

YAYINCI  
PUBLISHER



# MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ve TASARIM DERGİSİ

JOURNAL OF ENGINEERING  
SCIENCES AND DESIGN

e-ISSN: 1308-6693

Haziran/June 2023

Sayı/Issue : 2

Cilt/Volume: 11



**İmtiyaz Sahibi / Owner**

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

**Editörler / Editors**

**Gultekin OZDEMİR**

Suleyman Demirel University, Isparta  
(Baş Editör / Editor-in-Chief)

**Sehnaz Sule KAPLAN BEKAROĞLU**

Suleyman Demirel University, Isparta  
(Editör Yrd. / Co-Editor)

**Fatih Ahmet SENEL**

Suleyman Demirel University, Isparta  
(Editör Yrd. / Co-Editor)

**Karani KURTULUS**

Suleyman Demirel University, Isparta  
(Editör Yrd. / Co-Editor)

**Ali AGCAL**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Caglayan BALKAYA**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Atilla BAYRAM**

Van Yuzuncu Yil University, Van

**Sehnaz Sule KAPLAN BEKAROĞLU**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Mehmet Ali BELEN**

Artvin Coruh University, Artvin

**Ahmet CAGLAR**

Akdeniz University, Antalya

**Habib GURBUZ**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Baris GUREL**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Tahir Serkan IRMAK**

Kocaeli University, Kocaeli

**Mesud KAHRIMAN**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Ayberk KAYA**

Recep Tayyip Erdoğan University, Rize

**Şemsettin KILINCARSLAN**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Alper KUSCU**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Mehmet Onur OLGUN**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Mehmet OZCELİK**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Muhammed Maruf OZTURK**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Savas OZUN**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Yunus PAMUKOĞLU**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Olcay POLAT**

Pamukkale University, Denizli

**Hakan TONGAL**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Volkan UZ**

Izmir Institute of Technology, Izmir

**Ali YALCIN**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Mehmet Ali YALCINKAYA**

Kırşehir Ahi Evran University, Kırşehir

**Kerim YAPICI**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Demet YILMAZ**

Suleyman Demirel University, Isparta

**Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board**

**Michael G. KAY**  
North Carolina State University, USA

**Bedri TUC**  
Baskent University, Ankara, TR

**Yun-Chia LIANG**  
Yuan Ze University, Taoyuan, TW

**Erol TUTUMLUER**  
University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, USA

**Alice E. SMITH**  
Auburn University, Auburn, USA

**Fatma YALCINKAYA**  
Technical University of Liberec, Liberec, Czech Republic

**Ravi SANKAR**  
University of South Florida, Florida, USA

**Gerhard-Wilhelm WEBER**  
Poznan University of Technology, Poznan, PL

**Yayın Editörleri / Technical Editors**

**Ayşe BIYIKLI**  
Suleyman Demirel University, Isparta

**Yasemin SIMSEK TURKER**  
Suleyman Demirel University, Isparta

**Mehmet KIR**  
Suleyman Demirel University, Isparta

**Onur Mustafa UZUM**  
Suleyman Demirel University, Isparta

**Sıla YAMAN**  
Suleyman Demirel University, Isparta

**Yabancı Dil Editörü / Foreign Language Editor**

**Ahmet UNAL**  
Suleyman Demirel University, Isparta

**Dizin ve İndeksler / Abstracting & Indexing**

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

**Duyurular / Announcements**

Dergiye 01 Haziran 2022 tarihinden itibaren özgün "Araştırma Makalesi" türü dışındaki başvurular kabul edilmemektedir.

*As of 01 June 2022, submissions other than the original "Research Paper" type will not be submitted.*

## İçindekiler / *Contents*

<i>Araştırma / Research</i>	<i>Sayfa / Pages</i>
<a href="#">1. YENİ BİR İKİLİ SÜRÜŞ EĞİTİM TABANLI ALGORITMA ÜZERİNDE TRANSFER FONKSİYONLARININ İNCELENMESİ</a> İsmail KOÇ	433-448
<a href="#">2. STATISTICAL ANALYSIS OF NOISE EXPOSURE OF WORKERS IN THE UNDERGROUND MINING IN THE SOMA BASIN OF TURKEY</a> Ayla TEKİN Mustafa Oğuz NALBANT Mustafa ORHAN Fırat TEKİN Fatih SUVAYDAN Kemal BERKİ Sami GÜMÜŞ Aslı Aydın SAVRAN	449-458
<a href="#">3. ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES OF FLAX/CARBON FIBER REINFORCED HYBRID COMPOSITES PRODUCED USING TWO DIFFERENT PRODUCTION METHODS</a> Berkay KARACOR Mustafa ÖZCANLI	459-473
<a href="#">4. AUTOMATIC BELT CARDIOPULMONARY RECISUTATION (CPR) DEVICE AND TEST SYSTEM DESIGN</a> Ahmet Reşit KAVSAOĞLU Mehmet Ali TAMOKUR	474-485
<a href="#">5. MODELING OF IOT-BASED ADDITIVE MANUFACTURING MACHINE'S DIGITAL TWIN FOR ERROR DETECTION</a> Burhan DUMAN Ahmet Ali SÜZEN	486-497
<a href="#">6. ERGONOMİK RİSK ANALİZİ YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ: GIDA SEKTÖRÜNE YÖNELİK BİR UYGULAMA</a> Esra KILIÇ Bayram ÇETİN	498-518

- [8. BETONARME YÜKSEK BİNALARIN TBDY 2018'E GÖRE PERFORMANSA DAYALI  
TASARIMI – ÖRNEK UYGULAMA](#)  
[Ulaş GÖKÇEOĞLU](#) [Zeynep DEĞER](#) **535-550**
- [9. FOTOVOLTAİK SİSTEM ÇIKIŞ GÜCÜNÜN YAPAY SİNİR AĞLARI VE MATLAB/SİMULINK  
MODELLERİNİN ENTEGRASYONU İLE BELİRLENMESİ](#)  
[Erşan Ömer YÜZER](#) [Altuğ BOZKURT](#) [İbrahim Çağrı BARUTÇU](#) **551-563**
- [10. İÇİ BETON DOLU DAİRESEL KESİTLİ ÇELİK BORULARIN EKSENEL YÜK KAPASİTELERİNİN  
YAPAY SİNİR AĞLARI VE RASSAL ORMAN YÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ](#)  
[Cumhur COSGUN](#) **564-574**
- [11. SALDA GÖLÜ HAVZASI YERALTISULARINA İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ETKİSİ](#)  
[Fatma AKSEVER](#) [Ayşen DAVRAZ](#) **575-591**
- [12. PAMUK İPLİK BOYAMA SÜRECİNDE FDM MİKROKAPSÜL APLİKASYONU VE ISI  
DÜZENLEYEN İPLİK ÜRETİMİ](#)  
[Saadet MIHÇI](#) [Sennur ALAY AKSOY](#) **592-606**
- [13. YERLEŞİM YERİ PLANLAMA ÇALIŞMALARINDA COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNİN  
KULLANIMI: MENEMEN \(İZMİR\) ÖRNEĞİ](#)  
[Anıl ALKAN](#) **607-630**
- [14. STABILIZATION OF NOTCHED ELEMENTS' FRACTURE BY USING A CONTROL  
ALGORITHM](#)  
[Erol LALE](#) [Bahar AYHAN](#) **631-642**
- [15. JEOFİZİK VE MİMARİ PARAMETRELERİN AKILLI KENTLER VE PLANLAMADAKİ ÖNEMİ](#)  
[Nurten Ayten UYANIK](#) [Nihan Sena HİDİŞOĞLU](#) **643-658**
- [16. EKLEMELİ İMALAT VE GELENEKSEL YÖNTEMLE İMAL EDİLMİŞ TİTANYUM ALAŞIMLI  
MALZEMENİN ABRAZİF AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ](#)  
[Elif Nur SELÇUK](#) [Ertuğrul DURAK](#) **659-668**

- [17. DAVRAZ DAĞI \(ISPARTA\) VE ÇEVRESİNDE KARBONAT AKİFERDE BULUNAN YER ALTI SUYUNUN HİDROJEOKİMYASAL GELİŞİMİ](#)  
[Selma DEMER](#) 669-692
- [18. MISIR PÜSKÜLÜ TOZU İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ GLUTENSİZ ERİŞTE ÜRETİMİ](#)  
[Eylem ODABAŞ Hülya ÇAKMAK](#) 693-707
- [19. SCHMIDT ÇEKİCİ GERİ TEPME SAYILARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN NİCEL DEĞERLENDİRMESİ](#)  
[Kadir KARAMAN](#) 708-718
- [20. SUGGESTING CONVERSION FACTOR COEFFICIENTS for ESTIMATING DIFFERENT TYPES of SCHMIDT HAMMER REBOUND HARDNESS VALUES](#)  
[Deniz AKBAY Gökhan EKİNCİOĞLU](#) 719-728
- [21. NUMERICAL SIMULATION of STRESS CONCENTRATIONS on PILLARS in a TYPICAL LONGWALL MINE](#)  
[Ahmet Güneş YARDIMCI](#) 729-742
- [22. A RESIN TYPE ADDITIVE USE TO IMPROVE LOAD BEARING CAPACITIES OF GROUTED ROCK BOLTS EXPOSED TO THERMAL CYCLES](#)  
[Eren KÖMÜRLÜ](#) 743-754
- [23. SİLİKON YAĞI AKIŞKANININ FARKLI ORTAM SICAKLIKLARINDA YÜZEY GERİLİMLİ KONVEKSİYON AKIŞ HAREKETLERİNİN İNCELENMESİ](#)  
[Ela KATI SUNAY Ramazan SELVER](#) 755-767
- [24. EVALUATION OF NOISE ON RING SPINNING MACHINES](#)  
[Murat KODALOĞLU Feyza AKARSLAN KODALOĞLU](#) 768-775
- [25. GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF BOLKARDAĞI BAUXITE DEPOSITS IN AYRANCI, THE TAURUS MOUNTAIN, TURKEY](#)  
[Mustafa Gurhan YALCIN](#) 776-793

