offer automated and personalized diagnosis using a machine learning approach. The effectiveness of the random forest algorithm was used in the detection of lung cancer, which is an important problem area in the healthcare system, and successful results were obtained. Our approach can provide useful advice to healthcare professionals as a decision support method. Performance metrics such as accuracy, precision, recall and F1 scores were collected to measure the effectiveness of the model. This research has great potential in the diagnosis and treatment of lung cancer patients with low errors and fast speed.

**Keywords:** Lung cancer prediction, lung cancer classification, machine learning, random forest.

### Copyright



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

<sup>a</sup> [bilgine2@montclair.edu](mailto:bilgine2@montclair.edu)

<sup>a</sup> ORCID

<sup>b</sup> [zhumi@montclair.edu](mailto:zhumi@montclair.edu)

<sup>b</sup> ORCID

**How to Cite:** Bilgin E, Zhu MM (2024) Using the Random Forest Model to Improve Lung Cancer Diagnosis and Prognosis: A Pilot Study, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 197-204

## Introduction

Cancer is a disease that men and women have long sought to treat, unfortunately, it often leads to fatal outcomes. Lung cancer ranks as the most fatal cancer, responsible for more deaths than any other type, largely due to its late-stage diagnosis. While treatment is crucial, early detection is essential for survival rate. According to a study published in Statista [1], cancer is the second leading cause of death in the United States. Lung cancer ranks first numerically in cancer-related deaths in both men and women. There are two main types of lung cancer: i) small cell and ii) non-small cell. Non-small cell lung cancer is the most common type of lung cancer, and small cell lung cancer occurs most frequently in heavy smokers. Of course, this type of cancer has basic symptoms, like other diseases, but the thing to pay attention to is to check whether the cancer has spread to other organs.

Machine learning and its methods are rapidly finding a place in every aspect of our lives, and their importance is also increasing in the field of health. Especially, their use as a decision support system has enabled disease detection and diagnosis to produce successful results. One of these is the detection of lung cancer, which humanity has been struggling with for many years and trying to find a solution for.

In this study, unlike other studies, lung cancer prediction and classification were made using real data obtained from real-life individuals instead of synthetic, that is, produced data.

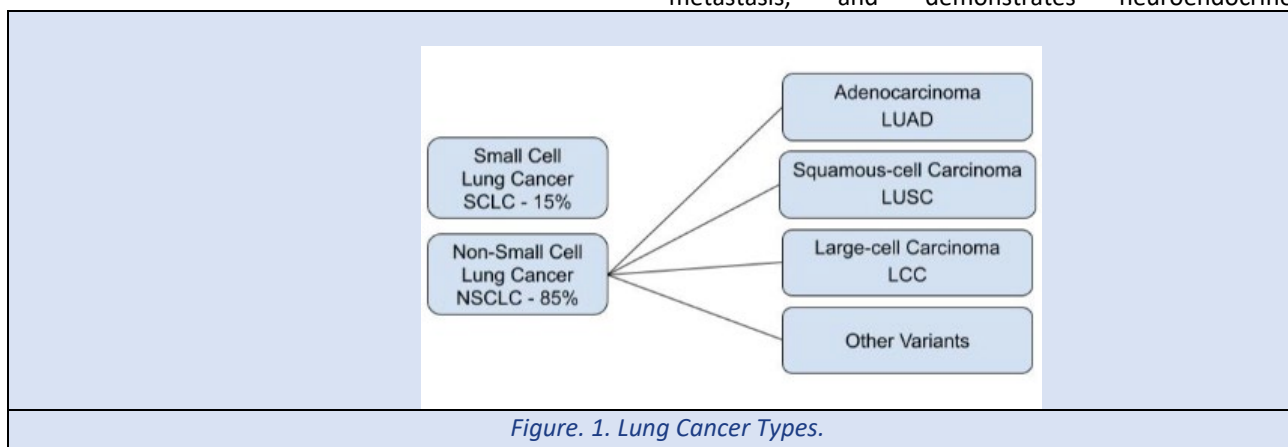
The paper is organized as follows. In Section II, we provide background information on Lung Cancer and Machine Learning, introduce Random Forest algorithm and Lung Cancer types, and give an overview of Integration of the artificial intelligence into lung cancer classification and prediction. Section III explores related studies in literature. The RF algorithm that generates predictions about lung cancer classification is detailed in Section IV. Section V and Section VI outline the

experimental settings and discuss the results. A discussion stating the strengths and downsides of proposed approach is given in Section VII. Finally, Section VIII concludes the study.

## Background

### Lung Cancer

Lung cancer primarily develops in the cells that line the airways within the lung tissues [3]. The lungs' essential role in delivering oxygen to the body is disrupted by the unchecked proliferation of atypical cells in one or both lungs [4]. Lung cancer, as seen in Figure 1, can be classified according to the size of the tumor cells into different subtypes which is adenocarcinoma (LUAD), squamous cell carcinoma (LUSC), and large cell carcinoma (LCC), and other variants. All these NSCLC subtypes occupy approximately 85% of all lung cancer cases. LUAD is now the most frequently diagnosed NSCLC with histopathologic feature of glandular origin in the peripheral zone of the lung, and the histological type with a stronger association with non-smokers and younger people. The second subtype, which is LUSC, develops from flat cells in the lining of the airways in the central zones of the lungs and is directly associated with smoking. The third subtype is LCC characterized by aggressive growth; tumor cells are large and exhibit no features of the other types and finds rare [5]. Besides these, the Other Variants of NSCLC include adenocarcinoma with squamous differentiation (adenosquamous carcinoma), spindle-shaped or sarcomatoid carcinoma, and carcinoid tumors, which together contribute less than 5% of NSCLC cases [6]. Another subtype of lung cancer is small cell lung cancer (SCLC) contributing 15% of the lung cancer cases, is closely related to smoking, has a high rate of metastasis, and demonstrates neuroendocrine



Primary risk factors associated with lung cancer include smoking, which is the most important factor, as well as exposure to second-hand smoke, air pollution, radon gas, asbestos, and various other environmental toxins. In

addition, one of the factors that significantly increases the risk of contracting the disease is genetic predisposition. Symptoms of lung cancer usually occur in their advanced stages and include persistent cough, chest pain, difficulty

breathing, unexplained weight loss and fatigue. Lung cancer, unfortunately, has a high mortality rate due to the frequent occurrence of late-stage diagnosis. Its high mortality rate unfortunately leads to more deaths globally

compared to other types of cancer [9]. On the other hand, advances in early diagnosis of the disease increase the patient's chances of survival and are promising in health science.

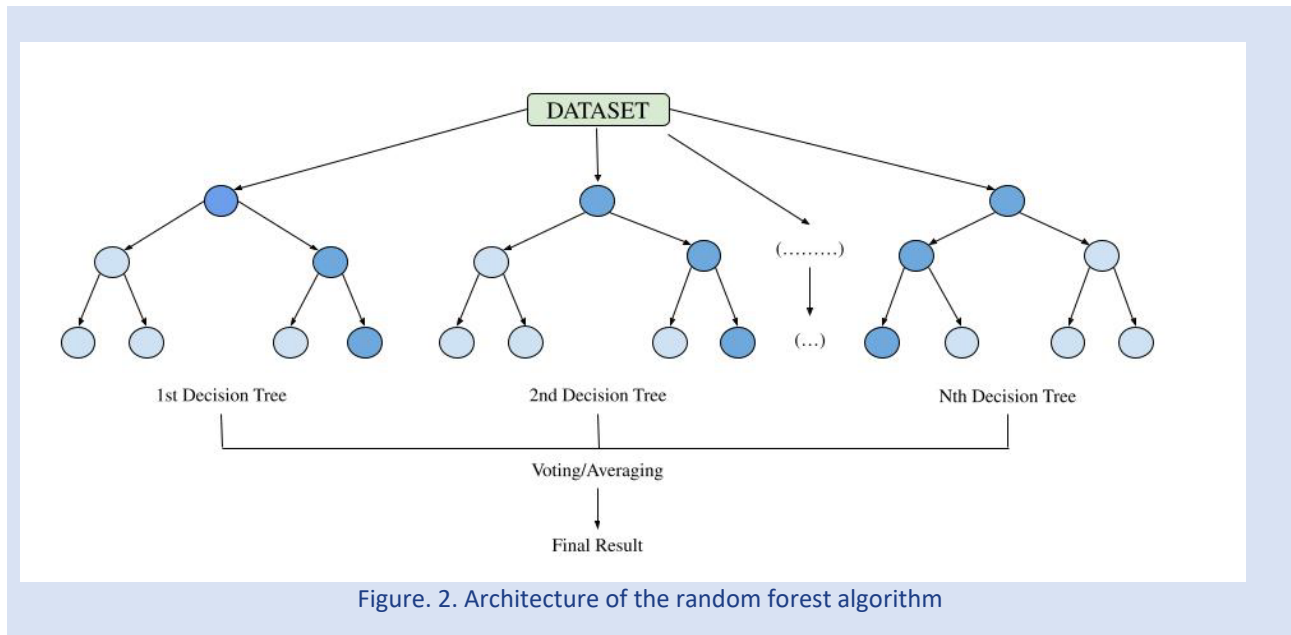


Figure. 2. Architecture of the random forest algorithm

### Lung Cancer Prediction And Machine Learning

Due to the high mortality rate and complexity of patients with lung cancer [10], researchers have recently shifted their interests in early detection and diagnosis of the disease. The goals of lung cancer prediction are not only to improve early diagnosis but also to evaluate risk factors and even offer personalized treatment options. The advancement and integration of technology and data science and admirable developments in the field of deep learning have changed the approach and technical requirements for the prediction of lung cancer, as in many areas in the field of healthcare. These technologies allow the analysis of large amounts of patient data, examination images and other factors collected at different times, providing a more in-depth analysis of factors affecting lung cancer risk and progression.

Models used to predict lung cancer generally include risk factors such as family history of cancer and genetic pre-dispositions, as well as factors such as smoking, exposure to air pollution, occupational hazards [11]. Early screening and interventions can only be implemented by identifying individuals at risk [12] and improvements can be observed because of the application. Personal applications play a critical role in successful lung cancer prediction [13].

Machine learning models can predict certain predispositions, including genetic predisposition, to predict people's risk of developing lung cancer, as well as their response to certain treatments. Analysis and detection of genetic risk factors related to lung cancer enable effective treatments for this individual. Machine learning models are also used to predict the patient's survival rate based on many factors, such as understanding the stage of cancer, the characteristics of the cancer cells, the individual

characteristics of the patient's body, and the individual's body's responses to the treatment administered to the individual. This allows the doctor or medical staff observing the patient to detect and manage the recovery process more effectively. Therefore, due to its great success, machine learning has become indispensable in lung cancer prediction [14].

ML can analyze diverse and complex data sets, such as patient demographics, possible history, density ratios, examination data, and genetic information. By identifying and describing patterns in these data sets, ML models provide more accurate predictions than classical prediction methods. ML algorithms have significantly accelerated the early detection of lung cancer. By analyzing examination data or imaging in a short time with deep learning, the presence or absence of cancer cells can be detected from different angles, even with small changes in the model.

ML models, such as Random Forest, Support Vector Machine (SVM), and deep learning approaches, are highly effective for cancer predictions [15],[16],[17]. These learning models can combine different types of data (e.g. imaging, genetic data) in the solution space to provide more accurate and personalized predictions for lung cancer recognition and detection. Additionally, these methods can help predict how patients will respond to certain treatments based on their unique genetic and examination profiles. This not only allows treatment plans to be more personalized, but it can also predict the subtype of cancer, if any, and even determine treatments appropriate for these subtypes, allowing the process to be faster and more efficient.

Like many healthcare datasets, lung cancer datasets are often known as unbalanced datasets [18]: for example, malignant cases outnumber benign cases. The imbalance here, or in other words, numerical inequality, can cause traditional models to make errors. On the other hand,

machine learning algorithms can easily overcome such challenges by developing models against imbalance or providing optimization, such as hyperparameter optimization, thereby improving model compatibility and accuracy. Unlike traditional and mostly static models, machine learning systems can be integrated into data augmentation and therefore continuously improve [19]. In other words, it is generalizable in terms of the amount of data. This feature allows the data obtained during research and inspection processes to be constantly updated and new data added.

### Random Forest Algorithm

The Random Forest (RF) algorithm is a robust learning method used frequently and primarily for classification and regression tasks. Below is the mathematical expression of a basic equation for this algorithm:

$$\hat{y} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T h_t(X) \quad (1)$$

The architecture of RF is based on creating many decision trees, thus optimizing the trees it creates and calculating the average prediction of individual trees. On the other hand, it has the ability to analyze complex and large data sets with many features and even reduces the overfitting is usually seen in single decision trees.

### Mechanism and advantages of Random Forest

RF randomly mirrors a subset of the training data from the solution space in order to create different training sets for each decision tree and therefore increase efficiency. This allows each tree to learn from a different subset of data and increases the diversity among the resulting land trees. For each tree, a random subset of features is selected while discriminating across nodes in the forest. This randomness allows our model to run without any dependencies and increases the robustness of the model. Decision trees are created without dependency, and each tree is grown to its maximum depth. Once all the trees are trained, RF makes various predictions by either adding the individual predictions made by each of the individual trees to the majority vote, or by calculating the average of the predictions. This aggregation process reduces noise, reducing the risk of overfitting and increasing prediction accuracy. Thanks to the ensemble nature of the algorithm, Random Forest is less likely to overfit than single decision trees when working with noisy data. The algorithm can effectively deal with missing values by using existing data from different trees. RF provides information on the importance of features, allowing practitioners to determine which features contribute most to model predictions. Figure 2 illustrates the basic architecture of random forest algorithm.

### Related Work

In recent years, the intersection of healthcare and advanced technologies has led to a notable advance in machine learning techniques for lung cancer prediction, detection and prognosis [20][21]. This integration has not only empowered diagnostic practices but has also

occupied huge research domain that explores the potential of ML to improve the efficiency of medical predictions. Hence, researchers are increasingly focused on leveraging these real-world technologies to address the complex challenges associated with lung cancer diagnosis and survival prediction [22][14]. A detailed review of the literature shows that studies in this domain can be classified into two groups. The first, which investigates the biological and clinical basis of lung cancer, and the second, which develops and applies machine learning-based models for prediction and classification. Computer-Aided Detection (CAD) based systems aiding radiological evaluations have led to the growth of machine learning as a powerful tool for improving lung cancer detection. Early on, CAD applications were focused on lung nodules in chest radiographs [23]. Soon, the technology was applied to computed tomography (CT), adding new detection methods. These recent CAD systems with selection node enhancement and automatic rule-based classification enable the effective detection of lung nodules in thin section CT scans [24]. By isolating nodules from their normal anatomical structures such as blood vessels, which are significant contributors to false positive, these systems attain sensitivities above 86%, while maintaining the level of false positives in a controlled manner. CAD offers several advantages over digital mammography in early lung cancer screening prospects due to incorporation of ML techniques with three-dimensional (3D) imaging modalities that improve diagnostic accuracy [24][25]. On the other hand, it has been demonstrated that low dose computed tomography (LDCT) can reduce lung cancer mortality, studies have reported risk reductions of 20 to 43% [26][27]. LDCT screening suffers from variability between graders, as well as high rates of false positives and false negatives leading to screening inconsistency and unreliability [28][7]. In this work, Ardila et al. [25] addressed these issues with an advanced deep learning model for lung cancer risk assessment that uses both previous and current LDCT volumes. On data from the National Lung Cancer Screening Trial (NLST, n = 6717), their model had high accuracy with an area under the curve (AUC) of 94.4% and exhibited consistent behavior on a separate validation set (n = 1139). This model was tested in controlled reader studies where it performed 11 percent better at decreasing false positive rates and 5 percent better at decreasing false negative rates compared to six radiologists when prior imaging was not available, and when prior imaging was available, performed equivalently to the radiologist assessments. The results suggest that automation would probably boost both precision and accessibility of lung cancer screening by orders of magnitude and could help pave the way for more reliable screening worldwide in the era of deep learning and automated diagnostics.

Although CAD systems have been the subject of pioneering studies in lung nodule detection, recent investigations indicate that combining categorical clinical data into machine learning models may further improve diagnostic capabilities. Additional clinical data, like patient



history, risk factors, and demographic information offer additional complimentary insight, which can improve model specificity, and therefore how predictions are tailored more specifically. A lung cancer risk estimation tool was developed by Benveniste et al. [6], through integrating clinical factors like age, gender, smoking history, and comorbidities, using gradient boosting algorithms. The Brier score and ROC-AUC of 0.044 and 82% on the PLCO dataset and 0.70 and 70% on NLST dataset indicated a well calibrated performance on their model which underscores the aptitude of clinical data in lung cancer risk estimation. Similarly, Aslani et al. [29] presented a time series deep learning model that combined longitudinal imaging data with patient specific clinical variables such as follow-up imaging results and smoking history. Combining temporal clinical with imaging data improved malignancy prediction: their approach reduced a false positive rate by 12%, and a false negative rate by 9% over traditional CAD systems.

**Proposed Method**

Random Forest was chosen for this study due to its excellent performance on classification tasks. The fact that it allows generalization in harmony with real-world data and its suitability to create harmony with the data set were also effective in choosing this algorithm. RF’s ensemble learning approach improves classification accuracy by combining predictions from multiple decision trees, while also reducing the risk of overfitting rules with individual decision trees. This feature is particularly useful when developing complex datasets containing different features because it offers the ability to better generalize unseen. And it has been widely used for its secure and accurate results in vary fields including health domain [30]. Due to its ensemble structure and proven success in classification tasks, the random forest model is chosen for this study to classify lung cancer severity levels.

The model was implemented using a combination of clinical, demographic and lifestyle factors. These factors include age, gender, smoking history, environmental exposures, and genetic characteristics. RF’s ability to detect the importance of defined features ensures that the classification process progresses successfully. This makes the model more understandable. In fact, it provides healthcare professionals with a wide range of information to understand the key factors that influence disease

diagnosis and detection and, of course, treatment decisions.

**Experiment**

**Dataset Description and Splitting**

The dataset [31] was used in this study contains detailed information on patients with lung cancer, covering a variety of demographic, environmental, lifestyle and health-related factors that contribute to the risk and severity of lung cancer. Key variables include patient age, gender, air pollution exposure, alcohol use, dust allergies, occupational hazards, genetic risk, chronic lung disease, diet, obesity, smoking status (active and passive) and various symptoms of lung cancer such as chest pain, coughing of blood, fatigue, weight loss, shortness of breath, and difficulty swallowing.

Lung cancer remains one of the leading causes of cancer death worldwide. Environmental factors such as smoking and air pollution cause this disease. Recent research indicates that air pollution can increase the risk of lung cancer even in nonsmokers. The data set allows the examination of such relationships. In this way, the risk factors that lead to lung cancer can be revealed and how environmental influences and health factors affect cancer progression can be analyzed.

Before training the Random Forest model and for the other model to comparison, the dataset was carefully examined for inconsistencies or missing values. Since the dataset does not contain missing values, the model training process is facilitated without the need for estimation or additional preprocessing. Notably, the dataset does not contain missing values which allows the Random Forest algorithm (as well as for the other models for comparison) be applied directly.

In this study, the dataset was split into 70% for training and 30% for testing. Since the data was collected from real-life.

**Performance Evaluation**

After splitting the data, we classified these data using a random forest classifier. First, our proposed model was tested with classification accuracy. After the random forest algorithm produced a satisfactory accuracy value, other performance metrics were calculated along with accuracy to understand whether our model had a robust mechanism: Precision, Recall, F1 Score. The performance values obtained are shown in Table 1.

Table 1. Performance Metrics of the Random Forest Model for Lung Cancer Severity Prediction

	Accuracy%	Precision%	Recall%	F1 Score%
<b>RF. Algorithm</b>	95.01%	95.00%	95.01%	94.99%

**Experimental Results**

In order to better understand the performance of the Random Forest model, a comparison with some popular machine learning models was made. In addition to Random

Forest, this comparison includes Decision Tree, Logistic Regression and Naive Bayes algorithms. Table 2 summarizes the performances of these models according to accuracy, precision, recall and F1-Score metrics

Table 2. Performance Comparison of Machine Learning Models for Lung Cancer Severity Prediction

	Accuracy%	Precision%	Recall%	F1 Score%
<b>RF. Algorithm</b>	95.01%	95.00%	95.01%	94.99%
<b>Decision Tree</b>	93.90%	93.84%	93.90%	93.86%
<b>Logistic Regression</b>	94.18%	94.18%	94.18%	94.16%
<b>Naive Bayes</b>	72.58%	75.35%	72.57%	71.28%
<b>RF. Algorithm</b>	95.01%	95.00%	95.01%	94.99%

The Random Forest classifier was trained and tested on a lung cancer severity dataset. Our proposed model was perfectly and easily accurate on the test set with an accuracy of 95.01%. As mentioned in the previous section and presented in Table 1, the values of our performance metrics of each class comfortably reached an apex point that generates a hyperplane. Here, for a fair comparison and to test the robustness of this hyperplane, the confusion matrix of 300 test samples shows no misclassifications, with all samples correctly classified

according to their severity level i) Low, ii) Medium and iii) High, respectively. These findings suggest that the present model performs better than other models, effectively capturing the dynamics within the dataset. Figure 3 illustrates the importance of the predictors (features) of the adjusted RF algorithm that affects the severity of lung cancer. All these features were ranked high importance in the model, with Chest Pain, Smoking and Shortness of Breath having the highest importance.