[26. ELVERİŞSİZ YÜKLEME DURUMLARINDA TEKİL TEMELLERDE MEYDANA GELEN FARKLI OTURMALARIN ÜST YAPIYA ETKİLERİ](#)

[Burak KAYMAK](#) [Mehtap ÖĞE](#) [Uğur DAĞDEVİREN](#)

794-806

[27. SOĞUK HAVA DEPOLARININ TALEP BAZLI YER SEÇİMİ YAKLAŞIMINDA KÜTLE DENGELİ ERİŞEBİLİRLİK MODELİ: İZMİR ÖRNEĞİ](#)

[Kemal Yasin GÖKA](#) [Görkem GÜLHAN](#) [Olca POLAT](#)

807-823

[28. HAVA ARAÇLARI İÇİN DEĞİŞKEN AKILI RELÜKTANS JENERATÖR TASARIMI](#)

[Hilmi GÜRLEYEN](#)

824-836

[29. POLYESTER KUMAŞLARIN POLİANİLİN ESASLI ÇOK TABAKALI KAPLAMA İŞLEMİ İLE İLETKENLİK VE UV-KORUMA ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ](#)

[Şule Sultan UĞUR](#)

837-843

[30. ELMA İŞLEME ATIKLARI KOMPOSTUNDAN SOLUCAN KOMPOSTU ÜRETİMİ](#)

[Kemal SÜLÜK](#) [İsmail TOSUN](#) [Kamil EKİNCİ](#)

844-856

**Düzeltilme / Corrigendum**

**Sayfa / Pages**

[31. YENİLENEBİLİR ENERJİ OLARAK BİYOGAZ: AKSARAY İLİ ÖRNEĞİ](#)

[Hatice ET YAPILCAN](#) [Hülya BAKIRTAŞ](#)

857



## YENİ BİR İKİLİ SÜRÜŞ EĞİTİM TABANLI ALGORİTMA ÜZERİNDE TRANSFER FONKSİYONLARININ İNCELENMESİ

İsmail KOÇ<sup>1</sup>

Yazılım Mühendisliği Bölümü, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

UFLP,  
İkili Optimizasyon,  
DTBO,  
Transfer Fonksiyonu.

### Öz

Kapasitesiz Tesis Yerleşim Problemi (UFLP), tesislerin optimal yerleşimini belirleyen NP-zor bir problemdir. UFLP, NP-Zor problem grubundan olduğu için, bu problemlerin büyük örneklerini çözmek için kesin yöntemlerin kullanılması, optimal çözümü elde etmek için gereken yüksek hesaplama süreleri nedeniyle ciddi şekilde sorun teşkil edebilir. Bu çalışmada, problemin karmaşıklığından dolayı sürü zekası algoritması tercih edilmiştir. Son yıllarda sürüş eğitimi ilkelerine dayalı olarak geliştirilen popülasyon tabanlı bir algoritma olan Sürüş eğitim tabanlı (DTBO) algoritması UFLP probleminin çözümünde kullanılmıştır. DTBO'nun temel versiyonu sürekli problemlerin çözümünü ele aldığından söz konusu algoritmanın ikili problemlerin çözümüne uyarlanması gerekmektedir. Bunun için literatürde kullanılan dokuz farklı transfer fonksiyonu yardımıyla DTBO algoritması ikili problemlerin çözümüne uygun olarak tasarlanmıştır. Deneysel çalışmalar transfer fonksiyonlarının adil kıyaslanabilmesi için eşit koşullarda altında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda dokuz transfer fonksiyonu içerisinde ikili Mode-DTBO algoritmasının en başarılı algoritma olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre Mode tabanlı DTBO algoritmasının küçük, orta ve büyük ölçekli tüm problem setlerinde hem çözüm kalitesi açısından hem de zaman açısından çok başarılı olduğu görülmektedir. Ayrıca DTBO algoritması IWO (Yabani Ot Algoritması – Invasive Weed Optimization) algoritmasına ait 3 farklı transfer fonksiyonuyla (Mode, Sigmoid ve Tanh) da kıyaslanmıştır. Karşılaştırmalı sonuçlar incelendiğinde 12 problemin 8'inde (orta ve büyük ölçekli problem) Mode-DTBO yaklaşımının IWO'ya ait 3 farklı yaklaşımın hepsinden çok daha başarılı olduğu görülmüştür. Bununla beraber, küçük boyutlu 4 problem üzerinde ise Mode fonksiyonunu kullanan her iki algoritmanın da optimal değeri yakaladığı görülmüştür. Sonuç olarak, Mode-DTBO yönteminin ikili problemlerin çözümünde çok etkili bir alternatif sunacağı söylenebilir.

## INVESTIGATION OF TRANSFER FUNCTIONS ON A NOVEL BINARY DRIVING TRAINING-BASED ALGORITHM

### Keywords

UFLP,  
Binary Optimization,  
DTBO,  
Transfer Function.

### Abstract

Uncapacitated Facility Location Problem (UFLP) is an NP-hard problem that determines the optimal location of facilities. Since UFLP is from the NP-Hard problem group, using exact methods to solve large instances of these problems can be seriously problematic due to the high computation time required to obtain the optimal solution. In this study, the swarm intelligence algorithm was preferred due to the complexity of the problem. Driving training-based (DTBO) algorithm, which is a population-based algorithm developed based on driving training principles in recent years, has been used to solve the UFLP problem. Since the basic version of DTBO deals with the solution of continuous problems, the corresponding algorithm needs to be adapted to the solution of binary problems. For this, the DTBO algorithm was designed in accordance

<sup>1</sup> İlgili yazar / Corresponding author: ismailkoc@ktun.edu.tr, +90-332-205-1983



with the solution of binary problems with the help of nine different transfer functions used in the literature. Experimental studies were carried out under equal conditions for fair comparison of transfer functions. In the experimental studies carried out, it is seen that the binary Mode-DTBO algorithm is the most successful algorithm among the nine transfer functions. According to these results, it is seen that the binary Mode-based DTBO algorithm is very successful in all small, medium and large scaled problem sets, both in terms of solution quality and time. In addition, the DTBO algorithm was compared with 3 different transfer functions (Mode, Sigmoid and Tanh) of the IWO (Invasive Weed Optimization) algorithm. When the comparative results were examined, it was seen that the Mode-DTBO approach was much more successful than all 3 different approaches of IWO in 8 of the 12 problems (medium and large-scale problems). On the other hand, it has been observed that both algorithms using the Mode function on 4 small-sized problems achieved the optimal value. As a result, it can be said that the binary Mode-DTBO method will be able to offer a very effective alternative in solving binary problems.

#### **Alıntı / Cite**

Koç, İ., (2023). Yeni Bir İkili Sürüş Eğitim Tabanlı Algoritma Üzerinde Transfer Fonksiyonlarının İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 433-448.

<b>Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)</b>	<b>Makale Süreci / Article Process</b>	
İsmail KOÇ - 0000-0003-1311-5918	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	17.09.2022
	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	05.12.2022
	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	17.12.2022
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

## INVESTIGATION OF TRANSFER FUNCTIONS ON A NOVEL BINARY DRIVING TRAINING-BASED ALGORITHM

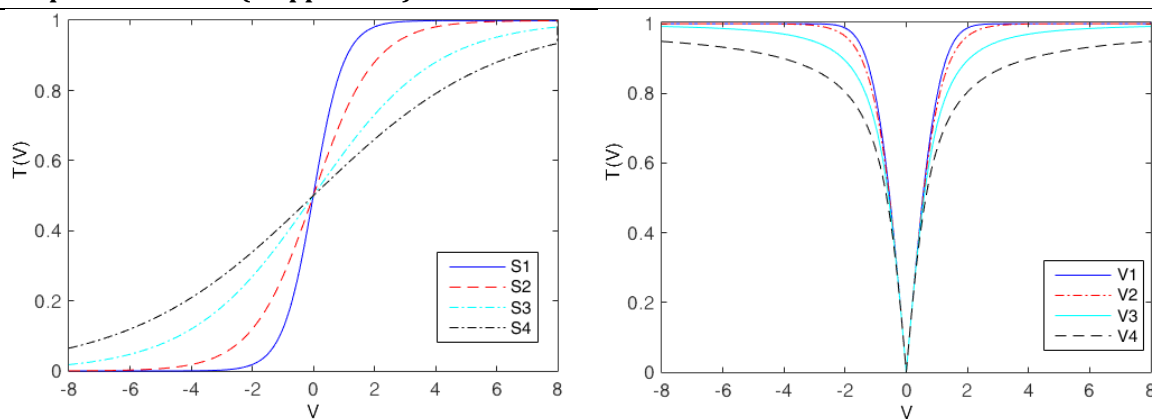
Ismail KOÇ\*

Software Engineering Department, Konya Technical University, Konya, Türkiye

### Highlights (At least 3 and maxium 4 sentences)

- In this study, DTBO is used for binary optimization.
- Nine transfer functions are used to solve UFLP.
- Novel binary algorithms are proposed thanks to the transfer functions.
- Mode-based DTBO is the most successful algorithm on the UFLP problem set.