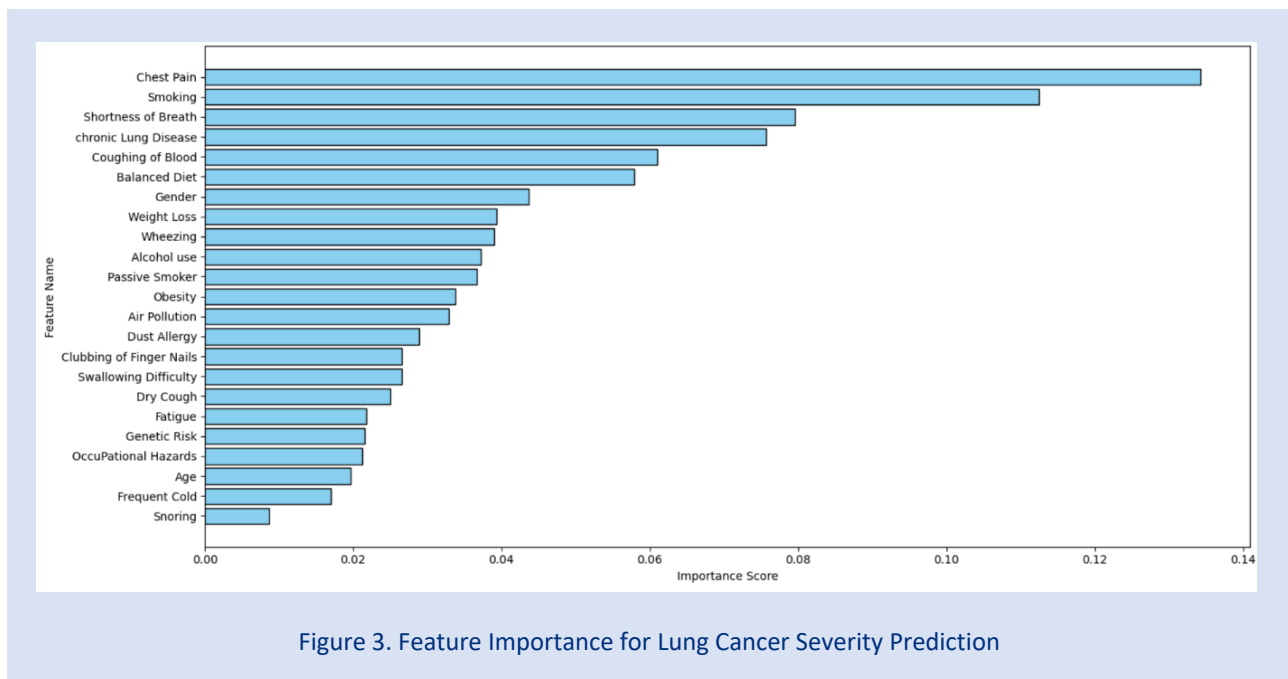


Figure 3. Feature Importance for Lung Cancer Severity Prediction

These results suggest that these features probably offer important clues to lung cancer severity. Balanced Diet,

Chronic Lung Disease and Coughing Up Blood are also other important features, which signifies that the model

considers the input from a variety of clinical symptoms and life-style factors to make its prediction. Snoring and Age, lower ranked features, have little impact on the model's decision-making process; which means they are not so informative to classify severity levels in this dataset. Thus, this feature of importance insight is a nice plug for the interpretability of the model, since it indicates symptoms and risk factors that are associated with lung cancer severity and replicates common medical knowledge that is the transparent to the model

### 7. Strength, Weakness and Limitations

In this study, the use of the RF algorithm, which has a running structure based on the combination and comparison of many decision trees, ensured that the accuracy obtained in the classification is quite high. In other words, the classifier and the hyperplane created thus work quite well.

The one potential weakness of the model may be the use of data collected from people living in a particular region. However, it is super important that the data used in the study are obtained from real life and fortunately, it reduces such concerns. However, the model can be generalized and applied to different regions.

Additionally, the Random Forest model is known to be resistant against overfitting. This strength is due to the model using multiple decision trees to reduce noise and making predictions through majority voting or averaging. The dataset used in our study was obtained from a regional focus. This may create a potential risk of overfitting. However, in the study, the k=5 cross-validation method was applied to generalize the performance of the model. This method strengthened the separation of the training and test sets and prevented overfitting. This reliability was further supported by careful hyperparameter selection, ensuring the robustness of the results.

### Conclusion and Future Directions

Technologies based on machine learning, such as machine learning and deep learning, have recently begun to be used extensively in the field of healthcare. It shows that machine learning is very important for the field of health, especially in matters such as obtaining successful results, protecting human health with early diagnosis and diagnosis. Nevertheless, in the context of intricate problems such as classification, the application of machine learning algorithms has demonstrated the capacity to achieve extraordinarily high degrees of accuracy. However, these advances bring with them different problems such as data quality issues and the need to analyze the results.

Data collected from a specific region may present limitations. These limitations may introduce potential biases that could impact applicability to broader audiences. Such limitations highlight the need for more diverse and representative datasets enhanced with other data types (e.g. like images, laboratory test results, etc.) in

future studies to ensure broader applicability of the results.

Our proposed model used a classifier-based algorithm random forest, to detect lung cancer early through severity detection. In this way, selecting the optimal classifier among the different trees created by the random forest architect during the learning process increased the success of the model. Due to nature as an ensemble method which uses several decision trees and majority voting to make predictions, the Random Forest model is considered to be resistant to overfitting. K=5 cross-validation was used during model training to further reduce the risk of overfitting, guaranteeing the separation of training and test sets and improving the dependability of the outcomes. The proposed RF-based model achieved satisfactory performances (over 90%) i) accuracy, ii) precision, iii) recall and iv) F1-score.

Future research will concentrate on integrating data from many locations and people in order to overcome the shortcomings of the regional dataset utilized in this investigation.

In addition, the use of different and advanced machine learning techniques is planned for future studies. Among these, Convolutional Neural Networks (CNNs) stand out, as they are particularly effective in image classification tasks and in addition to some different machine learning techniques, this study is planned to be conducted as LSTM based which is especially well-suited for time-series models. It is prospected to be especially useful in cases involving patient monitoring and temporal dependencies.

### References

- [1] Statista, "Lung cancer - Statistics & Facts" <https://www.statista.com/topics/8909/lung-cancer-in-the-us/#topicOverview>.
- [2] Hurriyet, "Akciğer kanseri evreleri yaşam süresi ve tedavisi — hurriyet.com.tr." <https://www.hurriyet.com.tr/aile/akciger-kanseri-evreleri-yasam-suresi-ve-tedavisi-430064>.
- [3] A. F. Gazdar, P. A. Bunn, and J. D. Minna, "Small-cell lung cancer: what we know, what we need to know and the path forward," *Nature Reviews Cancer*, vol. 17, no. 12, pp. 725–737, 2017.
- [4] E. L. O'Dowd, T. M. McKeever, D. R. Baldwin, S. Anwar, H. A. Powell, J. E. Gibson, B. Iyen-Omofoman, and R. B. Hubbard, "What characteristics of primary care and patients are associated with early death in patients with lung cancer in the uk?," *Thorax*, vol. 70, no. 2, pp. 161–168, 2015.
- [5] W. D. Travis, E. Brambilla, A. G. Nicholson, Y. Yatabe, J. H. Austin, M. B. Beasley, L. R. Chirieac, S. Dacic, E. Duhig, D. B. Flieder, et al. "The 2015 world health organization classification of lung tumors: impact of genetic, clinical and radiologic advances since the 2004 classification," *Journal of thoracic oncology*, vol. 10, no. 9, pp. 1243–1260, 2015.

- [6] Benveniste et al., "A gradient boosting model for lung cancer risk estimation using clinical data." <https://arxiv.org/abs/2308.12188>, 2023.
- [7] C. S. White et al., "Lung cancer screening with low-dose ct: a white paper of the society of thoracic radiology and the american college of radiology," *J. Thorac. Imaging*, vol. 28, no. 5, pp. 295–306, 2013.
- [8] S. Blandin Knight, P. A. Crosbie, H. Balata, J. Chudziak, T. Hussell, and C. Dive, "Progress and prospects of early detection in lung cancer," *Open biology*, vol. 7, no. 9, p. 170070, 2017.
- [9] R. Sharma, "Mapping of global, regional and national incidence, mortality and mortality-to-incidence ratio of lung cancer in 2020 and 2050," *International Journal of Clinical Oncology*, vol. 27, no. 4, pp. 665–675, 2022.
- [10] S. Wankhade and S. Vigneshwari, "A novel hybrid deep learning method for early detection of lung cancer using neural networks," *Healthcare Analytics*, vol. 3, p. 100195, 2023.
- [11] J. C. Laguna, M. Tagliamento, M. Lambertini, J. Hiznay, and L. Mezquita, "Tackling non-small cell lung cancer in young adults: From risk factors and genetic susceptibility to lung cancer profile and outcomes," *American Society of Clinical Oncology Educational Book*, vol. 44, no. 3, p. e432488, 2024.
- [12] A. Issanov, A. Aravindakshan, L. Puil, M. C. Tammemägi, S. Lam, and T. J. Dummer, "Risk prediction models for lung cancer in people who have never smoked: a protocol of a systematic review," *Diagnostic and Prognostic Research*, vol. 8, no. 1, p. 3, 2024.
- [13] S. Srivastava, N. Jayaswal, S. Kumar, P. K. Sharma, T. Behl, A. Khalid, S. Mohan, A. Najmi, K. Zoghebi, and H. A. Alhazmi, "Unveiling the potential of proteomic and genetic signatures for precision therapeutics in lung cancer management," *Cellular Signalling*, vol. 113, p. 110932, 2024.
- [14] S. N. A. Shah and R. Parveen, "An extensive review on lung cancer diagnosis using machine learning techniques on radiological data: state-of-the-art and perspectives," *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 30, no. 8, pp. 4917–4930, 2023.
- [15] E. S. Mohamed, T. A. Naqishbandi, S. A. C. Bukhari, I. Rauf, V. Sawrikar, and A. Hussain, "A hybrid mental health prediction model using support vector machine, multilayer perceptron, and random forest algorithms," *Healthcare Analytics*, vol. 3, p. 100185, 2023.
- [16] S. Khandakar, M. A. Al Mamun, M. M. Islam, K. Hossain, M. M. H. Melon, and M. S. Javed, "Unveiling early detection and prevention of cancer: Machine learning and deep learning approaches," *Educational Administration: Theory and Practice*, vol. 30, no. 5, pp. 14614–14628, 2024.
- [17] M. F. Kabir, T. Chen, and S. A. Ludwig, "A performance analysis of dimensionality reduction algorithms in machine learning models for cancer prediction," *Healthcare Analytics*, vol. 3, p. 100125, 2023.
- [18] S. Padma, S. S. Kumar, and R. Manavalan, "Performance analysis for classification in balanced and unbalanced data set," in 2011 6th International Conference on Industrial and Information Systems, pp. 300–304, IEEE, 2011.
- [19] M. Imran, H. U. R. Siddiqui, A. Raza, M. A. Raza, F. Rustam, and I. Ashraf, "A performance overview of machine learning-based defense strategies for advanced persistent threats in industrial control systems," *Computers & Security*, vol. 134, p. 103445, 2023.
- [20] H. T. Gayap and M. A. Akhloufi, "Deep machine learning for medical diagnosis, application to lung cancer detection: a review," *BioMedInformatics*, vol. 4, no. 1, pp. 236–284, 2024.
- [21] S. R. Quasar, R. Sharma, A. Mittal, M. Sharma, D. Agarwal, and I. de La Torre Díez, "Ensemble methods for computed tomography scan images to improve lung cancer detection and classification," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 83, no. 17, pp. 52867–52897, 2024.
- [22] L. Bertolaccini, M. Casiraghi, C. Uslenghi, S. Maiorca, and L. Spaggiari, "Recent advances in lung cancer research: unravelling the future of treatment," *Updates in Surgery*, pp. 1–12, 2024.
- [23] M. L. Giger, K. Doi, and H. MacMahon, "Image feature analysis and computer-aided diagnosis in digital radiography. 3. automated detection of nodules in peripheral lung fields.," *Medical physics*, vol. 15 2, pp. 158–66, 1988.
- [24] Q. Li, F. Li, and K. Doi, "Computerized detection of lung nodules in thin-section ct images by use of selective enhancement filters and an automated rule-based classifier," *Acad. Radiol.*, vol. 15, pp. 165–175, Feb 2008.
- [25] D. Ardila, A. P. Kiraly, S. Bharadwaj, B. Choi, J. J. Reicher, L. Peng, et al., "End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography," *Nat. Med.*, vol. 25, no. 6, pp. 954–961, 2019.
- [26] C. I. Henschke et al., "Early lung cancer action project: overall design and findings from baseline screening," *Lancet*, vol. 354, no. 9173, pp. 99–105, 1999.
- [27] D. R. Aberle et al., "National lung screening trial research team: baseline characteristics of participants in the randomized national lung screening trial," *J. Natl. Cancer Inst.*, vol. 102, no. 23, pp. 1771–1779, 2010.
- [28] G. Chassagnon et al., "Differentiation of subsolid pulmonary nodules by use of histogram analysis in contrast-enhanced ct imaging," *Radiology*, vol. 286, no. 3, pp. 1086–1096, 2018.
- [29] Aslani et al., "Enhancing cancer prediction in challenging screen-detected incident lung nodules using time-series deep learning." <https://arxiv.org/abs/2203.16606>, 2022.
- [30] Breiman, L., "Random Forests," *Machine Learning*, vol. 45, no. 1, pp. 5–32, 2001.
- [31] "Lung Cancer Prediction — kaggle.com." <https://www.kaggle.com/datasets/thedevastator/cancer-patients-and-air-pollution-a-new-link/data>.



## Predicting Bitcoin Price Direction Using Machine Learning Models

Tanju AÇI<sup>1,a,\*</sup>, Hakan Kekül<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> Department of Computer Engineering, Institute of Science and Technology, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

<sup>2</sup> Department of Software Engineering, Faculty of Technology, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 20/11/2024

Accepted: 10/12/2024

### ABSTRACT

In the financial sector, as past economic and social events have shaken trust, this trust is being regained through the internet and computer technologies. Emerging in the 19th century, financial technology has led to a new economic understanding with digital money and especially bitcoin. The decentralized structure of bitcoin and the encryption systems used for security play an important role in preventing fraud and have become the center of attention of investors. As its value has increased, studies on price predictions have naturally increased. This study aims to predict the impact of data obtained from digital economy news sites on bitcoin price using natural language processing and machine learning techniques. In line with this goal, text vectorization was performed with the TF-IDF statistical method. Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) was applied to eliminate the imbalance in the vectorized data set. Classification models such as Logistic Regression, Decision Trees, Random Forest, Support Vector Machines, K-Nearest Neighbor, Extra Trees, Bernoulli Naive Bayes and Multilayer Perceptron were applied to the obtained output.

According to the results of the performance of different machine learning models in predicting the direction of bitcoin price fluctuation, the Extra Trees Classifier model showed the highest performance with an Accuracy of 86.71%, recall of 86.71%, precision of 86.99% and F1 score of 86.59%.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Bitcoin, Machine Learning, Natural Language Processing, Stock Market, Crypto

## Makine Öğrenimi Modelleri Kullanarak Bitcoin Fiyat Yönünü Tahmin Etme

### Öz

Finans sektöründe, geçmişte yaşanan ekonomik ve sosyal olaylar güveni sarsarken, internet ve bilgisayar teknolojileri sayesinde bu güven yeniden kazanılıyor. 19. yüzyılda ortaya çıkan finansal teknoloji, dijital para ve özellikle bitcoin ile yeni bir ekonomik anlayışa yol açmıştır. Bitcoin'in merkezi olmayan yapısı ve güvenlik için kullanılan şifreleme sistemleri dolandırıcılığın önlenmesinde önemli rol oynamış ve yatırımcıların ilgi odağı haline gelmiştir. Değeri arttıkça fiyat tahminleri üzerine yapılan çalışmalar da doğal olarak artmıştır. Bu çalışma, dijital ekonomi haber sitelerinden elde edilen verilerin bitcoin fiyatı üzerindeki etkisini doğal dil işleme ve makine öğrenmesi tekniklerini kullanarak tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Bu hedef doğrultusunda TF-IDF istatistiksel yöntemi ile metin vektörleştirilmesi yapılmıştır. Vektörleştirilen veri setindeki dengesizliği gidermek için Sentetik Azınlık Aşırı Örnekleme Tekniği (SMOTE) uygulandı. Elde edilen çıktılara Lojistik Regresyon, Karar Ağaçları, Rastgele Orman, Destek Vektör Makineleri, K-En Yakın Komşu, Ekstra Ağaçlar, Bernoulli Naive Bayes ve Çok Katmanlı Perceptron gibi sınıflandırma modelleri uygulanmıştır.

Farklı makine öğrenimi modellerinin bitcoin fiyat dalgalanmasının yönünü tahmin etmedeki performans sonuçlarına göre, Ekstra Ağaçlar Sınıflandırıcı modeli %86,71 Doğruluk, %86,71 hatırlama, %86,99 kesinlik ve %86,59 F1 puanı ile en yüksek performansı göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Zeka, Bitcoin, Makine Öğrenimi, Doğal Dil İşleme, Borsa, Kripto

### Copyright



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

<sup>a</sup> 20239257006@cumhuriyet.edu.tr

<sup>ID</sup> ORCID: 0009-0008-5822-3393

<sup>b</sup> hakankekul@cumhuriyet.edu.tr

<sup>ID</sup> ORCID: 0000-0001-6269-8713

**How to Cite:** Açı T, Kekül H (2024) Predicting Bitcoin Price Direction Using Machine Learning Models, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 205-213

## Introduction

Economic events and phenomena in the past have from time to time damaged the economy and the financial system and caused a loss of trust. This damaged sense of trust is intended to be regained with the help of internet and computer technologies, which are among the most important developments of today. Originating in the 19th century, financial technology, which means technological innovation in the field of finance, is the world's newest economic understanding. While trying to regain the damaged sense of trust with this understanding, digital money bitcoin, which has a system that will deeply shake the foundations of the economy, has emerged [1].

The idea of digital money is relatively new, but it has not been successfully implemented until recently [2]. The pioneer of cryptocurrencies within digital currencies is bitcoin. It is a decentralized system. That is, it is a digital currency that is not managed by a bank or government. Transactions are tracked and verified through a security system called encryption. In this way, negative situations such as fraud and fraud are prevented [3].

While the value of bitcoin, which is taking strong steps forward in the economic sector, is increasing day by day, the number of studies on future price prediction has also increased. In addition to being a source of information for a society, it has been determined that newspaper news, from which economic perception is obtained, has an impact on price forecasts [1]. With the development of the internet and technology, news and newspapers have been moved to digital platforms, increasing the ease and speed of access.

Basically, in this study, the effect of the texts obtained from digital economy news sites on bitcoin price is tried to be predicted by using machine learning models with natural language processing techniques.

The study seeks to answer the following research questions.

R.Q. 1: Does news have an impact on predicting the direction of financial markets?

R.Q. 2: Can natural language processing and machine learning algorithms predict the direction of financial market instruments?

After this stage, the study is organized as follows. Section 2 presents a detailed analysis of the literature. The third section presents the proposed methodology. The fourth section presents the findings obtained. The study concludes with a discussion of the implications of the findings.

## Literature Review

In recent years, when the demand for crypto assets has increased considerably, accurately predicting the cause of the asset's price movements and the direction of the price has become an important issue as it will realize the aim of reducing the risk of investors and providing more return. Although many studies have been conducted on this problem, its history is not old [4].

The effects of developments in computer and internet technologies on the economy have been previously analyzed in the literature. Over a period of 9 years, all news articles with positive or negative content published in 5 different newspapers were analyzed and associated with blockchain technology data. With the help of artificial neural network learning algorithm, the effects of news in national financial newspapers on bitcoin price are investigated. As a result, it is found that bitcoin news published in financial newspapers have a partial effect on price prediction. The study has become a reference for understanding the effects of Fintech innovations and artificial intelligence methods on the economy [1].

Some researchers believe that bitcoin and other cryptocurrencies could disrupt the way the traditional economy works. This is because blockchain technology completely eliminates the link between the financial authority and the banking sector. On the other hand, low-cost transactions, limited supply, preference against fluctuations in national currencies, and the fact that it can be easily transferred to very distant borders have made bitcoin an important stakeholder of the economy in recent years [5]. As of October 2024, the supply of bitcoin circulating in the market is 19,774,818. Its maximum supply is 21,000,000 and its approximate value on 29.10.2024 is 72,800 dollars. The market capitalization is \$1,441,611,379,618 [6].

In a study on bitcoin price prediction, a correlation study was conducted on whether the price is correlated with the volume of tweets containing the bitcoin hashtag on twitter social media and web search media results. It was aimed to determine whether there is any relationship between the sentiment of tweets and the queries made by users on Google search engine and bitcoin price. In the first 3 months of 2015, the cross-correlation value between tweets, Google trends data on the same dates and bitcoin price was 0.64. This result confirms that tweet volumes and Google trends query volumes can predict bitcoin price fluctuations. As seen from the artificial neural network models and correlation results used in the studies, there was a positive relationship between the sentiment of tweets and bitcoin price [7], [8], [9], [10].

While econometric methods were frequently used in the past for stock market price prediction, machine learning methods, which have proven to be significantly more successful in recent years, are preferred. For this reason, the use of classical econometric methods has significantly decreased [11].

In studies measuring the reaction of markets to financial developments, it has been observed that financial markets react strongly to news about the legal status of cryptocurrencies. In addition to general bans on the use of bitcoin in financial transactions, markets were negatively affected by news that explicitly stated that cryptocurrencies would not be treated as currencies. On

the other hand, news about restrictions on the interoperability of cryptocurrencies with the financial system in the fight against terrorism and money laundering also negatively affects bitcoin and the crypto market[12].

There have also been studies that propose a hybrid model that combines sentiment analysis and machine learning to predict Bitcoin's price movements. Researchers have analyzed data from news articles and social posts with deep learning techniques and machine learning algorithms and achieved successful results[13], [14], [15], [16], [17].

In addition to social media platforms such as twitter, reddit, forums, etc., there are also studies on predicting the bitcoin price direction. Successful results have been achieved with the advantage of high compatibility between Google searches and reddit searches[18]. It has also been concluded that what is written in forums has a greater impact on bitcoin[19].

The widespread use of Bitcoin and the increasing speed of internet use in instant communication brings

with it the necessity to predict future changes in finance. Determining the direction of Bitcoin's price fluctuations will become very important. In this study, which can be used as a guide for investors, text classification was performed using natural language processing methods and machine learning models on a dataset of news and headlines from five different international economic news sites and the direction of bitcoin price fluctuations was tried to be predicted.

**Methodology**

In recent years, text classification methods have been used to predict the direction of bitcoin price fluctuations. In this study, classification models such as Logistic Regression, Decision Trees, Random Forest, Support Vector Machines, Extra Tree Classifier, Multilayer Perceptron Classifier, Bernoulli Naive Bayes and K-Nearest Neighbor were applied.

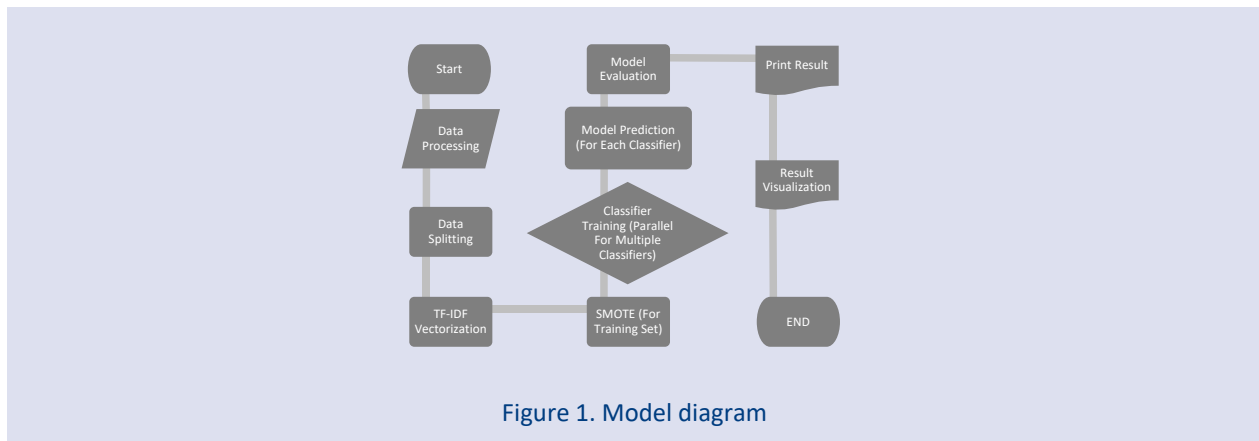


Figure 1. Model diagram

**Logistic Regression**

Although the Logistic Regression model resembles a model used for regression analysis, it is a supervised learning algorithm used for classification problems[20], [21].

Logistic regression calculates the probability of the dependent variable taking the expected value using independent variables. The Sigmoid Function in Figure 2 is

used for classification. It compresses the output value between 0 and 1. It may not give good accuracy when the training data is small[22].

Mathematical representation of Sigmoid Function:

$$S(x) = \frac{1}{1+e^{-ax}} \tag{1}$$

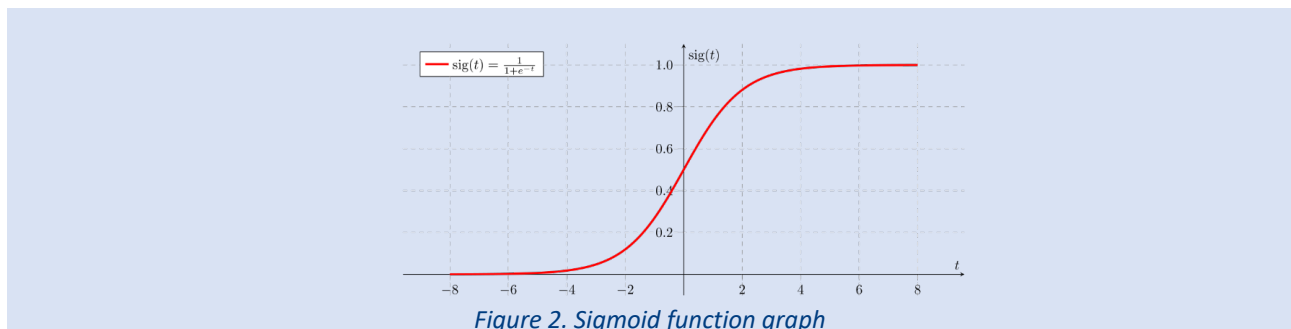


Figure 2. Sigmoid function graph

### Decision Trees

Decision trees are a type of machine learning model that helps identify patterns in data. In this model, decision nodes and leaf nodes are created based on the training data. The algorithm divides the dataset into small subsets based on different criteria. By drawing optimal lines, it divides the data into clusters that will move the data to the maximum data point. It is suitable for complex data

sets and can overlearn if the maximum depth is not set well. As the decision tree gets deeper, it becomes more complex to compute. It often requires longer training times. It is insufficient in regression applications [20].

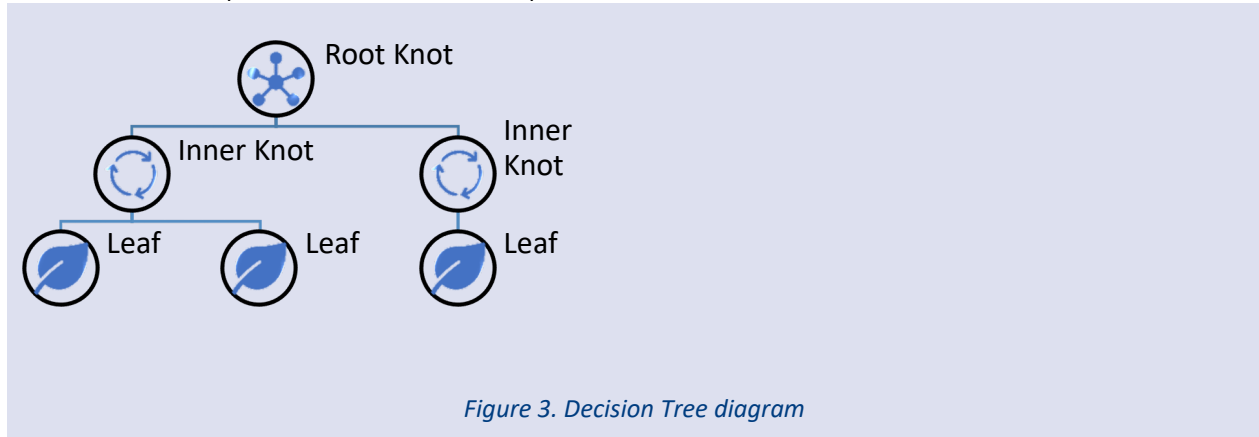


Figure 3. Decision Tree diagram

### Random Forest

The Random Forest model is a machine learning method used in both classification and regression problems. It has a working logic similar to the structure of Decision Trees. The data set is divided into random parts and decision trees are created. In the prediction phase, the predictions of these decision trees are averaged. The reason for using the Random Forest model in this study is that it largely avoids the problem of overfitting the previous data used during training[23].

algorithm that generates a function to maximize the distance between classes. The class function is constructed using sample data on the edge of the class[25]. Creates a model that can predict class labels for a dataset with specified features. The data in the training set is expressed as a feature vector. Feature vectors are mapped to the feature space using the kernel function. A hyperplane that optimally separates the classes is created and tested [26].

### Support Vector Machines

Support Vector Machines originated in the field of statistical learning theory[24]. It produces a linear

### K-Nearest Neighbor

K-Nearest Neighbor is a model that performs classification by using the closeness of a given feature to another feature that is closest to it[27].

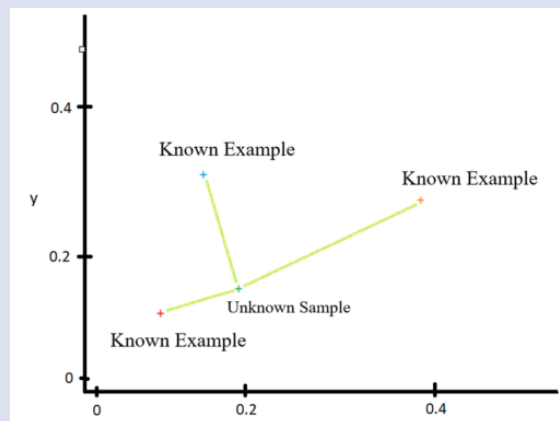


Figure 4. K-Nearest neighbor model

As shown in Figure 4, the distance of the unknown sample point (green point) to three known and close points is examined. By verifying the distance of the known red point to the green point, it is inferred that the green point is also red. Commonly used distance measures are

Euclidean distance, Manhattan distance and Minkovski distance[27].

### Extra Trees



It is a different version of the random forest classifier. It is a machine learning model that makes predictions using an ensemble of decision trees. Due to its similarity with random forest, it often performs similarly or better[28].

In this model, which uses a simpler algorithm, nodes branch randomly instead of using a decision criterion to make the best split. While this method reduces complexity and processing overhead, it does not perform well when analyzing large datasets with high noise. From a statistical point of view, it usually increases bias and decreases variance[29].

#### **Multilayer Perceptron Classifier**

It is one of the most widely used machine learning methods, especially in classification. The model uses a method called Delta Learning Rule. The purpose of this rule is to minimize the error between the desired output and the output produced in the network. It consists of 3 layers: input layer, hidden layer and output layer. Information from the input layer is introduced to the network, reaches the output layer through hidden layers and is transferred to the outside world. In the model using the learning-by-training method, both examples and outputs generated from these examples are given to the network. The network produces solutions in the problem space using these examples[30].

#### **Bernoulli Naive Bayes**

It implements naive Bayes classification algorithms designed for the case where each of the multi-class features is a binary (Bernoulli, boolean) variable. Therefore, the classifier requires feature vectors with binary values. Given other types of data, it can convert data to binary format depending on the binarize parameter. BernoulliNB can use word presence/absence vectors instead of word count vectors in text classification. BernoulliNB can perform better than the multinomial model, especially for data sets containing shorter documents[31].

#### **Text Pre-Processing**

For the bitcoin price fluctuation direction prediction process by applying machine learning models using the texts in the text field in the dataset, the class data labeled in the dictionary structure in the sentiment column was parsed as a separate column. Columns other than the text

column and class columns were deleted from the dataset. Digitization was performed on the data in the class field. The neutral label was replaced with the numerical values 0, the positive label with 1 and the negative label with 2. For model training and predictions, the dataset was divided into 80% training group and 20% test group and performance metrics were obtained by training the models.

The raw text data in the Text field has been pre-processed to make it suitable for the model.

- ✓ All data has been converted to lower case.
- ✓ Numeric values have been removed, all special characters except letters A-Z have been replaced with spaces (instead of punctuation marks).
- ✓ English words that do not make sense on their own (the,a,or,and etc.) have been separated from the data set.

#### **TF-IDF And Smote Application**

Term Frequency - Inverse Document Frequency, or TF-IDF for short, is a numerical statistic that tells how important a word is in a document collection. It allows to focus on important words. "Important" here means frequently found in one document but rarely found in others. It balances term frequency (how often a word appears in a document) and inverse document frequency (how rare and common a word is in the whole corpus)[32]. Basically, TF-IDF is the product of the term frequency (TF) of terms and the inverse document frequency (IDF). In this way, the text data is digitized and normalized.

The TF-IDF calculation formula is as follows[33].

$$TF(t, d) = \log(1 + frekans(t, d)) \quad (2)$$

$$IDF(t, D) = \log( N say(d \in D : t \in d) ) \quad (3)$$

$$TF - IDF(t, d, D) = TF(t, d) * IDF(t, D) \quad (4)$$

Here, frequency(t,d) is the number of times word t occurs in the dth document; count(d∈D:t∈d) is the number of times word t is found in the documents that make up the corpus D[33].

For the text data in the Text domain, TF-IDF statistical text vectorization was applied as a term weighting method. As can be seen in Figure 5, when the data in the Sentiment class column is analyzed, it is seen that there is an unbalanced data set.

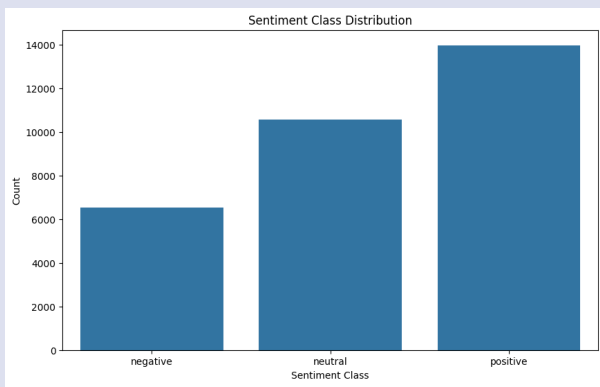


Figure 5. Sentiment class field data distribution

When there is a severe imbalance between classes, the performance of the model is adversely affected. SMOTE stands for Synthetic Minority Over-sampling Technique. It allows the training data to be made more balanced by artificially (synthetically) multiplying the samples especially on the minority class[34].

**Data Set**

The study used a dataset of 31037 news headlines and news texts obtained from the kaggle web application,

taken from leading international cryptocurrency news sites such as cryptonews.com, cryptopotato.com and cointelegraph.com and published in English between 2021-10-12 / 2023-12-19 (Table 1 shows a cross-section of the dataset).

As can be seen in Table 2, the dataset consists of 7 columns: Date, Sentiment, Source, Subject, Text, Title and Url.

Table 1. An example from the data set

	Date	Sentiment	...	Text
1	2023-12-19 06:40:41	{'class': 'negative', 'polarity': -0.1, 'subje...	...	Grayscale CEO Michael...
2	2023-12-19 06:03:24	{'class': 'neutral', 'polarity': 0.0, 'subject...	...	In an exclusive interview...
3	2023-12-19 05:55:14	{'class': 'positive', 'polarity': 0.05, 'subje...	...	According to the Federal...
4	2023-12-19 06:40:41	{'class': 'positive', 'polarity'...	...	Some suggest EVM...

In the Source column, 3 values consisting of cryptonews, cryptopotato, cointelegraphy are observed. There are 13010 news records with cointelegraphy, 10459 with cryptonews and 7568 with cryptopotato.

In the subject column of the dataset, there are 6 different value classes: bitcoin, altcoin, blockchain, ethereum, nft, defi. There are 9968 records with bitcoin, 9278 with altcoin, 6947 with blockchain, 2274 with ethereum, 1533 with nft, and 1037 with defi.

In the text field with English news texts, the longest data consists of 513 characters and 87 words, and the shortest value consists of 26 characters and 5 words.

In the title field, which contains English news titles, the longest data consists of 254 characters, 42 words, and the shortest data consists of 1 character, 1 word.

While there are 30423 different data in the text field, all 31037 data in the url field are unique. This means that

the values with the same news texts were published at different url addresses at different times.

In the sentiment column, in addition to the class section and the negative, neutral and positive impact of the bitcoin price, there are also polarity and subjectivity data. In the polarity field, the degree to which the text is positive or negative is expressed as a number between -1 and 1. -1 means completely negative, 0 means neutral and 1 means completely positive. For example, a value of -0.1 indicates that the text is slightly negative. In the Subjectivity domain, the degree of subjectivity of the text is expressed as a number between 0 and 1. 0 means completely objective (based on facts) and 1 means completely subjective (based on personal opinions). For example, a value of 0.8 indicates that the text is highly subjective. In other words, personal opinions, feelings or evaluations predominate in the text. In the study, the class

data in the Sentiment field was used as target and the data in the text field was used as input.

Table 2. Data set column information

Column Name	Description
date	Date and time of the news
sentiment	Bitcoin's sensitivity to news (positive - negative - neutral)
source	Name of the news source website
subject	The subject of the content of the news item (in one word, the subject to which it relates)
text	News text
title	News headline

## Results

According to the prediction results on 8 different machine learning models including Logistic Regression, Decision Trees, Random Forest, Support Vector Machines, K-Nearest Neighbor, Multilayer Perceptron Classifier, Extra Tree Classifier, Bernoulli Naive Bayes Classifier, it was observed that the Extra Tree Classifier model showed the best performance in the performance metrics

obtained. The accuracy of the model was 0.8671, precision was 0.8699, F1 score was 0.8659 and recall was 0.8659. The K-Nearest Neighbor model showed the lowest success in predicting the direction of bitcoin price fluctuation. The accuracy of this model was 0.3412, precision was 0.5795, F1 score was 0.2727, and recall was 0.3412 (The classification metric values of all models are given in Table 3).

Table 3. Table of performance metrics of models

Model Name	Accuracy	Precision	F1 Score	Recall
LR	0,8241	0,8334	0,8238	0,8241
SVM	0,8194	0,8316	0,8163	0,8194
RF	0,8473	0,8535	0,8457	0,8473
DT	0,8096	0,8087	0,8091	0,8096
ETC	0,8671	0,8699	0,8659	0,8671
ML	0,7693	0,7915	0,7691	0,7693
BNB	0,7192	0,7163	0,7163	0,7192
K-NN	0,3412	0,5795	0,2727	0,3412

Precision and f1 score results are more important than other metrics as performance metrics in multiple classification models. The Extra Tree Classifier model shows that the accuracy of the predictions is high with a precision value of 86.99%. It has a balanced performance with an f1 score value of 86.59%.

The Confusion Matrix, which expresses how accurately the model predicts which classes or which classes have confusion in prediction, is presented in Figure 6. As can be seen from Figure 6, 1998 instances were correctly

predicted as negative. A total of 79 examples were incorrectly predicted as negative when they should have been predicted as negative, 57 of which were neutral and 22 of which were positive. 2377 samples were correctly predicted as neutral, while 404 samples were incorrectly predicted as neutral. 998 samples were correctly predicted as positive and 352 were incorrectly predicted as positive. The most successful class in prediction is the negative class.

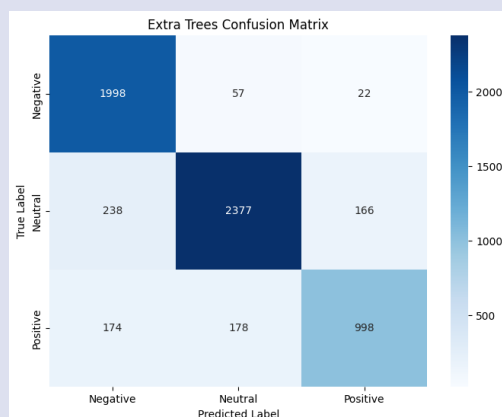


Figure 6. Extra tree classifier confusion matrix table

The ROC curve shows the relationship between the True Positive Rate (TPR) and False Positive Rate (FPR) of the model for different classes. Figure 7 also shows the AUC (Area Under Curve) value for each class. The AUC values for all classes are quite high (0.93, 0.94, and 0.95), indicating that the model is generally very successful in

discriminating between the three classes. The slope of the ROC curves is quite steep and close to 1. This indicates that the model achieves high true positive rates even at low false positive rates.