### Graphical Abstract (If applicable)



Şekil/Figure. Transfer Fonksiyonları (Transfer Functions)

### Purpose and Scope

The purpose of the paper is to produce a solution to the UFLP problem with the DTBO algorithm and to investigate the effect of the algorithm on different transfer functions.

### Design/methodology/approach

In this article, for the solution of the UFLP problem, which is one of the binary problems, the DTBO algorithm used in the solution of continuous problems is adapted to the solution of the related problem thanks to the transfer functions.

### Findings

The DTBO algorithm has been adapted to the UFLP problem by using nine different transfer functions, and as seen in Table 9, the Mode-based DTBO algorithm is seen to be the most successful algorithm.

### Research limitations/implications (if applicable)

The algorithm can be applied to different binary problems for future studies.

### Practical implications (if applicable)

The algorithm adapted to the solution of binary problems can also be used for the aforementioned problems when the input space of real world problems is taken into account.

### Social Implications (if applicable)

Although this research does not directly have a social impact, there is a potential for social impact by applying it to real-life binary problems.

### Originality

The DTBO algorithm has been applied to a binary problem for the first time. In addition, performance analysis was made between them using 9 different transfer functions.

\* Corresponding author: ismailkoc@ktun.edu.tr, +90-332-205-1983

## 1. Giriş (Introduction)

İkili Optimizasyon Problemi (İOP), kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin önemli bir sınıfını temsil eden ikili tabanlı bir problem uzayı olarak tanımlanmaktadır (Rizk-Allah vd., 2019). Sürekli optimizasyon probleminde, değişkenler arama uzayında sürekli (continuous) değerler alırken, ikili optimizasyonda arama alanındaki değişkenler  $[0,1]$  değerlerini almaktadır. "0" değeri söz konusu işleme dair bir durumun olmadığını, "1" değeri ise varlığı temsil etmektedir. Arama uzayında bu iki değer kullanılarak ikili uzayda birçok problem çözülebilmektedir. Bazı algoritmalar sürekli arama uzayları üzerinde işlem yaparak problem çözüme yeteneğine sahipken, bazı problemler ise ayrık arama uzayları üzerinde  $[0, 1]$  değerlerini güncelleyerek problem çözüme kabiliyetine sahiptir (Kennedy vd., 2013; Rashedi vd., 2010). Literatürde İOP'un birçok uygulaması yer almakta olup, çözümleri için ikili algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır. İOP, acil durum araçları, sağlık merkezleri ve ticari banka şubeleri gibi tesis lokasyonunu problemlerini içermektedir (Baş ve Ülker, 2020; Koc, 2016). Buna ilaveten İOP bütçeleme, telekomünikasyon, toplu taşıma hizmetleri ve rüzgar türbini yerleştirme gibi zamanlama görevlerini de içermektedir (Koc, 2022; Korkmaz vd., 2018; Prescilla ve Selvakumar, 2013). Ayrıca İOP, sırt çantası problemi, kaynak tahsisi problemi, boyutsallık azaltma, özellik seçimi, ağ optimizasyonu, çok düzeyli görüntü eşik seçimi, eğri uydurma, birim bağılılığı ve hücre oluşumu gibi iyi bilinen NP-zor problemlerin çözümünde kullanılmaktadır (Arafat ve Moh, 2019; Coniglio vd., 2021; Inik vd., 2020; Koc vd., 2018; Zebari vd., 2020; Zhu vd., 2021)

Kapasitesi olmayan tesis yerleşim problemi (Uncapacitated facility location problem - UFLP) literatürde hem klasik yöntemlerle hem de optimizasyon algoritmalarıyla ele alınmıştır (Chudak ve Shmoys, 2003; Ghosh, 2003). Baş ve Ülker (2020) çalışmalarında UFLP problemine sosyal örümcek ağı ile çözüm bulmaya çalışmışlardır. Önerilen algoritmanın sonuçlarını PSO, DE gibi başarılı algoritmaların sonuçlarıyla kıyaslamışlardır. Sonuç (2021) karga arama algoritmasını UFLP problemine uyarlamıştır. Bunun için ikili uzayda çözüm üretmek için orijinal algoritmaya lojik operatörleri eklemiştir. Haklı ve Ortacay (2019) çalışmalarında dağınık arama yöntemini UFLP problemine uyarlamışlardır. Dağınık arama yöntemi evrimsel bir algoritma olduğundan arama uzayını doğrudan ikili uzayda temsil ederek oluşturmuşlar ve 12 farklı algoritma ile deneysel karşılaştırmalarını gerçekleştirmişlerdir. Kaya (2022) çalışmasında yapay alg algoritması ile güçlendirilmiş galaktik sürü optimizasyonunu ilgili probleme uyarlamıştır. Önerilen algoritmayı UFLP maliyet değerlerine göre ABC (Yapay Arı Koloni - Artificial Bee Colony), AAA (Yapay Alg Algoritması - Artificial Algae Algorithm), PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu - Particle Swarm Optimization) gibi farklı algoritmalarla kıyaslamıştır. Aslan vd. (2019) çalışmalarında Jaya algoritmasını XOR lojik operatörüyle entegre ederek yeni bir ikili algoritma literatüre kazandırmışlar ve önerilen bu algoritmayı farklı problem boyutlarındaki UFLP ile test etmişlerdir. Xiang vd. (2021) yaptıkları çalışmada çaprazlama operatörü yardımıyla ABC algoritmasını UFLP probleminin çözümünde kullanmışlardır. Çalışmayı ABC, TSA (Ağaç Tohum Algoritması - Tree Seed Algorithm), AAA gibi başarılı algoritmalarla kıyaslamışlardır. He vd. (2022) çalışmalarında taper-shaped isimli bir transfer fonksiyonu yardımıyla yeni bir ikili diferansiyel evrim (DE) algoritması önermişler ve bu önerilen algoritmayı UFLP probleminin çözümünde kullanmışlardır. Karakoyun ve Ozkis (2022) çalışmalarında seçime dayalı yerel arama kullanarak geliştirdikleri yeni bir ikili ağaç tohumu algoritmasını büyük boyutlu optimizasyon problemlerine uyarlamışlardır. Elde ettikleri çözümleri TSA algoritmasının farklı ikili versiyonları ile kıyaslamışlardır. Zhang vd. (2023) UFLP probleminin çözümü için hızlı ve verimli bir ayrık evrimsel algoritma geliştirmişlerdir. Karakoyun ve Özkış transfer fonksiyonları kullanarak ikili güve-alev optimizasyonu algoritması geliştirmişlerdir. Farklı transfer fonksiyonları üzerinde çalışmayı kıyaslamalı olarak sunmuşlardır. Sudabas ve Kara (2021) tesis yeri seçimi probleminde minimum karbon emisyonu yaklaşımı ile bir üniversitenin geri dönüşüm yönetimi için uygulama geliştirmişlerdir. Abdullahi vd. (2020) ile UFLP için kültürden esinlenen Pastoralist Optimizasyon Algoritması (POA)'nı önermişlerdir. Matos (2021) UFLP probleminde dağınık arama yöntemini kullanmış ve önerilen yöntemi güncel algoritmalarla kıyaslamıştır. Shehu ve Olalere (2019) PSO ve Aslan Kral Algoritmalarını kullanarak UFLP üzerinde algoritmaların performans kıyaslamasını gerçekleştirmişlerdir. Akan vd. (2022) ikili optimizasyon sorunlarını çözmek için Battle Royale Optimizer yöntemini geliştirmişlerdir. Alidaee ve Wang (2022) UFLP için hibrit bir Genetik-Tabu Arama Yaklaşımını önermişlerdir.

Kombinatoriyal optimizasyon problemlerini çözmek için çeşitli sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalar, popülasyon tabanlı, yörünge tabanlı, iteratif tabanlı, stokastik, ve deterministik olmak üzere farklı gruplara ayrılmaktadır. Bir grup çözümle çalışan ve bunları iyileştirmeye çalışan algoritmaya popülasyon tabanlı denmektedir (Kashan vd., 2012). Literatürde çok farklı popülasyon tabanlı algoritma önerilmiştir. Bunlardan birisi de 2022 yılında önerilmiş olan sürüş eğitim tabanlı (Driving Training-Based Optimization - DTBO) algoritmasıdır (Dehghani vd., 2022). Bu algoritmanın temel versiyonu sürekli problemlerin çözümüne yöneliktir. Kapasitesi olmayan tesis yerleşim problemi (UFLP) ise İOP grubuna

aittir. Bundan dolayı önerilen algoritmanın UFLP problemini çözebilmesi için aday çözüme ait tüm değerlerin ikili uzayda tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışmada algoritma tarafından üretilen her bir bireydeki değerlerin ikili uzayda temsil edilebilmesi için transfer fonksiyonları kullanılmıştır: 4 adet s-shaped, 4 adet v-shaped ve 1 adet mode transfer fonksiyonu olmak üzere toplamda 9 farklı transfer fonksiyonu ile UFLP problemine çözüm aranmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

## 2. Kapasitesi Olmayan Tesis Yerleşim Problemi (Uncapacitated Facility Location Problem - UFLP)

Konumlandırma fabrikaları, depolar ve enerji nakil hatları önemli pratik yerleşim karar problemleridir (Yiğit ve Türkbey, 2003). Tesis yerleşim problemi, literatürde UFLP olarak adlandırılmaktadır. Temel olarak, UFLP, kapasitede herhangi bir sınırlama olmaksızın, bir müşteri lokasyonu  $m$  ve en az birinin açık olması gereken bir dizi potansiyel tesisten ( $n$ ) oluşur. UFLP'nin temel amacı,  $m$  müşteriye hizmet veren  $n$  tesis içerisinde  $f$  alt kümeyi bulmaktır. Problemin uygunluk fonksiyonu kurulum maliyetlerini de dikkate alarak taşıma maliyetini minimize etmektir ve Eşitlik 1'de belirtilmiştir.

$$f(UFLP) = \min \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{i,j} x_{i,j} + \sum_{j=1}^n f c_j y_j \right) \quad (1)$$

$$\sum_j^n x_{i,j} = 1 \quad \forall i \text{ in } m \quad (2)$$

$$0 \leq x_{i,j} \leq 1 \quad (3)$$

Eşitlik (1)'de  $x_{i,j}$ ,  $i$  tesisinden  $j$  müşterisine maliyet sunan müşteridir, burada  $i=1\dots m$  ve  $j=1\dots n$ .  $y_j$  terimi,  $j$  tesisinin açık olup olmadığını belirtir:  $y_j=1$ , aksi halde  $y_j=0$  olarak kabul edilmektedir.  $f c_j y_j$  ise kurulum maliyet toplamını ifade etmektedir. Eşitlik (2)'deki kısıtlama tüm müşterilerin taleplerinin açık bir tesis tarafından karşılanmasını sağlar ve Eşitlik (3) toplam etkiyi özetler. UFLP, konumlandırma teorisindeki önemli NP-zor problemlerden biridir. Literatürde UFLP'nin çözümü için dal-ve-sınır (Holmberg, 1999), doğrusal programlama (Lemke, 1954) ve lagrangian gevşeme (Barcelo vd., 1990) gibi yaklaşımlar önerilmektedir. Bu yöntemler optimal sonuçlar sunmasına karşın bu yöntemlerin hesaplama maliyeti çok fazla olabilmektedir. Bu nedenle, UFLP'nin çözümünde optimal çözümü bulmayı garanti etmeyen, ancak makul bir süre ve hesaplama maliyeti içinde optimal veya optimal olmayan çözümleri sunan sürü zekası yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır (Tunç vd., 2022). Sürü zekası kavramı ise kısaca, bir popülasyon ya da sürü içerisinde yer alan aday çözümlerin sürünün genel davranışlarını dikkate alarak mevcut aday çözümlerden daha anlamlı çözümler üretilmesini sağlayan bir optimizasyon tekniğidir.

## 3. Sürüş Eğitim Tabanlı Algoritma (Driving Training-based Algorithm - DTBO)

Sürüş eğitimi, yeni başlayanların eğitildiği ve sürüş becerileri kazandığı akıllı bir süreçtir. Aday sürücü olarak yeni başlayan biri, sürücü kursuna giderken birkaç eğitmen arasından seçim yapabilmektedir. Eğitmen daha sonra aday sürücüye talimatları ve becerileri öğretmekte, ardından da eğitmenden sürüş becerilerini öğrenmeye ve eğitmeni takip etmeye çalışmaktadır. Bu etkileşimler dikkate alınarak 2022 yılında Sürüş Eğitim Tabanlı Algoritma (DTBO) algoritması önerilmiştir (Dehghani vd., 2022). DTBO algoritmasının sözde kodu Şekil 1'de verilmiştir.

---

DTBO başlat.

1. Girdi: Optimizasyon algoritması bilgilerini al.
  2. N ve T değerlerini ayarla.
  3. DTBO popülasyon pozisyonlarını başlat ve amaç fonksiyonunu değerlendir.
  4. For t=1 to T
  5. For i=1 to N
  6. **Aşama 1: Sürücü eğitmeniyle Eğitim (Araştırma)**
  7. Amaç fonksiyon değerleri kıyaslamasına göre sürücü eğitmen matrisini belirle.
  8. DI matrisinden rastgele bir sürücü eğitmeni seç.
  9. Eğitmene göre i. DTBO üyesi için yeni pozisyonu hesapla.
  10. Eğitmene göre i. DTBO üyesi için pozisyonunu güncelle.
-

11. **Aşama 2: Eğitimci yeteneklerinden aday sürücünün örnek alması (Araştırma)**
12. Örneklemeye indeks P'yi hesapla.
13. Örnek alma yeteneğine göre i. DTBO üyesi için yeni pozisyonu hesapla.
14. Örnek alma yeteneğine göre i. DTBO üyesi için pozisyonu güncelle.
15. **Aşama 3: Kişisel tecrübe (Sömürü)**
16. Kişisel deneyime göre i. DTBO üyesi için yeni pozisyonu hesapla.
17. Kişisel deneyime göre i. DTBO üyesi için pozisyonu güncelle.
18. **Son.**
19. En iyi aday çözümü güncelle.
20. **Son.**
21. En iyi aday çözümü raporla.

**Şekil 1.** DTBO Algoritmasına Ait Sözcük Kod (The Pseudo Code Of DTBO Algorithm)

### 3.1. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

UFLP problemi ikili optimizasyon problemlerinden biridir. DTBO algoritması ise sürekli problemlerin çözümü için önerilmiştir. Bundan dolayı DTBO algoritmasının UFLP problemine uyarlamak için aday çözümlerin ikili uzayda temsil edilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı bu çalışmada dokuz farklı transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Bu işlem ise Şekil 1'de 7. Satırda verilen amaç fonksiyonuna aday çözümler gönderilmeden önce Tablo 1'de verilen herhangi bir transfer fonksiyonu belirlenerek tüm aday çözümdeki değerler  $[0, 1]$  uzayında temsil edilir. Böylece UFLP problemi çözümlenmektedir. Tablo 1 bu çalışmada kullanılan transfer fonksiyonlarını sunmaktadır. Şekil 2 ise S ve V şekilli transfer fonksiyonlarının verilen girdi değerine göre nasıl bir sonuç ürettiğini göstermektedir.

**Tablo 1.** Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Transfer Fonksiyonları (Transfer Functions Used In Experimental Results)

S-şekilli (S-Shaped)		V-şekilli (V-shaped)	
Adı	Transfer fonksiyonu	Adı	Transfer fonksiyonu
S1	$T(x) = \frac{1}{1 + e^{-2x}}$	V1	$T(x) = \left  \operatorname{erf} \left( \frac{\sqrt{\pi}}{2} x \right) \right  = \left  \frac{\sqrt{2}}{\pi} \int_0^{(\sqrt{\pi/2})x} e^{-t^2} dt \right $
S2	$T(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	V2	$T(x) =  \tanh(x) $
S3	$T(x) = \frac{1}{1 + e^{(-\frac{x}{2})}}$	V3	$T(x) = \left  \frac{x}{\sqrt{1 + x^2}} \right $
S4	$T(x) = \frac{1}{1 + e^{(-\frac{x}{3})}}$	V4	$T(x) = \left  \frac{2}{\pi} \operatorname{arc} \tan \left( \frac{\pi}{2} x \right) \right $
<b>Mode</b> $T(x) = \operatorname{mod}(\operatorname{floor}(x), 2)$ ;			

S-şekilli transfer fonksiyonları ailesi için S2 fonksiyonunun bir örneği Eşitlik 4'te verilmiştir.

$$T(X_i^j(t)) = \frac{1}{1 + e^{-X_i^j(t)}} \quad (4)$$

$X_i^j(t)$  t. iterasyondaki i. bireye ait j. boyuttaki durumu temsil etmektedir. S şekilli transfer fonksiyonları için olasılık değerlerine göre konum güncelleme fonksiyonu Eşitlik 5'te verilmiştir.