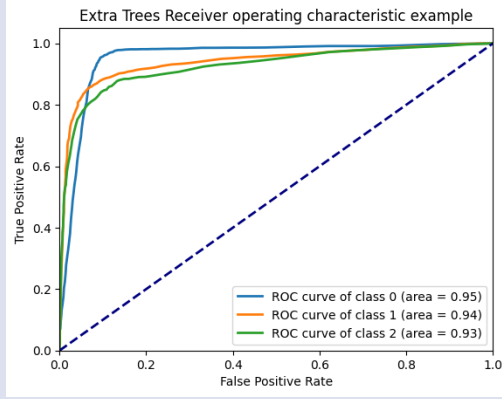


Figure 7. Extra tree classifier ROC curve plot

## Conclusion and Discussion

This study aims to develop a text classification model for predicting the direction of bitcoin price fluctuation that can guide the decision-making process of investors in the crypto asset market. In the literature, the use of machine learning models in financial forecasting is increasing. This study aims to contribute to similar studies and evaluates machine learning models to predict bitcoin price frontier through texts obtained from news websites.

Extra Tree Classifier, which is the model used in the research, showed the highest classification success with performance metrics such as 86.71% accuracy rate, 86.99% precision, 86.59% F1 score and 86.71% sensitivity. According to the confusion matrix analysis, the model has a very high discriminative performance between the Negative and Neutral classes, but more misclassifications occur in the Positive class compared to the others. In the ROC curve analysis, AUC values of 0.93 and above were reached for all classes, and it was concluded that the model made a successful classification in general.

According to these results, ensemble methods such as Extra Tree Classifier can be used effectively in predicting bitcoin price direction. The findings confirm that financial markets can be influenced by text-based data, such as news content, with the help of the development of financial technology tools, and that such data can be useful in price prediction studies. By combining natural language processing techniques and machine learning models, the study can provide important layers for investors to reduce their risks and support their decision-making processes.

One of the limitations of the study is that the dataset used is limited to certain news sources. Model performance can be further improved by using a larger data set. Improvements can be made to increase the prediction accuracy of the positive class. In future studies, it is aimed to increase the predictive power of the model by using more advanced deep learning-based models other than machine learning models.

## Acknowledgements

This study was produced as a part of the Master's thesis titled "Bitcoin Price Prediction Using Cryptocurrency News" prepared by Tanju Açı.

## References

- [1] B. ÇAĞLAR and U. YAVUZ, "Finansal Haberlerin Bitcoin Fiyatlarına Etkisinin Yapay Sinir Ağları İle Analizi," *Bilişim Teknol. Derg.*, vol. 14, no. 1, pp. 65–78, 2021, doi: 10.17671/gazibtd.703688.
- [2] D. Vujičić, D. Jagodić, and S. Randić, "Blockchain technology, bitcoin, and Ethereum: A brief overview," 2018 17th Int. Symp. INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2018 - Proc., vol. 2018-Janua, no. March, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/INFOTEH.2018.8345547.
- [3] N. Gandal and H. Hałaburda, "Competition in the cryptocurrency market Working Paper / Document de travail Competition in the Cryptocurrency Market by Neil Gandal and Hanna Hałaburda," *Bank Canada Work. Pap.*, 2014.
- [4] S. Nas and A. Ergin Ünal, "Bitcoin Fiyat Değişimlerinin Makine Öğrenmesi Yöntemi ile Tahmin Edilmesi," *İşletme Araştırmaları Derg.*, vol. 15, no. 4, pp. 2597–2608, 2023.
- [5] Ş. Çetinkaya, "Kripto Paraların Gelişimi Ve Para Piyasalarındaki Yerinin Swot Analizi İle İncelenmesi," *Uluslararası Ekon. ve Siyaset Bilim. Akad. Araştırmalar Derg.*, vol. 2, no. 5, pp.

- 11–21, 2018, [Online]. Available: <https://dergipark.org.tr/en/pub/joecopol/issue/42274/508677>
- [6] “CoinMarketCap.” [Online]. Available: <https://coinmarketcap.com/tr/>
- [7] C. Çilgin, “Metin Sınıflandırmada Yapay Sinir Ağları ile Bitcoin Fiyatları ve Sosyal Medyadaki Beklentilerin Analizi In Text Classification , Bitcoin Prices and Analysis of Expectations in Social Media with Artificial Neural Networks,” vol. 4, no. 1, pp. 106–126, 2020.
- [8] B. KÖKSAL, G. ERDEM, C. TÜRKELİ, and Z. KAMIŞLI ÖZTÜRK, “Twitter’da Duygu Analizi Yöntemi Kullanılarak Bitcoin Değer Tahminlemesi,” Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg., vol. 9, no. 3, pp. 280–297, 2021, doi: 10.29130/dubited.792909.
- [9] M. Matta, I. Lunesu, and M. Marchesi, “Bitcoin spread prediction using social and web search media,” CEUR Workshop Proc., vol. 1388, 2015.
- [10] S. Nitayaprapha, “How does social media affect cryptocurrency value? A case study of bitcoin in Thailand,” Int. J. Sci. Res. Publ., vol. 11, no. 6, pp. 189–191, 2021, doi: 10.29322/ijsrp.11.06.2021.p11428.
- [11] A. Fayeem, A. Kumar, R. Sagar, A. Aggarwal, and D. Jain, “Stock Price Prediction : Recurrent Neural Network in Financial Market,” vol. 8, no. 01, pp. 259–264, 2022.
- [12] R. Auer and S. Claessens, “Regulating cryptocurrencies: assessing market reactions,” BIS Q. Rev., no. September, pp. 51–65, 2018.
- [13] M. Alghobiri and M. Departmet, “Using Data Mining Algorithm for Sentiment Analysis of Users’ Opinions About Bitcoin Cryptocurrency,” J. Theor. Appl. Technol., vol. 97, no. 8, 2019, [Online]. Available: [www.jatit.org](http://www.jatit.org)
- [14] K. Ceyhan, E. Kurtulmaz, O. C. Sert, and T. Ozyer, “Bitcoin movement prediction with text mining | Metin Madenciliği ile Bitcoin Hareket Yönü Tahmini,” 26th IEEE Signal Process. Commun. Appl. Conf. SIU 2018, pp. 1–4, 2018.
- [15] S. Colianni, S. Rosales, and M. Signorotti, “Algorithmic Trading of Cryptocurrency Based on Twitter Sentiment Analysis,” CS229 Proj., pp. 1–5, 2015, [Online]. Available: [http://cs229.stanford.edu/proj2015/029\\_report.pdf](http://cs229.stanford.edu/proj2015/029_report.pdf)
- [16] M. Kinderis, M. Bezbradica, and M. Crane, “Bitcoin currency fluctuation,” COMPLEXIS 2018 - Proc. 3rd Int. Conf. Complexity, Futur. Inf. Syst. Risk, vol. 2018-March, no. Complexis 2018, pp. 31–41, 2018, doi: 10.5220/0006794000310041.
- [17] C. Lamon, E. Nielsen, and E. Redondo, “Cryptocurrency Price Prediction Using News and Social Media Sentiment,” SMU Data Sci. Rev, vol. 1, no. 3, pp. 1–22, 2017.
- [18] A. Burnie and E. Yilmaz, “Social media and bitcoin metrics: Which words matter,” R. Soc. Open Sci., vol. 6, no. 10, 2019, doi: 10.1098/rsos.191068.
- [19] F. Mai, Z. Shan, Q. Bai, X. (Shane) Wang, and R. H. L. Chiang, “How Does Social Media Impact Bitcoin Value? A Test of the Silent Majority Hypothesis,” J. Manag. Inf. Syst., vol. 35, no. 1, pp. 19–52, 2018, doi: 10.1080/07421222.2018.1440774.
- [20] H. S. Taşan, “Machine Learning Dersleri - Sınıflandırma.” [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/code/hasansezertaan/machine-learning-dersleri-s-n-fland-rma>
- [21] D. D. S. Uğuz, Makine Öğrenmesi Teorik Yönleri Ve Python Uygulamaları İle Bir Yapay Zeka Ekolü. Atlas Akademi Basım Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti., 2023.
- [22] İ. Aydoğan and G. Zirhlioğlu, “Öğrenci başarılarının yapay sinir ağları ile kestirilmesi,” dergipark.org.tr İYDOĞAN, G ZIRHLIOĞLUVan Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 2018•dergipark.org.tr, vol. 15, no. 1, pp. 577–610, 2018, doi: 10.23891/efdyyu.2018.80.
- [23] S. ARSLANKAYA and Ş. TOPRAK, “Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Algoritmalarını Kullanarak Hisse Senedi Fiyat Tahmini,” Uluslararası Muhendis. Arastirma ve Gelistirme Derg., vol. 13, no. 1, pp. 178–192, 2021, doi: 10.29137/umagd.771671.
- [24] L. D. Avendaño-Valencia and S. D. Fassois, “Support Vector Networks,” J. Phys. Conf. Ser., vol. 628, no. 1, pp. 273–297, 2015, doi: 10.1088/1742-6596/628/1/012073.
- [25] P. Jain, K. R. Srinivas, and A. Vichare, “Depression and Suicide Analysis Using Machine Learning and NLP,” J. Phys. Conf. Ser., vol. 2161, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2161/1/012034.
- [26] S. Erpolat and E. Öz, “Kanser Verilerinin Sınıflandırılmasında Yapay Sinir Ağları ile Destek Vektör Makinelerinin Karşılaştırılması,” İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, vol. 2, no. 5. pp. 71–83, 2010. [Online]. Available: [http://iaud.aydin.edu.tr/makaleler/yil2sayi5/IAUD\\_Yil\\_2\\_Sayi\\_5\\_Makale\\_4.pdf](http://iaud.aydin.edu.tr/makaleler/yil2sayi5/IAUD_Yil_2_Sayi_5_Makale_4.pdf)
- [27] D. Kılınc, E. Borandağ, F. Yücalar, V. Tunalı, M. Şimşek, and A. Özçift, “KNN Algoritması ve R Dili ile Metin Madenciliği Kullanılarak Bilimsel Makale Tasnifi,” Marmara Fen Bilim. Derg., vol. 28, no. 3, 2016, doi: 10.7240/mufbed.69674.
- [28] J. Brownlee, “How to Develop an Extra Trees Ensemble with Python.” [Online]. Available: <https://machinelearningmastery.com/extra-trees-ensemble-with-python/>
- [29] S. EMANET, G. KARATAŞ AYDOĞMUŞ, and Ö. DEMİR, “Öznitelik Seçme Yöntemlerinin Makine Öğrenmesi Tabanlı Saldırı Tespit Sistemi Performansına Etkileri,” DÜMF Mühendislik Derg., vol. 5, pp. 743–755, 2021, doi: 10.24012/dumf.1051340.
- [30] H. Tanrıku, “Saldırı Tespit Sistemlerinde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması Saldırı Tespit Sistemlerinde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması,” no. January 2008, 2017.
- [31] S.-L. Developers, “Naive Bayes.” Accessed: Nov. 12, 2024. [Online]. Available: [https://scikit-learn.org/dev/modules/naive\\_bayes.html#bernoulli-naive-bayes](https://scikit-learn.org/dev/modules/naive_bayes.html#bernoulli-naive-bayes)
- [32] N. Ninja, “TF-IDF: Weighing Importance In Text.” [Online]. Available: [https://letsdatascience.com.translate.google/tf-idf/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=tr&\\_x\\_tr\\_hl=tr&\\_x\\_tr\\_pto=tc](https://letsdatascience.com.translate.google/tf-idf/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=tr&_x_tr_hl=tr&_x_tr_pto=tc)
- [33] A. GÜRAN and D. KINIK, “TF-IDF ve Doc2Vec Tabanlı Türkçe Metin Sınıflandırma Sisteminin Başarım Değerinin Ardışık Kelime Grubu Tespiti ile Arttırılması,” Eur. J. Sci. Technol., no. 21, pp. 323–332, 2021, doi: 10.31590/ejosat.774144.
- [34] N. Van Otten, “SMOTE Oversampling & Tutorial On How To Implement In Python And R.” [Online]. Available: <https://spotintelligence.com/2023/02/17/smote-oversampling-python-r/>



## Multi-Class Classification of ISO/IEC 25010 Software Quality Metrics Using User Feedback

Sedat SÖNMEZ<sup>1,a,\*</sup>, Hakan KEKÜL<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> Department of Artificial Intelligence and Data Science, Institute of Science and Technology, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

<sup>2</sup> Department of Software Engineering, Faculty of Technology, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 20/11/2024

Accepted: 10/10/2024

### ABSTRACT

Software quality indicates how effective and efficient a software is. Various standards need to be used to evaluate software quality. One of the most important internationally accepted standards for measuring software quality is the ISO/IEC 25010 software quality standard. With this standard, the quality of a software product is evaluated with eight different metrics. These are functional suitability, performance, compatibility, usability, reliability, security, maintainability and portability metrics. In this study, we tried to determine the relationship between user feedback and the metrics of the ISO/IEC 25010 software quality standard. Machine learning (ML) and natural language processing (NLP) techniques were used to classify user comments. After the data preprocessing phase, vectors of user comments were extracted with the Tf-Idf method for NLP. As a machine learning method, classification was made using five different models: Extra Trees Classifier (ETC), Gaussian Process Classifier (GPC), MLP Classifier (MLPC), Bernoulli Naive Bayes Classifier (BNBC) and Support Vector Classifier (SVC). Our goal is to show how quality metrics can be classified into multiple classes using user notifications. The data set used has an unbalanced structure, containing 1681 user comments classified by software experts. Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) was used to address the imbalance in the dataset. The results were compared by applying the same classification models to unbalanced and balanced data sets. According to the results obtained, the best classification model is the Extra Trees Classifier model, which provides the highest accuracy rate of 87% according to the SMOTE applied data set. The results show that ML and NLP methods can be used effectively in the classification process of software quality metrics.

**Keywords:** Machine learning, Natural language processing, ISO/IEC 25010, Smote, Multiclass classification

## ISO/IEC 25010 Yazılım Kalite Metriklerinin Kullanıcı Geri Bildirimlerini Kullanarak Çok Sınıflı Sınıflandırılması

### ÖZ

Yazılım kalitesi, bir yazılımın ne kadar etkili ve verimli olduğunu gösterir. Yazılım kalitesini değerlendirmek için çeşitli standartların kullanılması gerekmektedir. Yazılım kalitesini ölçmek için uluslararası alanda kabul görmüş en önemli standartlardan biri, ISO/IEC 25010 yazılım kalite standardıdır. Bu standart ile bir yazılım ürününün kalitesi sekiz farklı metrik ile değerlendirilmektedir. Bunlar fonksiyonel uygunluk, performans, uyumluluk, kullanılabilirlik, güvenilirlik, güvenlik, bakım kolaylığı ve taşınabilirlik metrikleridir. Bu çalışmada kullanıcı geri bildirimleri ile, ISO/IEC 25010 yazılım kalite standardının metrikleri arasındaki ilişki tespit edilmeye çalışılmıştır. Kullanıcı yorumlarının sınıflandırılmasında Makine öğrenmesi (ML) ve doğal dil işleme (NLP) teknikleri kullanılmıştır. Veri ön işleme aşamasından sonra NLP için Tf-Idf yöntemi ile kullanıcı yorumlarının vektörleri çıkarılmıştır. Makine öğrenmesi yöntemi olarak Ekstra Ağaçlar Sınıflandırıcısı (ETC), Gauss Süreç Sınıflandırıcısı (GPC), MLP Sınıflandırıcısı (MLPC), Bernoulli Naive Bayes Sınıflandırıcısı (BNBC) ve Destek Vektör Sınıflandırıcısı (SVC) olmak üzere beş farklı model kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır. Amacımız, kalite metriklerinin kullanıcı bildirimlerini kullanarak çok sınıflı nasıl sınıflandırılabileceğini göstermektir. Kullanılan veri seti yazılım uzmanları tarafından sınıflandırılmış 1681 kullanıcı yorumu içeren dengesiz bir yapıya sahiptir. Veri setindeki dengesizliği gidermek için Sentetik Azınlık Aşırı Örnekleme Tekniği (SMOTE) kullanılmıştır. Dengesiz ve dengeli veri setlerine aynı sınıflandırma modelleri uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, en iyi sınıflandırma modeli SMOTE uygulanan veri setine göre %87 ile en yüksek doğruluk oranını sağlayan Ekstra Ağaçlar Sınıflandırıcısı modelidir. Sonuçlar, ML ve NLP yöntemlerinin yazılım kalite metriklerinin sınıflandırma sürecinde etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Makine öğrenmesi, Doğal dil işleme, ISO/IEC 25010, Smote, Çok sınıflı sınıflandırma

### Copyright



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

<sup>a</sup> 20239258007@cumhuriyet.edu.tr

<sup>b</sup> ORCID: 0009-0009-6271-036X

<sup>a</sup> hakankekul@cumhuriyet.edu.tr

<sup>b</sup> ORCID: 0000-0001-6269-8713

## Introduction

Software quality is an important factor in all stages of the development process. Quality orientated approaches in requirements specification and design phases, early detection of errors and reduces costs [1]. Since improving the quality of software will directly affect both user satisfaction and the success of the business, software developers and companies need some methods to objectively measure the quality of their products[2]. ISO/IEC 25010 is an internationally recognized standard for assessing software quality. It consists of two main models: software product quality and quality of use [3]. Standardized, online health portals, mobile has been applied to evaluate various systems, including applications and e-commerce Web sites [4], [5], [6]. The standard includes eight metrics that describe different aspects of software: functional suitability, performance, compatibility, usability, reliability, security, maintainability and portability. Each of these features evaluates a specific aspect of the software [7]. The usability metric measures how easily a software can be learned and used by users, while the security metric examines how well the software defends against unauthorized access. The main reasons for the widespread use of these metrics are that they comprehensively evaluate many aspects of software and offer a different perspective. Research shows that sustainability, performance efficiency and usability are the most frequently evaluated quality metrics [8].

The use of user comments in the evaluation of software quality is becoming increasingly important. User experiences are becoming more important as they consist of real-time data. Research shows that analyzing user feedback can provide valuable insights into application quality and guide development [9]. The importance of user preferences in mobile application selection has increased; factors such as language, price, performance and user feedback have become important criteria. [10]. However, By revealing hidden elements in the comments associated with the ISO/IEC 25010 standard, valuable information about various aspects of the software, such as functionality or security, can be obtained [11]. These findings suggest that user feedback plays a very important role in improving software quality. Automated classifiers can help classify user statements according to ISO/IEC 25010 quality metrics, reducing manual effort in requirements elicitation [12]. Therefore, natural language processing and machine learning techniques can be an effective tool for software quality assessment by playing an important role in analyzing user comments [13].

The following research questions are addressed in this article.

R.Q.1: Which machine learning algorithm provides the highest accuracy in classifying ISO/IEC 25010 software quality metrics based on user feedback?

R.Q.2: How does the SMOTE method applied to unbalanced data sets affect the performance of classifiers

in the classification of ISO/IEC 25010 software quality metrics?

R.Q.3: How does the classification of quality metrics with user comments contribute to the software quality assessment process?

The paper is designed as follows: firstly, the importance of software quality and the role of the ISO/IEC 25010 standard in software quality assessment are discussed. Then, similar studies in the literature are summarized and in the methodology section, the processing of the dataset, imbalance removal with SMOTE and the machine learning algorithms used are discussed in detail. In the findings section, the classification performance of each algorithm is compared. In the Discussion section, the contribution of the findings to software quality assessment processes is evaluated. In the last part, the conclusions obtained from the study and future studies are emphasized.

## Literature Review

Haoues et al. [14] In their study, they classified mHealth app reviews according to ISO/IEC 25010 features and sensitivity polarity and achieved a high accuracy rate. Similarly Zahra and Kraugusteeliana [15] In their study, they analyzed the performance of a digital banking application by defining security as a critical feature and using ISO/IEC 25010. Şenkal et al. [16] They analyzed the DevOps pipeline from the perspective of ISO/IEC 25010 and identified gaps in the quality framework. Yetiş and Das [17] focused on software product metrics, describing source code and class-based metrics and demonstrating their implementation through a Java-based library.

Tuna [18] In his study, he investigated the classification of emotions in mobile app customer feedback using machine learning methods and emphasized the potential of voluntary online feedback as a tool for accurately understanding customers. Ramadhan and Hartomo [19] In their study, they evaluated the quality of a disaster information system website using the WebQual 4.0 method, which assesses usability, information quality, interaction quality and user satisfaction. Their findings emphasize the importance of improving information quality to increase user satisfaction. Onaran and Gençtürk [20] When they evaluated the service quality of mobile municipality applications in the context of e-government, they found that while ease of use was appreciated, reliability and other dimensions were perceived negatively.

Yalçın and Yağlı [21] In their study, they developed a hierarchical quality model based on ISO/IEC 25010 quality model and evaluated the website quality of technology stores with this model. The study proposes a new quality assessment model for website evaluation and provides guidance for technology stores to design better quality websites for their users. Keibach and Shayesteh [22] In

their study, they examined the capabilities and limitations of software tools for climate adaptation in landscape design. This assessment, based on the ISO/IEC 25010 framework, focussed on quality attributes of software such as functionality, reliability, performance efficiency, usability, compatibility and information quality.