$$X_i^j(t+1) = \begin{cases} 0 & \text{if } \operatorname{rand} < T(X_i^j(t)) \\ 1 & \text{if } \operatorname{rand} \geq T(X_i^j(t)) \end{cases} \quad (5)$$

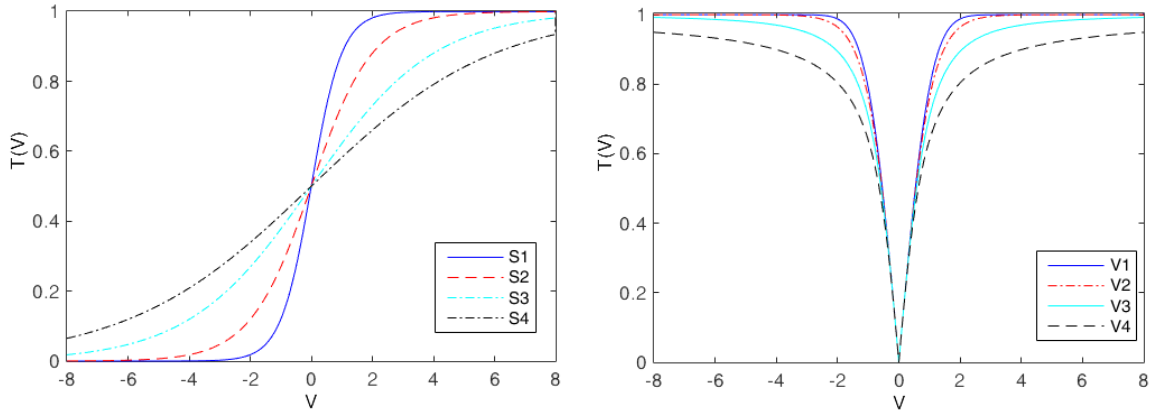
$X_i^j(t+1)$  (t+1) anındaki i. bireyin j. boyutundaki geçici veridir. V-şekilli transfer fonksiyonları için V2 fonksiyonunun bir örneği Eşitlik 6'da verilmiştir.

$$T(X_i^j(t)) = |\tanh(X_i^j(t))| \quad (6)$$

V-şekilli transfer fonksiyonları (V1, V2, V3 ve V4) ekstra konum güncelleme kuralları gerektirir ve bu işlem Eşitlik (7) ile gerçekleştirilir.

$$X_i^j(t+1) = \begin{cases} (X_i^j(t))^{-1} & \text{if } rand < T(X_i^j(t)) \\ 0 & \text{if } rand \geq T(X_i^j(t)) \end{cases} \quad (7)$$

$(X_i^j(t))^{-1}$ ,  $X_i^j(t)$  tümlenidir. Mevcut durumdaki rastgele üretilen değer  $X_i^j(t)$  değerinden küçük olma durumunda mevcut değer tümleniyi kullanılmaktadır. Diğer durumlarda ise ilgili pozisyondaki veri 0 olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 2. Transfer Fonksiyonlarına Ait Eğriler (Curves Of S-Shaped And V-Shaped Of Transfer Functions)

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

Bu çalışmada 2022 yılında sürekli optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmak üzere önerilmiş olan DTBO algoritması kullanılmıştır. DTBO algoritmasının ikili bir optimizasyon problemi olan UFLP'yi çözebilmesi için Tablo 1'de verilen transfer fonksiyonları kullanılmıştır. UFLP veri seti olarak ise Tablo 2'de verilen toplamda 12 adet problem kullanılmıştır. Tablo 2'de probleme ait boyut bilgisi ve literatürde bilinen optimal sonuçlar sunulmuştur. Tüm deneysel çalışmalar Matlab 2021 ortamında ve Intel Core i7 2.80 GHz Cpu, 16 GB Ram ve Windows 10 64-bit işletim sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. DTBO algoritmasında ise popülasyon sayısı 40, iterasyon sayısı 2000 olarak belirlenmiştir. Toplam 30 bağımsız çalışma gerçekleştirilmiş olup adil bir kıyaslama yapabilmek için tüm değerler her bir problem ve her bir transfer fonksiyonu için eşit alınmıştır. DTBO algoritmasının farklı ikili versiyonları Koc vd. (2017)'nin çalışmasındaki sonuçlarla kıyaslanmıştır. Söz konusu çalışmada IWO (Yabani Ot algoritma- Invasive Weed Optimization) algoritması üç farklı transfer fonksiyonu yardımıyla UFLP problemine uyarlanmıştır. IWO-S2 yönteminde S2 transfer fonksiyonu, IWO-V2 için V2 fonksiyonu, son olarak IWO-Mode için ise Mode fonksiyonu kullanılmıştır. Bu transfer fonksiyonlarının seçilmesinin temel sebebi S şekilli ve V şekilli transfer fonksiyonları için bu fonksiyonların genel kullanıma uygun bir fonksiyon olmasıdır. Mode fonksiyonu ise transfer fonksiyonları arasında genellikle daha başarılı sonuçlar ürettiği için tercih edilmiştir.

Tablo 2. Veri Setine Ait Açıklamalar (Description Of The Test Suite)

Problem	Boyut	Optimal Sonuç
Cap71	16x50	932,615.75
Cap72	16x50	977,799.40
Cap73	16x50	1,010,641.45

Cap74	16x50	1,034,976.98
Cap101	25x50	796,648.44
Cap102	25x50	854,704.20
Cap103	25x50	893,782.11
Cap104	25x50	928,941.75
Cap131	50x50	793,439.56
Cap132	50x50	851,495.33
Cap133	50x50	893,076.71
Cap134	50x50	928,941.75

Eşitlik (8)'de bilinen değer ile algoritmanın bulduğu değer arasındaki fark yüzdesel olarak sunulmaktadır. Algoritmanın 30 bağımsız çalışmadan elde ettiği ortalama değer,  $f(ort)$  ifadesini temsil ederken,  $f(opt)$  ise Tablo 2'de verilen optimal sonucu temsil etmektedir.

$$Fark(\%) = \frac{f(ort) - f(opt)}{f(opt)} \times 100 \quad (8)$$

Tablo 3 çözüm kalitesi açısından küçük ölçekli problemlerde kullanılan transfer fonksiyonlara ait sonuçları göstermektedir. Ort değeri ortalamayı, Fark Eşitlik (4)'deki sonucu, Std. Sap. İse standart sapma değerini göstermektedir. Buna göre Cap71 için DTBO algoritması S1 fonksiyonu dışında tüm fonksiyonlarda en iyi değeri yakalamıştır. Cap72 için S1 ve V1 hariç diğer 7 transfer fonksiyonu yardımıyla önerilen yöntem optimal sonucu yakalamıştır. Cap73 için V1, V3 ve V4 dışındaki tüm transfer fonksiyonlarında önerilen yaklaşımın en iyi değeri yakaladığı görülmektedir. Son olarak Cap74 için transfer fonksiyonlarının hepsinin en iyi değeri yakaladığı görülmektedir. Sonuç olarak küçük ölçekli problemlerde S2, S3, S4, V2 ve Mode fonksiyonlarının tüm problemlerde optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Bundan dolayı bu fonksiyonlar küçük boyutlu problemler için önerilebilir. Ayrıca, IWO-Mode fonksiyonunun da Mode-DTBO gibi Cap71, Cap72, Cap73 ve Cap74 problemlerinin tamamında optimal sonuca ulaşmıştır. Bu sonuçlara göre Mode fonksiyonunun diğer transfer fonksiyonlarına göre daha başarılı olduğu söylenebilir.

**Tablo 3.** Küçük Ölçekli Problemler Üzerinde Transfer Fonksiyonlarının Karşılaştırılması  
(Comparison Of Transfer Functions On Small-Sized Problems)

Fonksiyon		Cap71	Cap72	Cap73	Cap74
S1	Ort.	932,647.522	977,842.740	<b>1,010,641.450</b>	<b>1,034,976.975</b>
	Fark	0.000034	0.000044	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>
	Std. Sap.	174.021	237.385	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
S2	Ort.	<b>932,615.750</b>	<b>977,799.400</b>	<b>1,010,641.450</b>	<b>1,034,976.975</b>
	Fark	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>
	Std. Sap.	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
S3	Ort.	<b>932,615.750</b>	<b>977,799.400</b>	<b>1,010,641.450</b>	<b>1,034,976.975</b>
	Fark	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>
	Std. Sap.	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
S4	Ort.	<b>932,615.750</b>	<b>977,799.400</b>	<b>1,010,641.450</b>	<b>1,034,976.975</b>
	Fark	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>
	Std. Sap.	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
V1	Ort.	<b>932,647.522</b>	977,842.740	1,010,763.818	<b>1,034,976.975</b>
	Fark	<b>0.000034</b>	0.000044	0.000121	<b>0.000000</b>