Majumdar et al. [23] developed a framework for classifying code comments as useful, partially useful or not useful for software maintenance. Yahya et al. [24] proposed a hybrid deep learning model to detect and classify non-functional requirements in mobile application reviews. Khan et al. [25] By analysing user feedback from low-scoring applications to identify common problems, they compared various ML and deep learning (DL) algorithms to classify these problems. Botchway et al. [26] They used the Analytic Hierarchy Process to evaluate software quality attributes and found that the most important ones are maintainability, security and testability.

These studies demonstrate the value of user feedback in improving software quality and highlight the effectiveness of ML techniques in analysing user comments for software quality assessment.

**Methodology**

This section describes the methodology used in the study. Within the scope of the study, a series of data processing steps and various machine learning algorithms were applied to classify user feedback according to ISO/IEC 25010 software quality metrics. After the data were first cleaned and normalised, the class imbalance was removed using the SMOTE method and then the results were evaluated using five different classifiers. Model evaluations were made using performance metrics such as accuracy, precision, recall and f1-score. Figure 1 shows the flowchart.

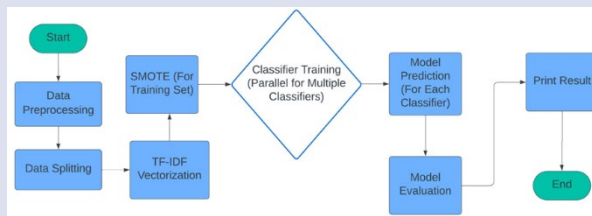


Figure 1. Process flow chart

**Data Set**

Haoues et al. [14] The data set created by, consists of user feedbacks, emotions and quality metrics columns. Feedbacks are categorized into three categories: positive, negative and neutral. The dataset contains feedbacks of

1681 users. In addition, these feedbacks were associated with quality metrics within the framework of the ISO/IEC 25010 software quality model. An example of the data set is shown in Table 1. In addition, Figure 2 shows the class distribution of quality metrics.

Table 1. An example from the data set

Body	Sentiment	Quality
The women's health portion isn't ac...	negative	Functional Suitability
I loved this app because it worked with other ...	positive	Compatibility
Trying to connect after buying an galaxy ac...	negative	Performance
Really good app and easy to use.	positive	Usability
Can't get past the login page - just get an...	negative	Security

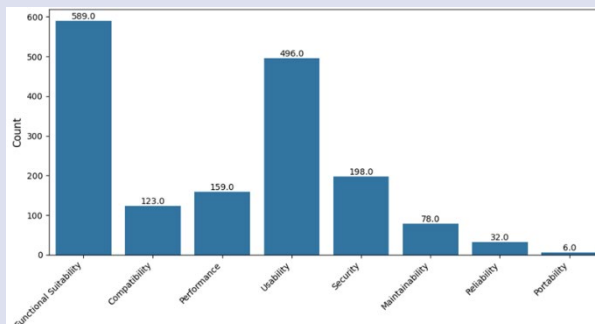


Figure 2. Class distribution of quality metrics



### Processing of Comments

The feedbacks to be used for analysis should be subjected to a series of pre-processing. In this study, the following were performed as data cleaning and organisation steps.

- Unicode normalisation check was performed.
- URLs in the texts were detected and removed with regular expressions regex.
- Emojis have been removed.
- All texts have been converted to lower case.
- The words in the texts have been reduced to roots.
- Stop words have been removed.
- Numeric characters and punctuation marks have been removed and only alphabetic characters have been retained.

### Synthetic Data Generation

SMOTE is a popular method to address class imbalance in ML [27]. Generates synthetic samples for the minority class by linear interpolation between existing samples and their nearest neighbours [28]. When the class distributions of the data are analysed, it is observed that there is a significant class imbalance in the "Quality" categories. This imbalance may cause classes to be underrepresented by the model and especially minority classes to have difficulty in the learning process. Especially "Functional Suitability" (589) and "Usability" (496) classes have large sample groups, while some classes such as "Portability" (6) and "Reliability" (32) are represented by very few samples. This may lead to the model not being able to learn small classes sufficiently and the prediction performance for these classes may decrease. [29].

In order to reduce the negative effects of such class imbalances and to enable the model to learn small classes more effectively, the SMOTE method was applied. [30]. In the "Quality" category, a balanced distribution was achieved with 460 samples for each class. In addition to the classes such as "Functional Suitability" and "Usability" which initially had large sample groups, small classes such as "Portability" and "Reliability" were also equalized with 460 samples. This balance ensured that all quality attributes were learnt by the model with equal weight and eliminated the under-representation problems of small classes.

### Classification Models

In this study, five different classification algorithms were used to classify user comments according to ISO/IEC 25010 software quality metrics.

*Table 2. Weighted average comparison table calculated before smote*

Algorithm	Precision	Recall	F1 Score	Accuracy
GPC	0.80	0.73	0.70	0.7329
MLPC	0.79	0.80	0.79	0.7982

### Extra Trees Classifier (ETC)

ETC is a method that combines predictions by combining multiple decision trees [31]. This approach reduces overfitting while improving generalization [32]. The algorithm does not spend much time finding the best split, which makes it faster [33]. Random selection of splits is a feature that speeds up the training process [34]. This classification algorithm aims to improve prediction accuracy and control overfitting by applying a series of randomized decision tree techniques to subsamples of the dataset [35].

### Gaussian Process Classifier (GPC)

GPC is a supervised ML method for solving regression and probabilistic classification problems [36]. Supports multi-class classification [37]. It does this by training and predicting each class against the others. Uses the one class versus all other classes approach when performing the classification process [38].

### MLP Classifier (MLPC)

This model is known as a multilayer perceptron classifier and uses the stochastic gradient descent method to optimize the log-loss function [39]. MLPC is an artificial neural network model and supports multi-class classification.

### Bernoulli Naive Bayes Classifier (BNBC)

BNBC supports multi-class classification. It performs probability calculations for each class and predicts the class with the highest probability. Particularly suitable for datasets containing binary (0/1) features, but can also work with multi-class datasets [40].

### Support Vector Classifier (SVC)

SVC is a support vector machines (SVM) algorithm and can work with multi-class datasets. Builds and predicts separate models for each class using the "one-vs-one" strategy for multi-class datasets [41].

## Results

In this study, several machine learning algorithms are applied for multi-class classification of ISO/IEC 25010 software quality metrics using user feedback. Metrics such as precision, recall and f1-score were used to evaluate the classification performances and the weighted average results for each algorithm were compared.

### Pre-Smote Classification Results

In this section, the classification results obtained with the dataset consisting of raw data before data balancing with SMOTE are presented in detail. Table 2 presents the classification results of the different classification algorithms used.

ETC	0.87	0.86	0.85	0.8575
BNBC	0.61	0.58	0.52	0.5786
SVC	0.85	0.80	0.78	0.7982

A comparative evaluation of the five algorithms used is presented below:

GPC: This algorithm performed poorly compared to the other models with 73% recall and 70% f1-score. Although the precision is 80%, the relatively low recall value indicates imbalances in some classes.

MLPC: It gave very balanced results with 79% precision, 80% recall and 79% f1-score. This model can be preferred because it provides a balanced distribution between classes and shows successful results in terms of overall performance.

ETC: It is the highest performing model with 87% precision, 86% recall and 85% f1-score. Especially considering the precision and recall values, this model provided the best result in terms of both accuracy and overall classification success.

BNBC: This algorithm showed the lowest performance compared to the others (61% precision, 58% recall, 52% f1-score). The lack of sufficient data in some classes and the poor discrimination power of the model between classes led to low results.

SVC: provided a balanced result with 85% precision, 80% recall and 78% f1-score. This model, which has a particularly high precision value, gave satisfactory results in terms of overall accuracy, but imbalances were observed in some classes. According to the results, the ETC algorithm showed the highest success with an accuracy of 85.75%. This model provided the best performance despite the data imbalance. It is followed by

MLPC and SVC with an accuracy of 79.82%. Although these two models provide a reasonable balance between the classes, they resulted in less accuracy. The GPC algorithm performed slightly lower with an accuracy of 73.29%. Data imbalance may be one of the factors affecting the performance of this model. The model with the lowest accuracy was BNBC with 57.86%. This model may not be a suitable choice for this type of multi-class dataset, as it performs poorly especially in data imbalances.

Considering all the results, the ETC algorithm showed the highest performance in the classification of ISO/IEC 25010 quality metrics based on user feedback. This model has achieved the most successful results in extracting quality metrics from user feedback, especially due to its balanced precision and recall ratios. Among the other models, MLPC and SVC also gave remarkable results, but the low recall rates for some classes reveal the limitations of these models. As a result, the ETC algorithm stands out as the most successful model.

#### Post-Smote Classification Results

In this section, the success rates of the classification models obtained with the data generated by eliminating the imbalance of the data set are presented. It is an expected result that the classification success increases as a result of the balanced data set in multi-class classification. The obtained classification results are given in Table 3.

Table 3. Weighted average comparison table calculated after smote

Algorithm	Precision	Recall	F1 Score	Accuracy
GPC	0.87	0.86	0.86	0.8605
MLPC	0.81	0.81	0.81	0.8100
ETC	0.87	0.87	0.87	0.8694
BNBC	0.74	0.72	0.72	0.7210
SVC	0.85	0.80	0.79	0.8011

The GPC and BNBC models showed the largest increase in accuracy after SMOTE. This shows that these models were significantly affected by the data imbalance and SMOTE application eliminated this effect. ETC slightly improves its performance after SMOTE and stands out as

the most stable model with an accuracy of 87%. Other models (MLPC and SVC) showed a more limited improvement. Figure 3,4,5,6,7 shows the confusion matrix plots of the classifiers.

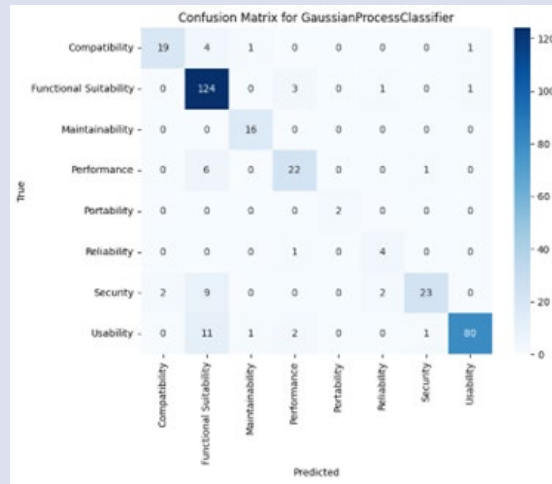


Figure 3. Confusion matrix of the GPC

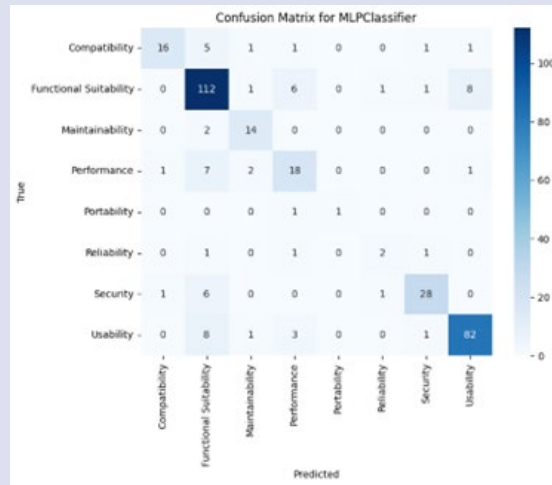


Figure 4. Confusion matrix of the MLPC

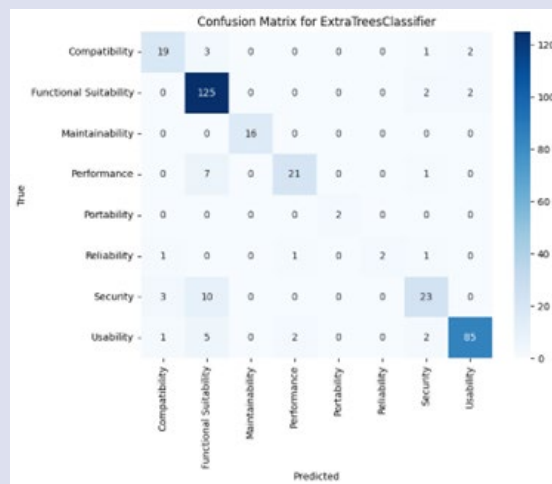


Figure 5. Confusion matrix of the ETC

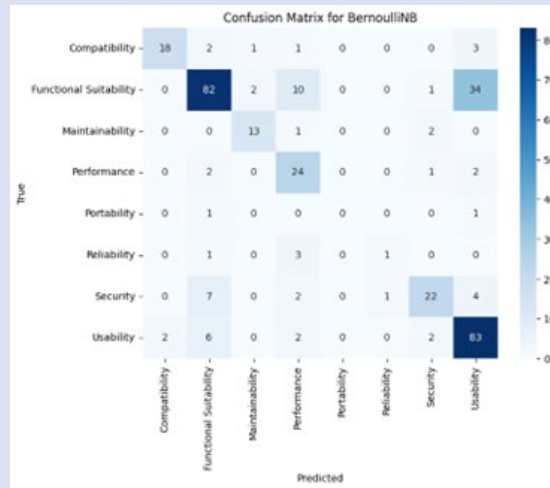


Figure 6. Confusion matrix of the BNBC

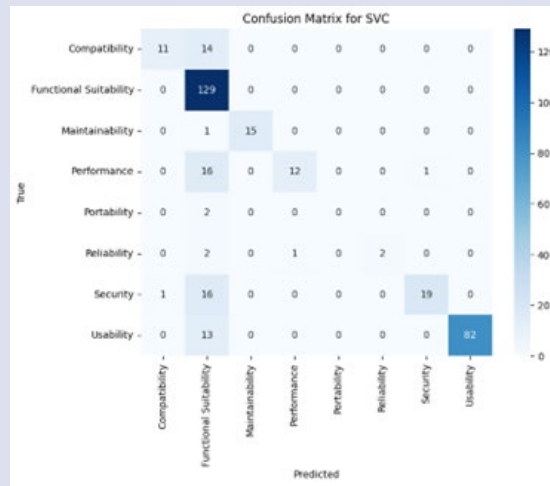


Figure 7. Confusion matrix of the SVC

**Discussion**

This study can be an important guide for future research by contributing to the determination of the most appropriate algorithm for software quality classification problems. The findings obtained within the scope of the study reveal that user comments can be successfully classified within the framework of the ISO/IEC 25010 software quality model and that this classification is useful. The high accuracy rates of algorithms such as ETC and GPC show that quality metrics can be successfully extracted from user comments. These findings reinforce the relationship between ISO/IEC 25010 standards and user feedback and allow software quality to be evaluated based on user experiences. However, it has been observed that some metrics are more difficult to extract from user feedback, creating a limitation that can be addressed with further research.

The performance of algorithms varies depending on the dataset used and the characteristics of the algorithm. For example, the low accuracy rate of the BNBC algorithm emphasizes that more advanced algorithms should be

preferred in such text classification problems. In the future, it may be useful to extend the method and use different algorithms to work with more complex data sets and metrics.

**Conclusion**

In this study, five different machine learning algorithms were used to classify feedback from users according to ISO/IEC 25010 software quality metrics. GPC, MLPC, ETC, BNBC and SVC algorithms have been tested. According to the results, after applying the smote, ETC provided the highest accuracy rate of 87%. While GPC offered a close accuracy rate of 86.05%, the BNBC algorithm showed the lowest performance with 72.10%. These findings show that ETC and GPC algorithms, in particular, have a strong potential for making meaningful inferences about quality metrics from user comments. On the other hand, MLPC, which gives lower accuracy rates of 81%, and SVC algorithms, which give lower accuracy rates of 80.11%, were also evaluated, but did not show superior performance. As a result, this study emphasized the effect

of different algorithms on software quality classification and revealed that ETC is a model that can be recommended for such classification problems. Future studies can investigate ways to improve the performance of these algorithms by testing them on larger data sets. Additionally, it appears that some ISO/IEC 25010 metrics are quite difficult to extract based on user comments. Therefore, the relationships between user comments and metrics should be further investigated. More studies should be conducted on extracting valuable comments from user comments and different dimensions of evaluation in comments.

### Acknowledgements

This study was produced as a part of the Master's thesis titled "Classification of ISO/IEC 25010 Software Quality Metrics Using User Comments" prepared by Sedat SÖNMEZ.

### References

- [1] D. YILDIZ, 'Bilgi Sistemi Yazılım Geliştirme Yaşam Döngüsü Safhalarından Gereksinim Belirleme ve Sistem Tasarımında Kalite Odaklılık: Üç Proje İncelemesi', *Bilişim Teknol. Derg.*, vol. 15, no. 1, pp. 55–64, 2022, doi: 10.17671/gazibtd.871411.
- [2] J. P. Miguel, D. Mauricio, and G. Rodríguez, 'A Review of Software Quality Models for the Evaluation of Software Products', *Int. J. Softw. Eng. Appl.*, vol. 5, no. 6, pp. 31–53, 2014, doi: 10.5121/ijsea.2014.5603.
- [3] M. D. Mulyawan, I. N. S. Kumara, I. B. A. Swamardika, and K. O. Saputra, 'Kualitas Sistem Informasi Berdasarkan ISO/IEC 25010: Literature Review', *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 20, no. 1, p. 15, Mar. 2021, doi: 10.24843/mite.2021.v20i01.p02.
- [4] A. Hussain and E. O. C. Mkpojiogu, 'An application of the ISO/IEC 25010 standard in the quality-in-use assessment of an online health awareness system', *J. Teknol.*, vol. 77, no. 5, pp. 9–13, 2015, doi: 10.11113/jt.v77.6107.
- [5] R. D. Jayanto, 'EVALUASI KUALITAS APLIKASI MOBILE KAMUS ISTILAH JARINGAN PADA PLATFORM ANDROID DENGAN STANDAR ISO/IEC 25010', *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.*, vol. 2, no. 2, pp. 178–182, Dec. 2017, doi: 10.21831/elinvo.v2i2.17311.
- [6] N. YALÇIN and B. ŞİMŞEK YAĞLI, 'TEKNOLOJİ MAĞAZALARININ ISO 25010 KALİTE MODELİNE DAYALI WEBSİTESİ KALİTE DEĞERLENDİRMESİNİN ÇOK KRİTERLİ ANALİZİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ', *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Derg.*, pp. 57–76, Feb. 2020, doi: 10.18092/ulikidince.557263.
- [7] K. Moumane, A. Idri, F. El Aouni, J. Laghimi, N. C. Benabdellah, and O. Hamal, 'ISO/IEC 25010-based Quality Evaluation of Three Mobile Applications for Reproductive Health Services in Morocco', *Clin. Exp. Obstet. Gynecol.*, vol. 51, no. 4, 2024, doi: 10.31083/j.ceog.5104088.
- [8] L. Carlos Belezia, M. Fatima Ludovico de Almeida, M. Falco, and G. Robiolo, 'Building a Catalogue of ISO/IEC 25010 Quality Measures Applied in an Industrial Context', *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1828, no. 1, p. 012077, Feb. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1828/1/012077.
- [9] A. Di Sorbo, G. Grano, C. Aaron Visaggio, and S. Panichella, 'Investigating the criticality of user-reported issues through their relations with app rating', *J. Softw. Evol. Process*, vol. 33, no. 3, pp. 1–21, 2021, doi: 10.1002/smr.2316.
- [10] T. EREN, 'Mobil Uygulama Seçiminde Etkili Olan Kriterlerin Belirlenmesi ve Örnek Uygulama', *İstanbul J. Econ. / İstanbul İktisat Derg.*, vol. 70, no. 1, pp. 113–139, Jun. 2020, doi: 10.26650/istjecon2019-0022.
- [11] I. Atoum and C. H. Bong, 'Measuring Software Quality in Use: State-of-the-Art and Research Challenges', vol. 17, pp. 4–15, 2015, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1503.06934>
- [12] R. dos Santos, K. Villela, D. T. Avila, and L. H. Thom, 'A practical user feedback classifier for software quality characteristics', *Proc. Int. Conf. Softw. Eng. Knowl. Eng. SEKE*, vol. 2021-July, pp. 340–345, 2021, doi: 10.18293/SEKE2021-055.
- [13] B. El Fhel and A. Idri, 'Quality In-Use of Mobile Geographic Information Systems for Data Collection', *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 14, no. 11, pp. 903–913, 2023, doi: 10.14569/IJACSA.2023.0141192.
- [14] M. Haoues, R. Mokni, and A. Sellami, 'Machine learning for mHealth apps quality evaluation: An approach based on user feedback analysis', *Softw. Qual. J.*, vol. 31, no. 4, pp. 1179–1209, Dec. 2023, doi: 10.1007/s11219-023-09630-8.
- [15] M. N. Zahra and K. Kraugusteliana, 'Analisis Kualitas Performa Aplikasi Digital Banking X Menggunakan Framework ISO 25010', *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 10, no. 3, pp. 483–490, Jul. 2023, doi: 10.25126/JTIK.20231036326.
- [16] 'Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi » Makale » DevOps İşletim Hattının Kalite Bakış Açısı ile İrdelenmesi ve ISO/IEC 25010 Boşluk Analizinin Gerçekleştirilmesi'. Accessed: Oct. 20, 2024. [Online]. Available: <https://dergipark.org.tr/pub/tbbmd/issue/78526/1118200>
- [17] A. KAHVECİ YETİŞ and R. DAŞ, 'Yazılım Ürün Ölçütlerinin Uygulamalı İncelenmesi', *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 34, no. 2, pp. 635–645, 2022, doi: 10.35234/fumbd.1114056.
- [18] M. F. TUNA, 'MOBİL UYGULAMA MÜŞTERİ GERİ BİLDİRİMİNDEKİ DUYGULARIN MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİYLE SINIFLANDIRILMASI', *J. Bus. Commun. Stud.*, vol. 1, no. 1, pp. 83–103, 2022, doi: 10.29228/JOBACS.63080.
- [19] M. R. Ramadhan and K. D. Hartomo, 'Evaluasi Kualitas Website Menggunakan Webqual 4.0 (Studi Kasus: Sistem Informasi Kebencanaan Kabupaten Boyolali)', *J. Transform.*, vol. 19, no. 2, p. 138, Jan. 2022, doi: 10.26623/TRANSFORMATIKA.V19I2.4195.
- [20] B. ONARAN and K. K. GENÇTÜRK, 'Mobil Belediye Aplikasyonlarında Hizmet Kalitesi: İzmir Örneği', *Uluslararası Yönetim Akad. Derg.*, vol. 5, no. 1, pp. 16–31, 2022, doi: 10.33712/mana.1039540.
- [21] N. YALÇIN and B. ŞİMŞEK YAĞLI, 'TEKNOLOJİ MAĞAZALARININ ISO 25010 KALİTE MODELİNE DAYALI WEBSİTESİ KALİTE DEĞERLENDİRMESİNİN ÇOK KRİTERLİ ANALİZİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ', *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Derg.*, pp. 57–76, Feb. 2020, doi: 10.18092/ulikidince.557263.
- [22] E. Keibach and H. Shayesteh, 'BIM for Landscape Design Improving Climate Adaptation Planning: The Evaluation of Software Tools Based on the ISO 25010 Standard', *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 2, Jan. 2022, doi: 10.3390/APP12020739.
- [23] S. Majumdar, A. Bansal, P. P. Das, P. D. Clough, K. Datta, and S. K. Ghosh, 'Automated evaluation of comments to aid software maintenance', *J. Softw. Evol. Process*, vol. 34, no. 7, Jul. 2022, doi: 10.1002/SMR.2463.
- [24] A. E. Yahya, A. Gharbi, W. M. S. Yafooz, and A. Al-Dhaqm, 'A Novel Hybrid Deep Learning Model for Detecting and Classifying Non-Functional Requirements of Mobile Apps Issues', *Electronics*, vol. 12, no. 5, Mar. 2023, doi: 10.3390/ELECTRONICS12051258.
- [25] N. D. Khan, J. A. Khan, J. Li, T. Ullah, and Q. Zhao, 'Mining software insights: uncovering the frequently occurring