	Std. Sap.	<b>174.021</b>	237.385	465.688	<b>0.000</b>
<b>V2</b>	Ort.	<b>932,615.750</b>	<b>977,799.400</b>	<b>1,010,641.450</b>	<b>1,034,976.975</b>
	Fark	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>
	Std. Sap.	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
<b>V3</b>	Ort.	<b>932,615.750</b>	<b>977,799.400</b>	1,010,702.634	<b>1,034,976.975</b>
	Fark	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	0.000061	<b>0.000000</b>
	Std. Sap.	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	335.119	<b>0.000</b>
<b>V4</b>	Ort.	<b>932,615.750</b>	<b>977,799.400</b>	1,010,825.003	<b>1,034,976.975</b>
	Fark	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	0.000182	<b>0.000000</b>
	Std. Sap.	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	560.071	<b>0.000</b>
<b>Mode</b>	Ort.	<b>932,615.750</b>	<b>977,799.400</b>	<b>1,010,641.450</b>	<b>1,034,976.975</b>
	Fark	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>
	Std. Sap.	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
<b>IWO-S2</b>	Ort	933,428.500	980085.600	1,012,340.000	1,038,995.000
	Fark	0.087000	0.233000	0.168000	0.387000
	Std. Sap.	1,129.616	2,077.684	2,022.631	5,256.444
<b>IWO-V2</b>	Ort.	941736	985575.1	1,016,923.000	1049585
	Fark	0.968	0.789	0.618	1.392
	Std. Sap.	68,37.213	6,110.815	7,808.909	12,707.67
<b>IWO-Mode</b>	Ort.	<b>932,615.750</b>	<b>977,799.400</b>	<b>1,010,641.450</b>	<b>1,034,976.975</b>
	Fark	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>
	Std. Sap.	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>

Tablo 4 zaman açısından küçük problemlerdeki karşılaştırmalı sonuçları sunmaktadır. Bu çalışmada algoritma optimal değeri bulduğunda sonlandırılmış ve elde edilen süre raporlanmıştır. Bu sonuçlara göre Cap71 için en hızlı algoritmanın hem ortalama hem de standart sapma açısından Mode fonksiyonu olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Cap72 ve Cap73 problemleri için de Mode fonksiyonunun en hızlı olduğu görülmektedir. Cap74 için Ort. açısından en hızlı algoritma S2 iken, Std. Sap. için ise V3 olmuştur. Sonuç olarak küçük ölçekli problemlerde Mode fonksiyonu zaman açısından çok başarılıdır.

**Tablo 4.** Küçük Ölçekli Problemler Üzerinde Zaman Açısından Transfer Fonksiyonlarının Karşılaştırılması  
(Comparison Of Transfer Functions On Small-Sized Problems In Terms Of Time)

Fonksiyon		Cap71	Cap72	Cap73	Cap74
<b>S1</b>	Ort.	2.70	1.91	1.29	23.43
	Std. Sap.	4.14	3.72	1.28	1.43
<b>S2</b>	Ort.	1.78	1.80	1.32	<b>22.43</b>
	Std. Sap.	1.58	1.76	1.67	0.80
<b>S3</b>	Ort.	1.98	2.17	1.46	28.19
	Std. Sap.	3.32	2.29	1.78	2.60
<b>S4</b>	Ort.	1.42	2.52	1.55	27.70
	Std. Sap.	1.38	2.05	1.30	3.63
<b>V1</b>	Ort.	4.08	3.53	2.80	24.86
	Std. Sap.	6.05	4.28	5.50	1.19
<b>V2</b>	Ort.	1.93	2.57	1.33	24.17



	Std. Sap.	1.90	3.07	1.82	0.65
<b>V3</b>	Ort.	2.24	3.05	1.84	24.60
	Std. Sap.	2.65	3.79	4.44	<b>0.58</b>
<b>V4</b>	Ort.	2.58	2.74	3.85	25.02
	Std. Sap.	2.29	3.64	7.42	1.33
<b>Mode</b>	Ort.	<b>0.51</b>	<b>0.60</b>	<b>0.87</b>	24.52
	Std. Sap.	<b>0.31</b>	<b>0.35</b>	<b>0.50</b>	1.02

Orta ölçekli problemler üzerinde transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması Tablo 5’de sunulmuştur. Bu sonuçlar ışında Cap101 için optimal değeri sadece Mode fonksiyonunun ürettiği görülmektedir. Benzer durum Cap102 ve Cap103 için de geçerlidir. Kullanılan dokuz transfer fonksiyonu içinden sadece Mode fonksiyonu Cap102 ve 103 için optimal değeri yakalamıştır. Cap104 için ise durum farklıdır. Bu problem için S1, V1, V4 ve Mode fonksiyonları optimal değeri ürettiği görülmektedir. Sonuç olarak orta ölçekli problem seti için Mode fonksiyonu çok açık bir şekilde en başarılı transfer fonksiyonudur. Bununla birlikte, IWO-Mode fonksiyonunun IWO-V2 ve IWO-S2’ye göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Buna karşın önerilen Mode-DTBO yönteminin IWO’nun 3 farklı yönteminden de başarılı olduğu görülmektedir.

**Tablo 5.** Orta Ölçekli Problemler Üzerinde Transfer Fonksiyonlarının Karşılaştırılması  
(Comparison Of Transfer Functions On Medium-Sized Problems)

Fonksiyon		Cap101	Cap102	Cap103	Cap104
<b>S1</b>	Ort.	799,316.137	856,768.412	894,550.141	<b>928,941.750</b>
	Fark	0.003349	0.002415	0.000859	<b>0.000000</b>
	Std. Sap.	1421.621	1406.262	861.354	<b>0.000</b>
<b>S2</b>	Ort.	798,896.023	856,900.430	894,693.303	929,221.663
	Fark	0.002821	0.002570	0.001019	0.000301
	Std. Sap.	1624.285	1374.598	1246.609	1064.476
<b>S3</b>	Ort.	799,809.264	857,056.790	895,404.281	929,285.599
	Fark	0.003968	0.002753	0.001815	0.000370
	Std. Sap.	1420.491	1537.012	1745.463	1162.187
<b>S4</b>	Ort.	799,869.230	857,576.242	895,467.291	929,471.240
	Fark	0.004043	0.003360	0.001885	0.000570
	Std. Sap.	1301.456	1611.331	1603.169	1193.580
<b>V1</b>	Ort.	798,860.857	856,790.095	894,586.523	<b>928,941.750</b>
	Fark	0.002777	0.002440	0.000900	<b>0.000000</b>
	Std. Sap.	1305.075	1438.330	870.742	<b>0.000</b>
<b>V2</b>	Ort.	799,231.798	856,156.607	894,507.714	929,534.149
	Fark	0.003243	0.001699	0.000812	0.000638
	Std. Sap.	1288.617	1301.485	904.820	2254.447
<b>V3</b>	Ort.	799,168.304	856,351.961	894,421.072	929,426.124
	Fark	0.003163	0.001928	0.000715	0.000521
	Std. Sap.	1552.457	1409.488	982.664	2653.024
<b>V4</b>	Ort.	799,287.616	857,059.399	894,470.288	<b>928,941.750</b>
	Fark	0.003313	0.002756	0.000770	<b>0.000000</b>
	Std. Sap.	1451.181	1327.090	534.889	<b>0.000</b>

<b>Mode</b>	Ort.	<b>796,648.438</b>	<b>854,704.200</b>	<b>893,782.113</b>	<b>928,941.750</b>
	Fark	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>
	Std. Sap.	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
<b>IWO-S2</b>	Ort.	811,066.128	878,897.360	924,355.003	998,947.348
	Fark	2.173000	3.118000	3.384000	7.008000
	Std. Sap.	7,457.799	14,206.250	16,993.563	30,790.362
<b>IWO-V2</b>	Ort.	818,819.122	879,331.952	937,772.720	1,003,640.578
	Fark	3.100000	3.166000	4.766000	7.443000
	Std. Sap.	9,568.384	13,995.674	19,761.139	32,727.773
<b>IWO-Mode</b>	Ort.	799,113.655	858,098.754	899,699.540	937,415.320
	Fark	0.710000	0.770000	0.736000	0.904000
	Std. Sap.	2,564.812	3,202.621	4,609.327	5,670.400

Tablo 6 zaman açısından transfer fonksiyonlarının karşılaştırmasını orta ölçekli problem seti için sunmaktadır. Söz konusu tablo incelendiğinde, Cap101 için Ort. için Mode en başarılı iken, Std. Sap. için ise V3 en başarılıdır. Cap102 için Ort. açısından S2 en etkili fonksiyon iken, Std. Sap. için V1 en başarılı fonksiyondur. Cap103 için Ort. değerine göre Mode en başarılı fonksiyon olurken, Std. Sap. değerine göre ise S4 en başarılı fonksiyondur. Son olarak Cap104 için Ort. açısından en başarılı V4 iken, Std. Sap. için S3 en başarılı fonksiyon olmuştur. Sonuç olarak Mode fonksiyonunun 4 problem içinden ikisinde en başarılı olduğu görülmektedir. Bundan dolayı Ort. süre açısından Mode fonksiyonun orta ölçekli problem grupları için kullanılabilirliği söylenebilir. Std. Sap. için transfer fonksiyonları arasında bir üstünlük görülmemektedir.

**Tablo 6.** Transfer Fonksiyonların Orta Ölçekli Problemler Üzerinde Zaman Açısından Karşılaştırılması  
(Comparison of Transfer Functions on Medium-Sized Problems in terms of Time)

Fonksiyon		Cap101	Cap102	Cap103	Cap104
<b>S1</b>	Ort.	25.06	18.82	21.74	20.77
	Std. Sap.	1.83	0.33	7.07	2.58
<b>S2</b>	Ort.	25.87	<b>18.80</b>	22.25	28.58
	Std. Sap.	1.04	0.37	7.71	3.32
<b>S3</b>	Ort.	25.96	19.11	24.97	24.48
	Std. Sap.	2.45	0.20	4.45	<b>0.55</b>
<b>S4</b>	Ort.	25.34	19.19	25.39	25.66
	Std. Sap.	0.69	0.22	<b>0.71</b>	1.26
<b>V1</b>	Ort.	26.20	20.35	24.20	27.22
	Std. Sap.	0.65	<b>0.19</b>	5.97	0.66
<b>V2</b>	Ort.	24.51	19.14	20.29	25.83
	Std. Sap.	0.46	0.24	8.03	1.48
<b>V3</b>	Ort.	23.96	19.90	19.99	25.17
	Std. Sap.	<b>0.35</b>	1.28	8.18	0.92
<b>V4</b>	Ort.	21.19	20.60	19.72	<b>20.35</b>
	Std. Sap.	1.86	1.32	7.08	1.53
<b>Mode</b>	Ort.	<b>19.23</b>	19.61	<b>6.51</b>	21.42
	Std. Sap.	1.17	0.50	5.01	2.19

Tablo 7'deki büyük ölçekli problemlerdeki çözüm kalitesine ait sonuçlar incelendiğinde dört problemin hepsinde Mode tabanlı önerilen yaklaşımın en iyi olduğu görülmektedir. Cap131 için Mode fonksiyonundan sonra en başarılı olarak S1 fonksiyonu görülmektedir. Cap132 için V2 Mode fonksiyonundan sonra en başarılı fonksiyon olmuştur. Cap133 için V2 yine Mode fonksiyonundan sonraki en başarılı fonksiyondur. Son olarak Cap134 için bu kez V3 Mode fonksiyonundan sonra en etkili fonksiyon olmuştur. Sonuç olarak büyük ölçekli problemlerde Mode fonksiyonu tartışmasız en etkili fonksiyon olarak görülmektedir. Bununla birlikte IWO yöntemine ait üç farklı transfer fonksiyonundan elde edilen sonuçlarda IWO-Mode yaklaşımının IWO-S2 ve IWO-V2 yaklaşımlarından daha iyi olduğu görülmektedir. Orta ölçekli problem setinde olduğu gibi çalışmada önerilen Mode tabanlı yaklaşımın IWO'ya ait tüm yöntemlerden daha başarılı olduğu görülmektedir.

**Tablo 7.** Büyük Ölçekli Problemler Üzerinde Transfer Fonksiyonlarının Karşılaştırılması  
(Comparison of Transfer Functions on Large-Sized Problems)

Fonksiyon		Cap131	Cap132	Cap133	Cap134
S1	Ort.	809,252.573	864,912.745	899,976.935	930,983.311
	Fark	0.019930	0.015757	0.007726	0.002198
	Std. Sap.	4632.260	5050.794	4096.166	2941.392
S2	Ort.	812,006.950	868,004.079	902,226.812	932,616.931
	Fark	0.023401	0.019388	0.010246	0.003956
	Std. Sap.	5298.868	5694.254	4114.050	4105.346
S3	Ort.	816,070.409	871,338.610	905,735.258	936,849.440
	Fark	0.028522	0.023304	0.014174	0.008513
	Std. Sap.	4984.599	5660.134	3949.107	8000.017
S4	Ort.	817,174.198	874,243.818	908,002.063	939,843.726
	Fark	0.029914	0.026716	0.016712	0.011736
	Std. Sap.	4937.103	3922.749	4060.861	6728.783
V1	Ort.	808,089.708	862,739.345	898,406.148	930,561.063
	Fark	0.018464	0.013205	0.005968	0.001743
	Std. Sap.	4856.554	4356.122	2858.345	2399.679
V2	Ort.	809,744.550	862,610.196	897,596.678	930,665.761
	Fark	0.020550	0.013053	0.005061	0.001856
	Std. Sap.	5669.569	5472.603	3164.757	2750.436
V3	Ort.	807,795.868	863,156.897	899,071.480	930,360.068
	Fark	0.018094	0.013695	0.006712	0.001527
	Std. Sap.	4937.254	5403.136	2828.123	2407.025
V4	Ort.	809,753.534	862,765.252	898,066.145	930,902.455
	Fark	0.020561	0.013235	0.005587	0.002111
	Std. Sap.	4854.124	4474.307	3178.310	2649.868
Mode	Ort.	<b>797,773.136</b>	<b>853,982.127</b>	<b>894,118.746</b>	<b>929,130.664</b>
	Fark	<b>0.005462</b>	<b>0.002921</b>	<b>0.001167</b>	<b>0.000203</b>
	Std. Sap.	<b>2103.238</b>	<b>1808.596</b>	<b>1,119.746</b>	<b>653.455</b>
IWO-S2	Ort.	811,066.128	878,897.360	924,355.003	998,947.348
	Fark	2.173000	3.118000	3.384000	7.008000
	Std. Sap.	7,457.799	14,206.250	16,993.563	30,790.362
IWO-V2	Ort.	818,819.122	879,331.952	937,772.720	1,003,640.578

	Fark	3.100000	3.166000	4.766000	7.443000
	Std. Sap.	9,568.384	13,995.674	19,761.139	32,727.773
<b>IWO-Mode</b>	Ort.	799,113.655	858,098.754	899,699.540	937,415.320
	Fark	0.710000	0.770000	0.736000	0.904000
	Std. Sap.	2,564.812	3,202.621	4,609.327	5,670.400

Tablo 8'deki zaman açısından karşılaştırma sonuçları incelendiğinde Cap131 için Mode fonksiyonu hem Ort. hem de Std.Sap. açısından en başarılı fonksiyondur. Cap132 için V3 fonksiyonu hem Ort. hem de Std. Sap. değerlerine göre en başarılı fonksiyon olmuştur. Cap133 için Ort. değerlerine göre Mode en başarılı iken, S4 ise kararlılık açısından en başarılı fonksiyon olmuştur. Son olarak Cap134 sonuçlarına bakıldığında ise V3 Ort. değer açısından, V4 ise Std. Sap. açısından en etkili fonksiyon olmuştur. Sonuç olarak büyük ölçekli problemlerde Mode fonksiyonu ve V3 fonksiyonu diğer transfer fonksiyonlarına nazaran daha başarılı olduğu söylenebilir.

**Tablo 8.** Transfer Fonksiyonların Büyük Ölçekli Problemler Üzerinde Zaman Açısından Karşılaştırılması  
(Comparison of Transfer Functions on Large-Sized Problems in terms of Time)

Fonksiyon		Cap131	Cap132	Cap133	Cap134
<b>S1</b>	Ort.	21.00	20.60	20.47	26.69
	Std. Sap.	0.55	0.23	0.37	1.46
<b>S2</b>	Ort.	20.93	20.70	20.55	25.21
	Std. Sap.	0.13	0.22	0.32	0.64
<b>S3</b>	Ort.	20.99	20.93	20.69	27.63
	Std. Sap.	0.18	0.18	0.50	6.18
<b>S4</b>	Ort.	20.91	20.86	20.65	23.91
	Std. Sap.	0.27	0.17	<b>0.27</b>	0.27
<b>V1</b>	Ort.	23.36	23.38	22.70	23.73
	Std. Sap.	0.34	0.81	0.43	1.35
<b>V2</b>	Ort.	20.84	20.60	20.34	20.20
	Std. Sap.	0.21	0.25	0.36	0.37
<b>V3</b>	Ort.	20.71	<b>20.32</b>	20.03	<b>20.02</b>
	Std. Sap.	0.56	<b>0.14</b>	0.28	0.69
<b>V4</b>	Ort.	20.72	20.52	20.20	20.23
	Std. Sap.	0.23	0.19	0.30	<b>0.26</b>
<b>Mode</b>	Ort.	<b>20.50</b>	20.37	<b>19.25</b>	20.08
	Std. Sap.	<b>0.08</b>	0.23	2.97	0.28

**Tablo 9.** Transfer Fonksiyonların Rank (Sıralama) Değerleri Açısından Karşılaştırılması  
(Comparison of Transfer Functions in Terms of Rank Values)