issues in low-rating software applications', *PeerJ Comput. Sci.*, vol. 10, p. e2115, Jul. 2024, doi: 10.7717/PEERJ-CS.2115/SUPP-1.

[26] B. I. Belinda, A. A. Emmanuel, N. Solomon, and A. B. Kayode, 'Evaluating Software Quality Attributes using Analytic Hierarchy Process (AHP)', *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 12, no. 3, pp. 165–173, 2021, doi: 10.14569/IJACSA.2021.0120321.

[27] G. A. Pradipta, R. Wardoyo, A. Musdholifah, I. N. H. Sanjaya, and M. Ismail, 'SMOTE for Handling Imbalanced Data Problem : A Review', in *2021 6th International Conference on Informatics and Computing, ICIC 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, 2021. doi: 10.1109/ICIC54025.2021.9632912.

[28] P. Soltanzadeh and M. Hashemzadeh, 'RCSMOTE: Range-Controlled synthetic minority over-sampling technique for handling the class imbalance problem', *Inf. Sci. (Ny.)*, vol. 542, pp. 92–111, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.ins.2020.07.014.

[29] E. Sugawara and H. Nikaido, 'Properties of AdeABC and AdeIJK efflux systems of *Acinetobacter baumannii* compared with those of the AcrAB-TolC system of *Escherichia coli*', *Antimicrob. Agents Chemother.*, vol. 58, no. 12, pp. 7250–7257, 2014, doi: 10.1128/AAC.03728-14.

[30] A. A. Arifiyanti, A. A. Arifiyanti, and E. D. Wahyuni, 'SMOTE: METODE PENYEIMBANG KELAS PADA KLASIFIKASI DATA MINING', *Scan J. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 15, no. 1, pp. 34–39, Feb. 2020, doi: 10.33005/scan.v15i1.1850.

[31] P. A. Manilal and A. C. Suthar, 'Object Based Image Classification of Satellite Images for Urban Areas', 2023. Accessed: Oct. 17, 2024. [Online]. Available: [http://gtusitecirculars.s3.amazonaws.com/uploads/Final\\_Synopsis\\_465548.pdf](http://gtusitecirculars.s3.amazonaws.com/uploads/Final_Synopsis_465548.pdf)

[32] A. Pagliaro, 'Forecasting Significant Stock Market Price Changes Using Machine Learning: Extra Trees Classifier Leads', *Electron.*, vol. 12, no. 21, p. 4551, Nov. 2023, doi: 10.3390/electronics12214551.

[33] D. Baby, S. J. Devaraj, J. Hemanth, and M. M. Anishin Raj, 'Leukocyte classification based on feature selection using extra trees classifier: A transfer learning approach', *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 29, pp. 2742–2757, 2021, doi: 10.3906/elk-2104-183.

[34] N. Bhandari, 'How does ExtraTreesClassifier reduce the risk of overfitting?' [Online]. Available: <https://medium.com/@namanbhandari/extratreesclassifier-8e7fc0502c7>

[35] 'Extra Trees Classifier', *scikit-learn Machine Learning in Python*. [Online]. Available: <https://scikit-learn.org/dev/modules/generated/sklearn.ensemble.ExtraTreeClassifier.html>

[36] O. O. Petinrin, X. Li, and K. C. Wong, 'Particle Swarm Optimized Gaussian Process Classifier for Treatment Discontinuation Prediction in Multicohort Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer Patients', *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 26, no. 3, pp. 1309–1317, 2022, doi: 10.1109/JBHI.2021.3103989.

[37] I. Achituve, A. Navon, Y. Yemini, G. Chechik, and E. Fetaya, 'GP-Tree: A Gaussian Process Classifier for Few-Shot Incremental Learning', *Proc. Mach. Learn. Res.*, vol. 139, pp. 54–65, Feb. 2021, Accessed: Oct. 17, 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2102.07868v4>

[38] 'Gaussian Process Classification'. [Online]. Available: [https://scikit-learn.org/1.5/modules/gaussian\\_process.html#gaussian-processes](https://scikit-learn.org/1.5/modules/gaussian_process.html#gaussian-processes)

[39] 'MLP Classifier'. [Online]. Available: [https://scikit-learn.org/dev/modules/generated/sklearn.neural\\_network.MLPClassifier.html](https://scikit-learn.org/dev/modules/generated/sklearn.neural_network.MLPClassifier.html)

[40] O. Iparraguirre-Villanueva, K. Espinola-Linares, R. O. Flores Castañeda, and M. Cabanillas-Carbonell, 'Application of Machine Learning Models for Early Detection and Accurate Classification of Type 2 Diabetes', *Diagnostics*, vol. 13, no. 14, 2023, doi: 10.3390/diagnostics13142383.

[41] M. M. Nishat, F. Faisal, T. Hasan, M. F. Bin Karim, Z. Islam, and M. R. K. Shagor, 'An Investigative Approach to Employ Support Vector Classifier as a Potential Detector of Brain Cancer from MRI Dataset', *Proc. Int. Conf. Electron. Commun. Inf. Technol. ICECIT 2021*, pp. 1–4, 2021, doi: 10.1109/ICECIT54077.2021.9641168.



## An investigation on usage of marble dust as an additive in concrete surrounding Sivas

Mehmet Bulut<sup>1,a,\*</sup>, Bedrettin Coşkun<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Sivas Vocational School of Technical Sciences Machine Dept., Sivas Cumhuriyet University, 58140 Sivas Türkiye.

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 58140 Sivas, Türkiye.

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 09/12/2024

Accepted: 15/12/2024

### ABSTRACT

Turkey has an important position in the world in terms of marble reserves. Marble has a wide range of uses due to the calcite mineral in its chemical structure. During the extraction and processing stages of marble, 50%-70% waste is generated. In this case, waste management and recycling become very important in reducing marble waste. The aim of this study is to investigate the possibilities of using travertine waste, a type of marble, as a building material. The final paper is based on a literature review and field study. The study consists of three parts. In the first part, a general information about the marble is given, the sections of the study, the purpose and the limits of the study are mentioned. In the second part, information about the material and method of the study is given. The material of the study was obtained from the BETA marble factory located in Sivas Organized Industrial Zone and producing Sivas travertine. In the last part of the study, the data obtained from the study were interpreted and recommendations were made. The study was concluded with suggestions about the utilization of marble wastes, such as checking these values with concrete samples to be produced by substituting the dried and ground travertine sludge into cement as a powder in the next stage, especially field concretes, sub-base plain concrete (in works where strength is not important).

**Keywords:** Composite Materials, Compression strength, Marble wastes, Travertine Powder.

## Sivas çevresinde mermer tozunun betonda katkı maddesi olarak kullanımı üzerine bir araştırma

### Öz

Türkiye mermer rezervleri açısından dünyada önemli bir konuma sahiptir. Mermer, kimyasal yapısında bulunan kalsit minerali nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Mermerin çıkarılması ve işlenmesi aşamalarında %50-%70 oranında atık ortaya çıkmaktadır. Bu durumda mermer atıklarının azaltılmasında atık yönetimi ve geri dönüşüm çok önemli hale gelmektedir. Bu çalışmanın amacı, bir mermer türü olan traverten atıklarının yapı malzemesi olarak kullanılabileceklerini araştırmaktır. Nihai çalışma, literatür taraması ve saha çalışmasına dayanmaktadır. Çalışma üç bölüme ayrılmıştır. Birinci bölümde mermer hakkında genel bir bilgi verilmiş, çalışmanın bölümleri, amacı ve sınırlarından bahsedilmiştir. İkinci bölümde ise çalışmanın materyali ve yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmanın materyali Sivas Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan ve Sivas travertenini üreten BETA mermer fabrikasından temin edilmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise çalışmadan elde edilen veriler yorumlanmış ve önerilerde bulunulmuştur. Özellikle saha betonları, alt temel grobetonları (dayanımın önemli olmadığı işlerde) olmak üzere, kurutulmuş ve öğütülmüş traverten çamurunun bir sonraki aşamada toz olarak çimentoya ikame edilerek üretilen beton numuneleri ile bu değerlerin kontrol edilmesi gibi mermer atıklarının değerlendirilmesine yönelik öneriler ile çalışma sonlandırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit Malzemeler, Mermer atıkları, Sıkıştırma dayanımı, Traverten Tozu.

### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

<sup>a</sup> mehmet.bulut@cumhuriyet.edu.tr 0000-0002-0705-6555

<sup>b</sup> coskun@cumhuriyet.edu.tr

0000-0002-5344-1024

**How to Cite:** Bulut M, Coşkun B (2024) An investigation on usage of marble dust as an additive in concrete surrounding Sivas, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 223-227

## Introduction

Turkey has 40% of the world's marble reserves. Turkey is also very rich in terms of marble diversity due to its geography. Turkey has an important position in the world in terms of natural stone exports and imports. According to 2017 data from IMIB and MTA. Turkey competes with the lunar giants in terms of marble trade. Turkey, which is the world's leader in marble reserves, is unable to utilize this reserve effectively. In Turkey, where only 2% of the world's marble reserves are utilized, 50-70% of the extracted marble ends up as waste [1]. According to this waste percentage, more than half of the marble extracted from actively operated marble quarries is wasted. In this context, the recycling of marble waste is very important for the country's economy and to prevent the unconscious consumption of natural resources [2-3].

Marble is a compound formed as a result of the metamorphosis of limestone and dolomitic limestone under a certain temperature and pressure. Marble contains high levels of calcium carbonate and low levels of magnesium carbonate [4].

Waste occurs due to some properties of marble arising from its natural structure. These features are fractures and cracks, veins, voids, crystal texture, foliation and fossils. In addition to these features, the structure of the bedrock in which the marble is found is also one of the reasons that cause marble waste. The resulting wastes can be analyzed under two main headings as lump and powder marble waste according to their particle size. The area of use of these wastes varies according to the particle size of the waste. Marble piece wastes are mostly used in the construction sector, while marble powder wastes are used in the production of industrial raw materials [5-8]. The Marmara, Western Anatolia, Southern Anatolia, and Central and Northern Anatolia regions are areas with significant potential in our country. Among these regions, the Sivas area in the Central Anatolia region holds an important place in terms of travertine and onyx type marble reserves due to its unique structure and characteristics [9].

Marble powder is produced during the cutting of marble stones and blocks. Although it lacks pozzolanic properties, it enhances concrete mixtures by filling voids, resulting in denser concrete [10]. This, in turn, positively influences the compressive strength of the concrete. However, because marble powder has a relatively small specific surface area, it increases the water demand in the concrete. Consequently, using more than the ideal amount in concrete mixtures can lead to a decrease in compressive strength [11].

The accumulation of large volumes of waste leads to significant harm to the environment and the organisms in those regions [12]. Consequently, the safe management of these wastes is crucial for promoting sustainability [13]. Failure to recycle wastes causes environmental pollution, excessive consumption of natural resources, decreased productivity during production and the problem of waste storage. In this direction, recycling of wastes reduces the problems that may arise due to environmental pollution and contributes to the national economy. In this regard, in this study; it is aimed to minimize the damages caused by the waste of travertine, which is one of the most important mines of Sivas.

## Materials and Methods

### *Preparation of test samples*

In this study, which is important for the utilization of wastes, experimental study method was used. Travertine mud samples were substituted into cement at certain ratios and new samples were formed. Compressive strength tests of the samples were carried out and compared with the samples without additives. To minimize the damage caused by the waste of travertine. To reduce the waste stack in addition to waste costs of travertine factories and to improve the mechanical properties of concrete while doing these. For a 1 cubic meter mix, the contribution of travertine mud to the strength of the concrete was investigated by performing uniaxial compression tests on samples obtained by substituting 20 kg, 40 kg, 60 kg and 80 kg of travertine mud into cement. The samples produced with pure cement were considered without additives and the results were compared. Sand, cement (CEM1 42,5R Votarantim Sivas), water and travertine mud were used as consumables in pure cement tests. The travertine sludge was obtained from the waste products of an industrial facility situated within the boundaries of the city of Sivas. Samples were produced by substituting travertine mud into cement in certain proportions. Molds with dimensions of 150x150x150 mm were used to produce the samples. In order to distribute the travertine mud homogeneously in the specimen, the mud was added to the specimen by mixing with water. The samples were kept in the mold for a period of 24 hours to allow for the setting process to occur. Then the samples were placed in the curing pool and kept there for 28 days to reach their strength. At the end of the 28th day, the samples were subjected to compression tests and the results were compared with the samples produced with pure cement.





(a)



(b)



(c)

Resim 1. Resim 1. Atık mermer geri dönüşümlü beton numunelerinin üretimi. (a) Traverten çamuru, (b) Beton ile traverten karışımı, (c) Kalıp ile traverten karışımı

Figure 1. Figure 1. Manufacturing of waste marble recycled concrete samples. (a) Traverten mud, (b) Traverten mixture with concrete, (c) Traverten mixture with mold

Çizelge 1. 1 m<sup>2</sup> karışım için malzeme oranları

Table 1. Material ratios for 1 m<sup>2</sup> mixture

Sample	Cement (kg)	Water	Sand (kg)	Filler (Waste of travertine)
1	420	0.55	1200	0
2	400	0.55	1200	20
3	380	0.55	1200	40
4	360	0.55	1200	60

In this study, sand used as aggregate has 0-4 mm diameter with density of 1750 kg/ m<sup>3</sup> and cement has a density of 3000 kg/ m<sup>3</sup>.

#### **Evaluation of concrete compression strength**

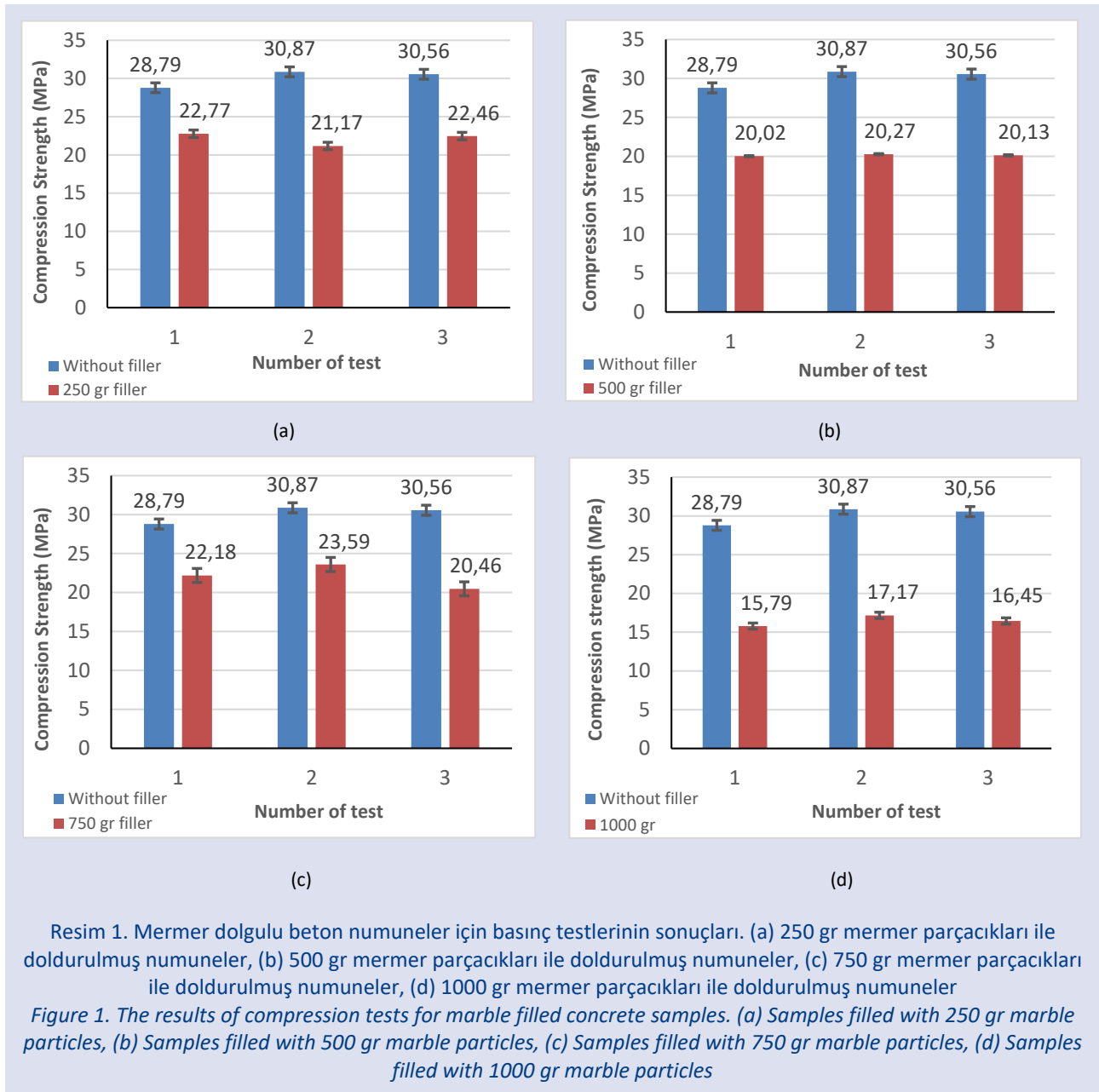
The compressive strength of concrete is defined as "the ability of concrete to resist breaking under the effect

of axial compressive load, the maximum stress that occurs in concrete under the effect of axial compressive load. Among the different types of strength investigated in concrete, compressive strength is the most widely used in engineering applications. After the preparing concrete mix with the filler, it was sent to the laboratory for compressive strength values according to the ASTM C39/C39M standards.

## Results and Discussions

Figure 2 illustrates the results of compressive strength values experimentally. In the first results of the pure cement tests, the samples produced by substituting 20 kg of travertine mud for cement in cubic meter mix showed a 26% decrease in compressive strength. 40 kg travertine mud substituted samples showed a 33% decrease in compressive strength compared to witness samples. 60 kg travertine mud substituted samples showed 24% less compressive strength compared to witness samples. 80 kg travertine mud substituted samples showed 45% lower compressive strength values compared to witness

samples. The substitution of waste travertine mud into cement showed that it can also be used as a binder, at least partially. Experiments that are more detailed can be carried out and the additive ratios can be determined by obtaining the results. In this study, although positive results were not obtained with additives up to 80 kg for 1 cubic meter, it was seen that it can be used according to the condition of the work to be done by conducting new studies. Similarly, Safiuddin et al. [14] indicated that partial replacement of cement with mud, fly ash, and lime, highlighting that the 60% cement replacement variation achieved optimal strength compared to M20 grade concrete.



## Conclusion

This study was conducted to investigate the possibilities of using travertine wastes in the production of building materials in the marble sector. Within the scope of this study, samples were formed by substituting travertine mud for cement and uniaxial compression tests were performed and the effect of the related material on concrete strength was discussed. Results from this study showed that travertine sludge, which is produced during the cutting and processing of travertine blocks and precipitated in sedimentation ponds with the help of a chemical called flocculants, especially narrows agricultural areas. It is important to reduce the environmental damage of this material, it has been demonstrated that travertine mud, which can be obtained free of charge from marble quarries in Sivas, can be used in concrete production, albeit to a limited extent.

## References

- [1] A. Tosun, Ç. Tatar, "Investigation on the Possibilities to increase marble export of Turkey," *Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 9 Sayı: 3 sh. 13-20 Ekim 2007
- [2] European Commission (2001): "Panorama Of EU Industry", Luxemburg-Brussels
- [3] M. Bilensoy, "Evaluation of waste dusts of marble factories," Master's thesis, ESOGÜ, Institute of Science and Technology, 2010
- [4] A. Gazi, G. Skevis, M.A. Founti, "Energy efficiency and environmental assessment of a typical marble quarry and processing plant, *Journal of Cleaner Production*", Volume 32, 2012, Pages 10-21, doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.007.
- [5] H. Ceylan, S. Mança, "Evaluation of marble fragment wastes as concrete aggregate," *Journal of Technical Sciences*, 2013, 3(2), 21-25.
- [6] M. Filiz, C. Özel, O. Soykan, Y. Ekiz, "Utilization of Atik Marble Powder in Paving Stones," *Electronic Journal of Building Technologies*, 2010, 6(2): 57-72
- [7] H. Güven, "Using Travertine Wastes In Denizli And Environments As Additive Materials In Concrete," Master's thesis, Pamukkale University Graduate School of Natural and Applied Sciences, 2015
- [8] S. Şimşek, "A research on the possibilities of using marble wastes in the production of construction materials," Doctoral dissertation, Bursa Uludag University, Turkey, 2019
- [9] Çetin, T. (2003). Türkiye mermer potansiyeli, üretimi ve ihracatı. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 23(3).
- [10] Ashish, D. K. (2019). Concrete made with waste marble powder and supplementary cementitious material for sustainable development. *Journal of cleaner production*, 211, 716-729, doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.245.
- [11] Alyamac, K. E., Ghafari, E., & Ince, R. (2017). Development of eco-efficient self-compacting concrete with waste marble powder using the response surface method. *Journal of cleaner production*, 144, 192-202, doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.156.
- [12] Kumar, R., Singh, S., & Singh, L. P. (2017). Studies on enhanced thermally stable high strength concrete incorporating silica nanoparticles. *Construction and Building Materials*, 153, 506-513, doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.057.
- [13] Wang, J., Wang, Y., Sun, Y., Tingley, D. D., & Zhang, Y. (2017). Life cycle sustainability assessment of fly ash concrete structures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1162-1174, doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.232.
- [14] Mohammed Safiuddin, D. M. A. H. (2020). Design Of Mud Concrete. *Solid State Technology*, 63(4), 2691-2697.



## Comparison of Energy Storage Capacities of Biochar/Phase Change Material Composites Produced at Different Pyrolysis Maximum Temperatures

Bedrettin Coşkun<sup>1,a,\*</sup>, Ümit Nazlı Temel<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 58140 Sivas, Türkiye.

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 10/12/2024

Accepted: 17/12/2024

### ABSTRACT

Biochars can be considered as effective base materials for Phase Change Material (PCM)/biochar composites due to their high surface area and porous structures. Shape-stable PCM/biochar composites produced in this way have the potential to be used in various applications such as energy storage and thermal protection. The maximum surface area, pore sizes, and distributions of biochars produced through pyrolysis vary according to parameters such as maximum pyrolysis temperature, heating rate, and holding time. In this study, the effects of maximum pyrolysis temperature on biochar porosity were evaluated in terms of the amount of PCM impregnated into the pores. For this purpose, biochars were obtained from naturally sourced poplar sawdust using different pyrolysis maximum temperatures. Biochar/PCM composites were created by impregnating PCM into the biochar pores using the vacuum impregnation method. The heat storage capacities of Biochar/PCM composites were determined by Differential Scanning Calorimetry. The results showed that as the pyrolysis maximum temperature decreased, the energy storage capacities of Biochar/PCM composites increased.

**Keywords:** Biochar, Latent heat, PCM, Pyrolysis.

## Farklı Piroliz Maksimum Sıcaklıklarında Üretilen Biyokömür/Faz Değiştiren Malzeme Kompozitlerinin Enerji Depolama Kapasitelerinin Karşılaştırılması

### ÖZ

Biyokömürler, yüksek yüzey alanı ve gözenekli yapıları sayesinde, Faz Değiştiren Malzeme (FDM)/biyokömür kompozitleri için etkili bir taban malzemesi olarak değerlendirilebilirler. Bu şekilde üretilen şekil kararlı FDM/biyokömür kompozitleri, enerji depolama ve termal koruma gibi farklı uygulamalarda kullanılma potansiyeline sahiptirler. Piroliz yoluyla üretilen biyokömürlerin maksimum yüzey alanı, gözenek boyutları ve dağılımları; maksimum piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı ve bekleme süresi gibi parametrelere göre değişmektedir. Bu çalışmada maksimum piroliz sıcaklığının biyokömür gözenekliliği üzerindeki etkileri, gözenekler içerisine emdirilen FDM miktarı açısından değerlendirilmiştir. Bu amaçla doğadan elde edilen kavak talaşından, farklı piroliz maksimum sıcaklıkları kullanılarak biyokömürler elde edilmiştir. Elde edilen biyokömür gözeneklerine vakum emdirme yöntemiyle FDM emdirilerek Biyokömür/FDM kompozitleri oluşturulmuştur. Biyokömür/FDM kompozitlerinin ısı depolama kapasiteleri Diferansiyel Taramalı Kalorimetre ile belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, piroliz maksimum sıcaklığının düşmesi ile Biyokömür/FDM kompozitlerinin enerji depolama kapasitelerinin arttığını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyokömür, FDM, Gizli ısı, Piroliz

### Copyright



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

<sup>a</sup> coskun@cumhuriyet.edu.tr

<sup>id</sup> 0000-0002-5344-1024

<sup>b</sup> untemel@cumhuriyet.edu.tr

<sup>id</sup> 0000-0001-5053-5124

**How to Cite:** Coşkun B, Temel ÜN (2024) Comparison of Energy Storage Capacities of Biochar/Phase Change Material Composites Produced at Different Pyrolysis Maximum Temperatures, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 228-235

## Giriş

Yenilenebilir enerji kaynakları, çevre dostu olmaları ve sürdürülebilir enerji üretme kapasiteleri sayesinde genellikle olumlu bir bakış açısıyla ele alınmaktadır. Ancak her enerji kaynağının kendine özgü avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da mevcuttur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en belirgin dezavantajları, atmosfer koşullarına olan bağımlılıkları ve üretimlerinin kesintili bir yapıya sahip olmasıdır. Örneğin, rüzgâr her zaman esmediği gibi güneş de her zaman görünmez. Bu durum, enerji üretiminde dalgalanmalara ve değişkenliklere yol açmaktadır. Ayrıca bu tip enerji kaynaklarının enerji arzı ve talebinin zamanlaması arasında genellikle bir uyumsuzluk vardır. Örneğin, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarında enerjinin gündüz üretildiği ancak üretilen bu enerjiye geceleri daha fazla ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir. Buna ilave olarak ülkeler, enerji arzlarını çeşitlendirmek ve enerji güvenliğini artırarak dışa bağımlılığı önlemek amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını etkili bir şekilde kullanmak ise verimli depolama çözümlerini gerektirmektedir.

Çeşitli enerji depolama yöntemleri arasında; yüksek enerji yoğunluğu, depolama kapasitesi, çevrim ömrü, verimliliği, maliyet etkinliği ve uygulama kolaylığı nedeniyle termal enerji depolama yöntemi yaygın olarak tercih edilmektedir. Depolama kapasitesi, maliyet avantajı ve yüksek enerji yoğunluğu gibi ölçütler, gizli ısı termal enerji depolama yöntemini popüler bir seçenek olarak karşımıza çıkarmaktadır. Bu yöntem; enerji bulunabilirliğindeki dalgalanmalar ile mücadele etmede, enerji talebini dengelemede ve enerji verimliliğini artırmada önemli bir rol oynamaktadır. Gizli ısı depolama yöntemi, faz değişimi süreci (şarj) sırasında harici bir kaynaktan enerji emme ve ters faz değişimi (deşarj) sırasında depoladığı enerjiyi geri verme ilkesine göre çalışmaktadır. Gizli ısı enerji depolama yöntemleri, güneş enerjisi sistemleri, endüstriyel süreçler ve elektrik üretimi gibi çeşitli alanlarda enerji depolama ihtiyaçlarını karşılamak için önemli bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Özellikle son yıllarda, yüksek miktarda gizli ısı enerjisi depolama kapasitesine sahip faz değiştiren malzemeler (FDM), termal enerji depolama sistemlerinde en çok tercih edilen seçeneklerden biri haline gelmiştir. Bu malzemeler, belirli sıcaklık aralıklarında katıdan sıvıya veya sıvıdan gazı geçerek enerji depolama ve salınımını etkin bir şekilde gerçekleştirmektedir. Böylece, enerji talebinin yüksek olduğu dönemlerde depolanan enerjiyi serbest bırakma ve enerji ihtiyacını karşılamada etkili bir çözüm sunmaktadır. Faz değiştiren malzemelerin bu özelliği, özellikle güneş enerjisi gibi doğrudan ve kesintili enerji kaynaklarından gelen enerjiyi uzun süreli depolamak için idealdir. Termal enerji depolama sistemleri, bu malzemelerin sahip olduğu yüksek gizli ısı kapasitesinden faydalanarak, enerjiyi verimli bir şekilde saklayabilmekte ve gerektiğinde enerjiye dönüştürebilmektedir. Bu nedenlerle, faz değiştiren malzemeler modern enerji sistemlerinin geliştirilmesinde büyük bir öneme sahiptir.

Literatürde, katıdan sıvıya faz değişimi gösteren organik faz değiştiren malzemelerin (FDM) bina bileşenlerinde kullanılabilir olduğu görülmektedir. Faz değiştiren malzemelerin kullanımı ile binaların pasif ısıtılması ve soğutulmasında enerji tasarrufu sağlanarak ulusal ekonomiye katkıda bulunulabilir [1,2]. Örneğin kış aylarında, yapı bileşenlerinin bünyesinde barındırdığı FDM'ler binadan kaçan ısıyı emerek iç mekan sıcaklık düşüşlerini azaltabilir ve depolanan ısıyı tekrar içeriye vererek ısıtma talebini en aza indirebilir. Tersine, yaz aylarında yapı bileşenlerinin bünyesinde barındırdığı FDM'ler dışarıdan gelen fazla ısıyı emerek dış mekan sıcaklık iletimini düşürebilir ve ısıyı dışarıya vererek soğutma talebini azaltabilir. Bu mekanizma, iç mekan sıcaklıklarının daha uzun süreler boyunca konfor şartlarında kalmasını sağlayarak hem sıcak hem de değişen iklim koşullarının etkisini etkili bir şekilde azaltır. Böylece sıcak ve soğuk iklimlerde iç ortam konfor sıcaklıklarının daha uzun süre korunması mümkün olabilir. FDM kompozitleri; gözenekli destekleyici malzemeler, küçük gözenekli karbonlar, metal süngerler ve mineraller gibi çeşitleri içermektedir. Ancak bu malzemelerin sentezi, çevresel etkileri ve ekonomik zorluklar, pratik uygulamalarda sınırlamaları da beraberinde getirir. Biyokömür; yüksek sıcaklıkta biyokütlenin termokimyasal ayrışması sonucu elde edilen, düşük ağırlıklı, yüksek gözenekliliğe ve homojen yapıya sahip, karbonca zengin bir üründür ve bu zorlukları aşmak için uygun bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Biyokömürün yapısı ve özellikleri, piroliz ve aktivasyon koşullarının değiştirilmesiyle özelleştirilebilir. Fabiani vd. ve Jeon vd. [3,4], vakumlu emdirme yöntemiyle biyokömürü ve hindistancevizi yağını birleştirerek termal enerji depolama için tasarlanmış biyokompozitlerin (LHSBC) özelliklerini araştırmışlardır. Atinafu vd. [5], çalışmalarında faz değiştiren malzemelerin enerji depolamadaki potansiyelini vurgulamalarının yanı sıra sıvı sızıntısı ve yetersiz ısı transferi gibi zorluklara dikkat çekerek FDM kapsüllemesi için karbon temelli malzemelerin kullanımına dikkat çekmişlerdir. Chen vd. [6], polietilen glikol (PEG) matrisi olarak basit bir piroliz yöntemiyle üretilen badem kabuğu biyokömürü (ASB) kullanılan yeni bir şekil-stabil kompozit faz değiştiren malzeme geliştirmişlerdir. Lv vd. [7], çalışmalarında farklı kimyasal reaktiflerin (ZnCl<sub>2</sub>, KOH vs.) biyokömür yüzeyleri üzerindeki etkilerini incelemişler ve bunları parafin, polietilen glikol gibi organik FDM'lerle birleştirerek aktifleştirilmiş biyokömür kompozitleri elde etmişlerdir. Bulguları, bu reaktiflerin biyokömürün termal özelliklerini, gözenekliliğini ve yüzey alanını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Atinafu ve diğerleri [8], çalışmalarında üç tür biyokömür (SS, MS ve OS) kullanarak bu biyokömürlerin organik FDM'leri kapsüllemesindeki rollerini ve enerji depolama performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Xiong ve ark. [9], sarımsak sapı biyokömürüne termal enerji depolama amacıyla kullanılan parafin mumu bazlı bir FDM emdirilerek elde edilen kompozitin termal iletkenlik değişimlerini incelemişlerdir.

700 °C'de üretilen biyokömür mikropartiküllerinin üç boyutlu ağları ve iki boyutlu pul benzeri yapıları nedeniyle parafin mumunda ek ısı transfer yollarının oluştuğunu belirtmişlerdir. Jeon ve ark. [10], çalışmalarında yapı malzemelerinin enerji performansını artırmak için biyokömür kompozitlerinin ve faz değişim malzemelerinin entegrasyonunu araştırmışlardır. Çalışmalarında pirinç kabuğundan elde ettikleri biyokömürü, azot gazı atmosferinde (100 mL/dak) 450 °C'de 2 saat boyunca 7 °C/dak ısıtma hızıyla bir kül fırınında pirolize etmişlerdir. (LHSBC) biyokompozitleri, dört farklı biyobazlı faz değiştiren malzemenin (SW, PW, PO ve CO) biyokömürlere vakum emdirme yöntemi uygulanmasıyla oluşturulmuştur. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DTK) analizi ile üretilen kompozitlerin gizli ısı değerleri 70.08 J/g (RCO), 25.24 J/g (RPO), 92.13 J/g (RPW) ve 83.91 J/g (RSW) olarak ölçülmüştür. Zhao ve arkadaşları [11], termal enerji depolaması için Cyperaceae familyasındaki su kestanelerinden elde edilen yüksek gözenekli karbonların (HPC) üretimini yaparak termal performanslarını araştırmışlardır. Aktivatör olarak alüminyum hipofosfit (AP) kullanarak HPC'leri sentezlemişler ve yapısal özelliklerini değerlendirmek için 700-800 ve 900 °C kalsinasyon sıcaklıklarında analiz edilmişlerdir.

Literatürden anlaşılacağı üzere organik malzemelerin piroliz yöntemiyle biyokömür haline getirilerek vakum emdirme işlemi ile FDM emdirilmesi sonucunda meydana gelen kompozitlerin daha fazla gizli ısı depolayabileceği belirtilmiştir. Bu çalışmada piroliz parametrelerden biri olan ısıtma sıcaklığı parametresi göz önünde bulundurularak farklı piroliz koşullarında hammadde olarak kavak talaşı kullanılmış ve biyokömür üretimi yapılmıştır. Üretilen kavak talaşı biyokömürlerinin gözeneklerine Rubitherm® Technologies RT-28HC FDM' si emdirilerek elde edilen kompozit malzemelerin gizli ısı depolama kapasiteleri ölçülmüş ve ısıtma sıcaklığı parametresinin enerji depolama kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

### Materyal metod

Biyokömür sentezi için ham madde olarak doğada bol miktarda bulunan kavak talaşı tercih edilmiştir. Kavak talaşı, biyokömür sentezinden önce öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Öğütülmüş kavak talaşı, kademeli elekler ile elenerek 600 µm boyutuna getirilmiştir (Resim 1).



Resim 1. Kavak talaşı 600 µm boyutuna kadar elenmiştir.  
Figure 1. Poplar sawdust sieved to a size of 600 µm.

### Biyokömür üretimi

Piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda farklı gaz atmosferlerinde (örneğin, azot veya argon gibi inert gazlar) yüksek sıcaklıklar altında işlenmesiyle yapılan kimyasal bir dönüşüm işlemidir. Piroliz sırasında, organik

malzemelerin termal olarak ayrışması sonucu, gazlar, sıvılar ve katı ürünler (biyokömür) ortaya çıkmaktadır. Bu süreç, genellikle 300°C ile 900°C arasında bir sıcaklıkta gerçekleştirilmektedir [12]. Biyokömür; karbon oranı yüksek, yoğunluğu düşük ve gözenekli bir malzemedir.



Resim 2. Piroliz işleminde kullanılan tüp fırın ve kavak talaşı biyokömürü  
Figure 2. Tube furnace used in pyrolysis process and poplar sawdust biochar

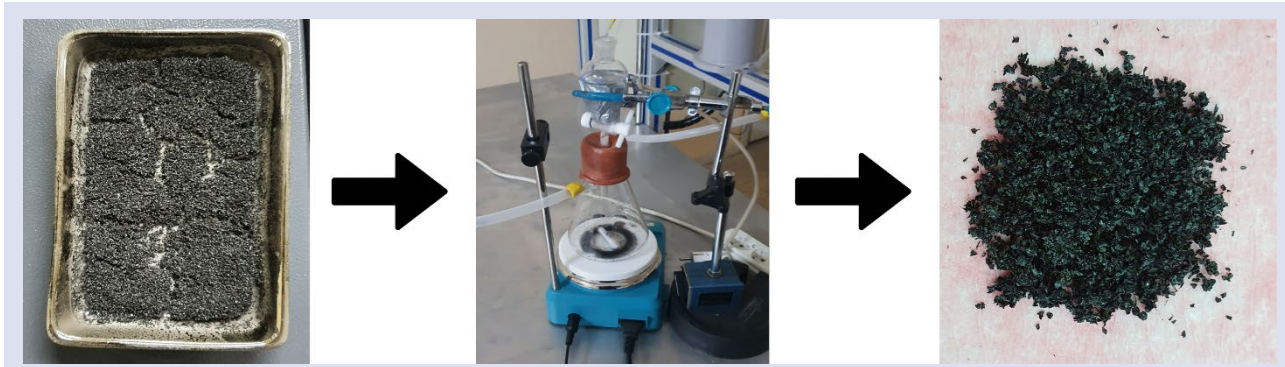
Vakum emdirme yöntemi ile biyokömürün gözeneklerine FDM emdirme işlemi öncesinde, kavak talaşı öğütülerek 600 µm boyutuna getirilmiştir. Daha sonrasında Resim 2'de gösterilen tüp fırın kullanılarak ve azot gazı atmosferinde piroliz işlemi gerçekleştirilerek 50 ml/dk gaz akışıyla kavak talaşı biyokömürü elde edilmiştir.

Kavak talaşının biyokömüre dönüştürülmesi, 10°C/dakika ısıtma hızı, 700 °C maksimum sıcaklık ve tepe sıcaklığında 60 dakikalık tutma süresi gibi belirli piroliz koşulları altında gerçekleştirilmiştir. RT-28/kavak talaşı biyokömürünün gizli ısı özelliklerini geliştirmek için, değiştirilebilir piroliz koşullarının malzemenin gözenekliliği üzerindeki etkisinin araştırılması gerekmektedir. Bu amaçla, kavak talaşı için maksimum piroliz sıcaklığı parametresi değiştirilerek biyokömürler sentezlenmiştir. Sentezlenen biyokömürler, RT-28/kavak talaşı biyokömür kompozitleri üretmek için vakum emdirme işlemi yoluyla RT-28 ile birleştirilmiştir. Bu kompozitler, Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DTK) kullanılarak karakterize edilmiştir. Piroliz işlemleri, 10°C/dakika sabit ısıtma hızı ve 60 dakikalık bekleme süresi korunarak, 700-600-500-400

ve 300 °C maksimum ısıtma sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir.

#### Vakum Emdirme

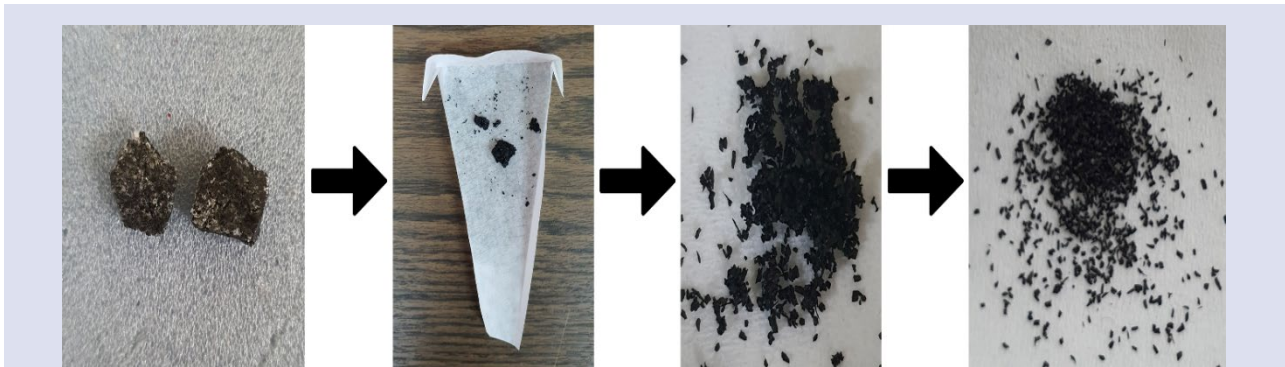
Kavak talaşının biyokömüre dönüştürüldüğü piroliz işleminin ardından, RT-28 faz değiştiren malzemesi vakum emdirme yöntemi kullanılarak biyokömürün gözeneklerine hapsedilmiştir (mikrokapsülleme). Resim 3'te gösterilen düzenek aracılığıyla vakum emdirme işlemi uygulanmıştır. Emdirme işlemi uygulanmadan önce, 600 µm boyutuna kadar öğütülen kavak talaşı, içindeki olası nemin giderilmesi amacıyla 105 °C sıcaklıktaki bir fırında 24 saat boyunca kurutulmuştur. Bu işlem, biyokömürün gözeneklerine faz değiştiren malzemenin daha etkin bir şekilde hapsedilmesine olanak sağlamıştır. Vakum pompası, 0.7 bar basınç altında çalıştırılmış ve erlen içerisine yerleştirilen manyetik karıştırıcı ile kavak biyokömürü/RT-28 kompoziti, 1000 devir/dakika hızında homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Bu işlem ile sıvı RT-28'in malzemenin mikro gözeneklerine hapsedilerek mikrokapsülleme sürecinin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.



Resim 3. Vakum emdirme işlemi  
Figure 3. Vacuum impregnation process

Erlenden çıkarılan RT-28/organik madde kompozitleri, sıvı FDM fazlalığından arındırılmak için öncelikle süzülmüştür. Daha sonra süzülen kompozitler bir filtre kağıdına koyulmuş ve kompozit yüzeyinde bulunan RT-28'i uzaklaştırmak için 30°C' sıcaklıktaki bir fırında 12 saat

bekletilmiştir. Bu işlem, filtre kağıdında sızıntı kalmayana kadar devam ettirilmiş ve böylelikle sızdırmazlık testi gerçekleştirilerek organik malzeme yüzeyinde RT-28 kalmadığı doğrulanmıştır (Resim 4).



Resim 4. RT-28/biyokömür kompozit malzemesindeki FDM'nin biyokömür yüzeyinden arındırılması  
Figure 4. Removal of FDM from biochar surface in RT-28/ biochar composite material

**Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DTK) Ölçümleri**

RT-28, RT-28/kavak talaşı ve elde edilen RT-28/kavak talaşı biyokömür kompozitlerinin erime sıcaklığı, katılaşma sıcaklığı ve gizli ısı özellikleri, Shimadzu (Japonya) tarafından üretilen DSC-60 diferansiyel taramalı

kalorimetre (DTK) cihazı ile ölçülmüştür (Resim 5). Bu ölçümünde ısıtma hızı, dakikada 0.5 °C olarak ayarlanmıştır. Ölçümler sonucunda örneklerin erime başlangıç sıcaklığı ( $T_{eb}$ ), erime sonlanma sıcaklığı ( $T_{es}$ ), erime pik ( $T_{ep}$ ) ve erime gizli ısı değeri (He) belirlenmiştir.

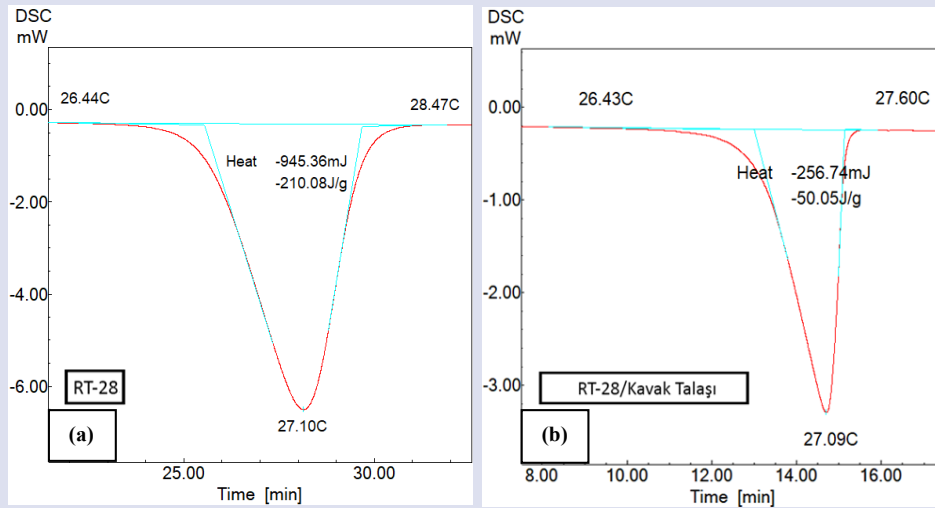


Resim 5. DTK ölçümü  
Figure 5. DTK measurement

**Termal karakterizasyon sonuçları**

Öncelikle RT-28 organik faz değiştiren malzemenin ve RT-28/kavak talaşı kompozit malzemesinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DTK) özellikleri belirlenmiştir

(Resim 6). Maksimum piroliz sıcaklığının 700 °C olarak belirlenmesi durumunda RT-28/Kavak talaşı biyokömür kompoziti için  $T_{eb}$ ,  $T_{ep}$  ve  $T_{es}$  sıcaklıkları sırasıyla 26.19 °C, 26.97 °C ve 27.50°C olarak ölçülmüştür (Resim 6). Aynı koşullar altında erime gizli ısısı ise 75.12 J/g olarak belirlenmiştir.



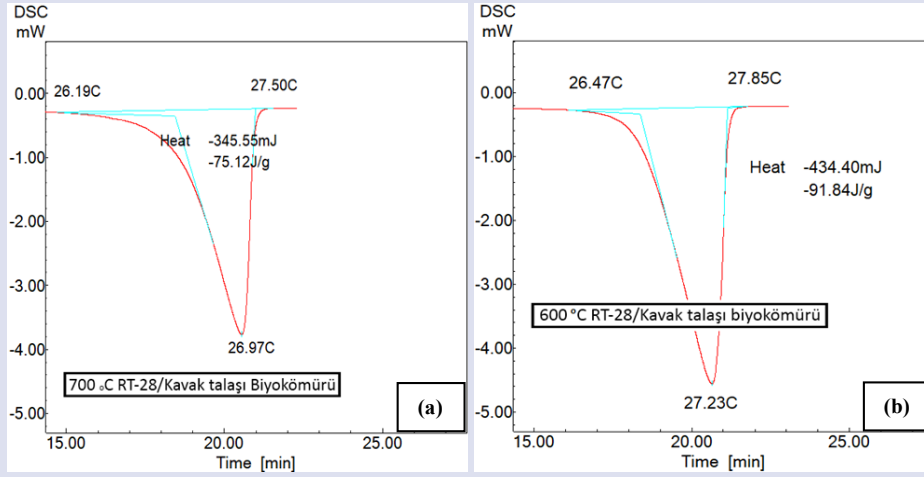
Resim 6. RT-28 (a) ve RT-28/kavak talaşı kompoziti (b) için endoterm eğrileri  
Figure 6. Endotherm curves for RT-28 (a) and RT-28/poplar sawdust composite (b)

Maksimum sıcaklığın 600 °C'ye düşürülmesi durumunda RT-28 emdirilen kavak talaşı biyokömür kompoziti için  $T_{eb}$ ,  $T_{ep}$ ,  $T_{es}$  ve  $H_e$  değerleri sırasıyla 26.47 °C, 27.23 °C, 27.85 °C ve 91.84 J/g olarak ölçülmüştür (Resim 7). Görüleceği üzere 600 °C piroliz sıcaklığı ile elde edilen

biyokömüre RT-28 emdirilerek elde edilen biyokompozitin, 700 °C piroliz sıcaklığında üretilen biyokömüre emdirilmiş RT-28 ile elde edilen kompozite kıyasla gizli ısı enerji depolama kabiliyetinin yaklaşık olarak %22.3 oranında arttığı belirlenmiştir.

Piroliz işleminin maksimum sıcaklığının 500 °C'ye ayarlanması halinde sentezlenmiş olan kavak biyokömürü

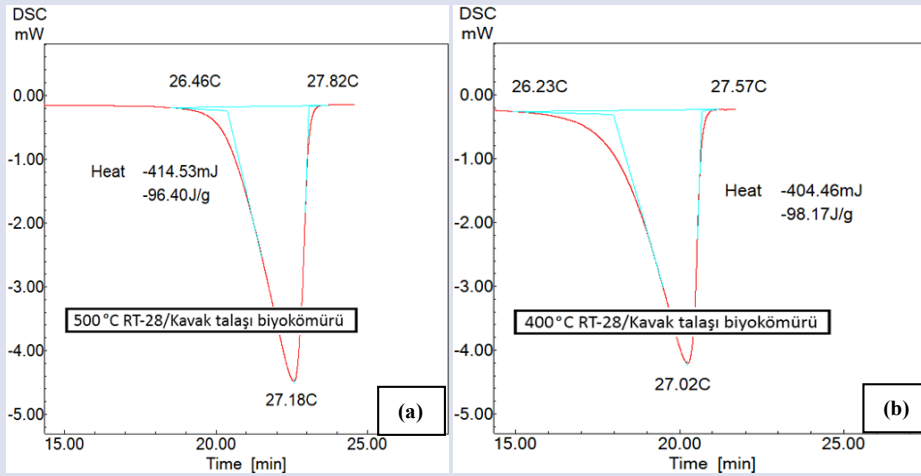




Resim 7. 700 °C (a) ve 600 °C (b) RT-28/kavak talaşı kompoziti için endoterm eğrileri  
Figure 7. 700 °C (a) and 600 °C (b) endotherm curves for RT-28/poplar sawdust composite

için  $T_{eb}$ ,  $T_{ep}$ ,  $T_{es}$  ve  $H_e$  değerleri sırasıyla 26.46 °C, 27.18 °C, 27.82 °C ve 96.40 J/g olarak ölçülmüştür. 500 °C sıcaklıkta üretilen biyokömüre RT-28 emdirilmesi ile elde edilen biyokömürün; 700 °C piroliz sıcaklığında üretilerek RT-28 emdirilmesiyle elde edilen kompozite göre % 28,3, 600 °C

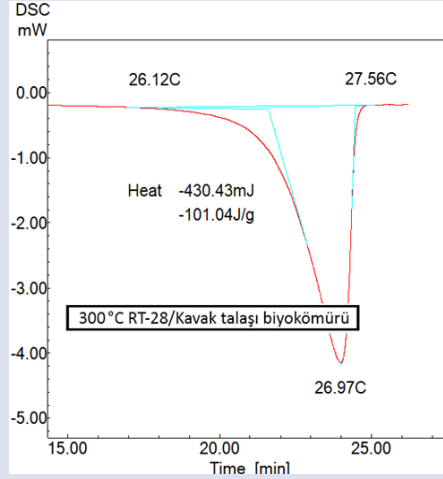
piroliz sıcaklığında üretilen kompozite göre de %4 oranında daha fazla gizli ısı depolama kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Benzer biçimde maksimum piroliz sıcaklığı 400 °C olan RT-28/Kavak talaşı biyokömür kompoziti için için  $T_{eb}$ ,  $T_{ep}$  ve  $T_{es}$  sıcaklıkları sırasıyla 26.23 °C, 27.02 °C ve 27.57 °C olarak ve erime gizli ısı ise 98.17 J/g olarak ölçülmüştür (Resim 8).



Resim 8. 500 °C (a) ve 400 °C (b) RT-28/kavak talaşı kompoziti için endoterm eğrileri  
Figure 8. 500 °C (a) and 400 °C (b) endotherm curves for RT-28/poplar sawdust composite

Son olarak 300 °C sıcaklıkta üretilen RT-28/kavak talaşı kompoziti için gerçekleştirilen DTK ölçümleri sonucunda  $T_{eb}$ ,  $T_{ep}$  ve  $T_{es}$  sıcaklıklarının sırasıyla 26.12 °C, 26.967 °C ve 27.56 °C olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte 300 °C RT-28/kavak talaşı kompoziti için elde edilen  $H_e$  değeri 101.04 J/g olarak ölçülmüştür (Resim 9). Literatürde, biyokömür

sentezinin genellikle 300 °C'nin üzerinde gerçekleştiği belirtilmektedir. Daha düşük sıcaklıklarda biyokömür sentezi gerçekleştirilemediği için bu değer, biyokömür üretiminde alt sınır olarak kabul edilmekte ve süreç genellikle bu sıcaklıkların üzerinde yürütülmektedir.



Resim 9. 300 °C RT-28/kavak talaşı kompoziti için endoterm eğrileri  
Figure 9. 300 °C Endotherm curves for RT-28/poplar sawdust composite

Elde edilen tüm ölçüm sonuçları Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1. RT-28 faz değıştiren malzemesinin, RT-28/kavak talaşı kompozitinin ve farklı sıcaklık koşullarında piroliz edilen kavak biyokömürlerine RT-28 emdirilmesiyle elde edilen kompozitlerin DTK sonuçları.

Table 1. DTK results of RT-28 phase change material, RT-28/poplar sawdust composite and composites obtained by impregnating RT-28 to poplar biochar pyrolysed at different temperature conditions.

Malzeme	$T_{eb}$ (°C)	$T_{ep}$ (°C)	$T_{es}$ (°C)	$H_e$ (J/g)
RT-28	26.44	27.10	28.47	210.08
RT-28/Kavak talaşı	26.43	27.09	27.60	50.05
700 °C RT-28/Kavak talaşı biyokömürü	26.19	26.97	27.50	75.12
600 °C RT-28/Kavak talaşı biyokömürü	26.47	27.23	27.85	91.84
500 °C RT-28/Kavak talaşı biyokömürü	26.46	27.18	27.82	96.40
400 °C RT-28/Kavak talaşı biyokömürü	26.23	27.02	27.57	98.17
300 °C RT-28/Kavak talaşı biyokömürü	26.12	26.97	27.56	101.04

## Sonuç

Maksimum piroliz sıcaklık değeri azaldıkça, biyokömürün yüzey alanı da azalmaktadır. Bu durum, biyokömür üzerindeki mikro gözenek oranının azalması ve buna karşılık mezo gözenek oranının artmasıyla bağlantılıdır [13]. Vakum emdirme işlemi esnasında, temas açısı ve yüzey gerilimi gibi faktörlere bağlı olarak faz değıştiren malzemenin mikro gözeneklere emdirilme işlemi daha da zor hale gelmektedir. Tam tersi olarak mezogözenekli yapılar korunduğunda ise vakum emdirme işleminin verimliliğinin arttığı söylenebilir. Sonuç olarak, piroliz maksimum sıcaklığının azalmasıyla birlikte biyokömür üzerindeki mezo gözeneklere daha fazla RT-28 emdirilmiş ve böylece üretilen kompozitlerin gizli ısı değeri %20-%35 arasında iyileşme sağlamıştır.

## Referanslar

- [1] Wang, S. M., Matiašovský, P., Mihálka, P. and Lai, C. M. (2018). Experimental investigation of the daily thermal performance of a mPCM honeycomb wallboard. *Energy and Buildings*, 159, 419-425, doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.080.
- [2] Yao, C., Kong, X., Li, Y., Du, Y. and Qi, C. (2018). Numerical and experimental research of cold storage for a novel expanded perlite-based shape-stabilized phase change material wallboard used in building. *Energy conversion and management*, 155, 20-31, doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.052.
- [3] Fabiani, C., Santini, C., Barbanera, M., Giannoni, T., Rubino, G., Cotana, F., and Pisello, A. L. (2023). Phase change materials-impregnated biomass for energy efficiency in buildings: Innovative material production and multiscale thermophysical characterization. *Journal of Energy Storage*, 58, 106223, doi.org/10.1016/j.est.2022.106223.
- [4] Jeon, J., Park, J. H., Wi, S., Yang, S., Ok, Y. S., and Kim, S. (2019). Characterization of biocomposite using coconut oil impregnated biochar as latent heat storage insulation.

- Chemosphere, 236, 124269, doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.239.
- [5] Atinafu, D. G., Yun, B. Y., Wi, S., Kang, Y. and Kim, S. (2021). A comparative analysis of biochar, activated carbon, expanded graphite, and multi-walled carbon nanotubes with respect to PCM loading and energy-storage capacities. *Environmental Research*, 195, 110853, doi.org/10.1016/j.envres.2021.110853.
- [6] Chen, Y., Cui, Z., Ding, H., Wan, Y., Tang, Z., and Gao, J. (2018). Cost-Effective Biochar Produced from Agricultural Residues and Its Application for Preparation of High Performance Form-Stable Phase Change Material via Simple Method. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(10), doi.org/10.3390/ijms19103055.
- [7] Lv, L., Huang, S. and Zhou, H. (2024). Effect of introducing chemically activated biochar as support material on thermal properties of different organic phase change materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 264, 112617, doi.org/10.1016/j.solmat.2023.112617.
- [8] Atinafu, D. G., Jin Chang, S., Kim, K.-H. and Kim, S. (2020). Tuning surface functionality of standard biochars and the resulting uplift capacity of loading/energy storage for organic phase change materials. *Chemical Engineering Journal*, 394, 125049, doi.org/10.1016/j.cej.2020.125049.
- [9] Xiong, T., Ok, Y. S., Dissanayake, P. D., Tsang, D. C. W., Kim, S., Kua, H. W. and Shah, K. W. (2022). Preparation and thermal conductivity enhancement of a paraffin wax-based composite phase change material doped with garlic stem biochar microparticles. *Science of The Total Environment*, 827, 154341, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154341.
- [10] Jeon, J., Park, J. H., Wi, S., Yang, S., Ok, Y. S., & Kim, S. (2019). Latent heat storage biocomposites of phase change material-biochar as feasible eco-friendly building materials. *Environmental Research*, 172, 637-648, doi.org/10.1016/j.envres.2019.01.058.
- [11] Zhao, P.-P., Deng, C., Zhao, Z.-Y., Lu, P., He, S. and Wang, Y.-Z. (2021). Hypophosphite tailored graphitized hierarchical porous biochar toward highly efficient solar thermal energy harvesting and stable Storage/Release. *Chemical Engineering Journal*, 420, 129942, doi.org/10.1016/j.cej.2021.129942.
- [12] Zhang, N., Pan, X., Zhang, Z., Yuan, Y., Sultan, M. and Attia, S. (2024). Carbonated balsa-based shape-stable phase change materials with photothermal conversion and application in greenhouse. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 266, 112699, doi.org/10.1016/j.solmat.2024.112699.
- [13] Muzyka, R., Misztal, E., Hrabak, J., Banks, S. W. and Sajdak, M. (2023). Various biomass pyrolysis conditions influence the porosity and pore size distribution of biochar. *Energy*, 263, 126128, doi.org/10.1016/j.energy.2022.126128.

## Teşekkür

Bu makale, Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Ulusal Tez Merkezine kayıtlı 885229 numaralı "Gözenekli Fonksiyonel Kompozit Malzemelerin Yapı Bileşenlerindeki Termal Enerji Depolama Uygulamalarının İncelenmesi" başlıklı doktora tezinden türetilmiştir.