Fonksiyon	S1	S2	S3	S4	V1	V2	V3	V4	Mode	IWO-S2	IWO-V2	IWO-Mode
<b>Cap71</b>	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1
<b>Cap72</b>	2	1	1	1	2	1	1	1	1	3	4	1
<b>Cap73</b>	1	1	1	1	3	1	2	4	1	5	6	1
<b>Cap74</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1
<b>Cap101</b>	6	3	8	9	2	5	4	6	1	12	11	10
<b>Cap102</b>	4	6	7	9	5	2	3	8	1	11	12	10
<b>Cap103</b>	5	7	8	9	6	4	2	3	1	11	12	9
<b>Cap104</b>	1	2	3	5	1	6	4	1	1	8	9	7

<b>Cap131</b>	4	7	8	9	3	5	2	6	1	11	12	10
<b>Cap132</b>	6	7	8	9	3	2	5	4	1	11	12	10
<b>Cap133</b>	6	7	8	9	4	2	5	3	1	11	12	10
<b>Cap134</b>	6	7	8	9	3	4	2	5	1	11	12	10
<b>Ortalama Rank</b>	3.67	4.17	5.17	6.00	2.83	2.83	2.67	3.58	<b>1.00</b>	8.08	9.00	6.67
<b>Final Rank</b>	5	6	7	8	3	3	2	4	<b>1</b>	10	11	9

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

Bu çalışmada son yıllarda önerilmiş olan popülasyon tabanlı bir optimizasyon algoritması olan Sürüş Eğitim Tabanlı Algoritma (DTBO) algoritması ikili optimizasyon problemlerinden olan UFLP problemine uyarlanmıştır. DTBO algoritmasının orijinal versiyonu sürekli problemler için tasarlandığından bu çalışmada UFLP problemini çözebilmek için DTBO algoritmasının aday çözümlerindeki değerler dokuz farklı transfer fonksiyonu kullanılarak ikili uzayda temsil edilmiştir.

Boyut olarak üç farklı özellikte toplamda ise 12 farklı problem üzerinde yapılan deneysel sonuçlarda Mode fonksiyonunun çok açık şekilde en etkili transfer fonksiyonu olduğu görülmüştür. Küçük ölçekli problemlerde Mode fonksiyonu dışında diğer S ve V şekilli transfer fonksiyonlarının da başarılı olduğu görülmektedir. Orta ölçekli problemlerde elde edilen sonuçlar analiz edildiğinde yine Mode fonksiyonunun çok açık şekilde en etkili sonuçları ürettiği görülmektedir. Büyük ölçekli problemlerdeki sonuçlar incelendiğinde ise Mode fonksiyonu bu kez istisnasız en etkili fonksiyon olarak görülmektedir. Buna ilaveten IWO algoritmasına ait 3 farklı transfer fonksiyonlarına ait sonuçlarla önerilen yaklaşım kıyaslandığında yine Mode tabanlı DTBO yaklaşımının çok başarılı olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında problem boyutunun artması ya da daha karmaşık bir hale gelmesi durumunda Mode fonksiyonunun çözüm kalitesi açısından diğer transfer fonksiyonlarına göre çok daha kararlı olduğu söylenebilir. Bundan dolayı Mode tabanlı DTBO algoritmasının diğer transfer fonksiyonlarına nazaran ikili problemlerin çözümünde çok etkili bir yöntem olduğu açıkça ifade edilebilir.

Tablo 9'da yer alan sıralama sonuçları incelendiğinde DTBO-Mode fonksiyonunun tüm problemlerde en iyi sonucu ürettiği açıkça görülmektedir. Mode fonksiyonunun ardından V1, V2 ve V3 fonksiyonları en başarılı transfer fonksiyonu olarak görülmektedir. V4 fonksiyonu ise V1-V3 fonksiyonlarından sonraki en başarılı transfer fonksiyonu olurken S şekilli transfer fonksiyonları V şekilli transfer fonksiyonlarından daha az başarılı olarak görülmektedir. IWO algoritmasına ait transfer fonksiyonları ise önerilen yaklaşıma ait toplamda 9 transfer fonksiyonundan daha kötü sonuçlar ürettiği görülmektedir. IWO algoritmasına ait transfer fonksiyonları kendi içinde değerlendirildiğinde ise Mode fonksiyonunun diğer iki transfer fonksiyonuna göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Mode fonksiyonlarının S ve V şekilli transfer fonksiyonlarından daha başarılı olmasının sebebini ise arama uzayında üretilen gerçek değer (ondalık değer) doğrudan 0 ve 1'e uzayına dönüştürülmüş olması olarak değerlendirilebilir. S ve V şekilli transfer fonksiyonlarında ise genel anlamda elde edilen gerçek değer Şekil 2'deki gibi bir dönüşüme tabi tutulmasından dolayı Mode fonksiyonuna göre daha az başarı ürettiği söylenebilir.

Gelecek çalışmalar açısından DTBO algoritması farklı ayırık, ikili ya da sürekli problemlerin çözümünde kullanılabilir. Farklı transfer fonksiyonları test edilerek çözüm kalitesi açısından algoritmanın başarısının artması sağlanabilir. Ayrıca DTBO algoritması doğrudan ikili bir uzayda kodlanarak transfer fonksiyonlarıyla performans açısından kıyaslanabilir.

## Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma herhangi bir kurum ya da kuruluş üzerinden desteklenmemektedir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

## Kaynaklar (References)

- Abdullahi, I. M., Mu'azu, M. B., Olaniyi, O. M., & Agajo, J., 2020. Pastoralist Optimization Algorithm (POA): A Culture-Inspired Metaheuristic for Uncapacitated Facility Location Problem (UFLP). Paper presented at the International Conference on Hybrid Intelligent Systems.
- Akan, T., Agahian, S., & Dehkharghani, R., 2022. Battle Royale Optimizer for solving binary optimization problems. *Software Impacts*, 12, 100274.
- Alidaee, B., & Wang, H., 2022. Uncapacitated (Facility) Location Problem: A Hybrid Genetic-Tabu Search Approach. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 1619-1624.
- Arafat, M. Y., & Moh, S., 2019. Localization and clustering based on swarm intelligence in UAV networks for emergency communications. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(5), 8958-8976.
- Aslan, M., Gunduz, M., & Kiran, M. S., 2019. JayaX: Jaya algorithm with xor operator for binary optimization. *Applied Soft Computing*, 82, 105576.
- Barcelo, J., Hallefjord, Å., Fernandez, E., & Jörnsten, K., 1990. Lagrangean relaxation and constraint generation procedures for capacitated plant location problems with single sourcing. *Operations-Research-Spektrum*, 12(2), 79-88.
- Baş, E., & Ülker, E., 2020. A binary social spider algorithm for uncapacitated facility location problem. *Expert Systems with Applications*, 161, 113618.
- Chudak, F. A., & Shmoys, D. B., 2003. Improved approximation algorithms for the uncapacitated facility location problem. *SIAM Journal on Computing*, 33(1), 1-25.
- Coniglio, S., Furini, F., & San Segundo, P., 2021. A new combinatorial branch-and-bound algorithm for the knapsack problem with conflicts. *European Journal of Operational Research*, 289(2), 435-455.
- Dehghani, M., Trojovská, E., & Trojovský, P., 2022. A new human-based metaheuristic algorithm for solving optimization problems on the base of simulation of driving training process. *Scientific reports*, 12(1), 1-21.
- Ghosh, D., 2003. Neighborhood search heuristics for the uncapacitated facility location problem. *European Journal of Operational Research*, 150(1), 150-162.
- Hakli, H., & Ortacay, Z., 2019. An improved scatter search algorithm for the uncapacitated facility location problem. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 855-867.
- He, Y., Zhang, F., Mirjalili, S., & Zhang, T., 2022. Novel binary differential evolution algorithm based on Taper-shaped transfer functions for binary optimization problems. *Swarm and Evolutionary Computation*, 69, 101022.
- Holmberg, K., 1999. Exact solution methods for uncapacitated location problems with convex transportation costs. *European Journal of Operational Research*, 114(1), 127-140.
- Inik, O., Ulker, E., & Koc, I., 2020. B-Spline Curve Approximation by Utilizing Big Bang-Big Crunch Method.
- Karakoyun, M., & Ozkis, A., 2022. A binary tree seed algorithm with selection-based local search mechanism for huge-sized optimization problems. *Applied Soft Computing*, 129, 109590.
- Karakoyun, M., & Özkış, A., 2021, Transfer Fonksiyonları Kullanarak İkili Güve-Alev Optimizasyonu Algoritmalarının Geliştirilmesi ve Performanslarının Karşılaştırılması. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(2), 1-10.
- Kashan, M. H., Nahavandi, N., & Kashan, A. H., 2012. DisABC: a new artificial bee colony algorithm for binary optimization. *Applied Soft Computing*, 12(1), 342-352.
- Kaya, E., 2022. BinGSO: galactic swarm optimization powered by binary artificial algae algorithm for solving uncapacitated facility location problems. *Neural Computing and Applications*, 1-20.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. C., 1997. A discrete binary version of the particle swarm algorithm. Paper presented at the 1997 IEEE International conference on systems, man, and cybernetics. *Computational cybernetics and simulation*.
- Koc, I., 2016. Big bang-big crunch optimization algorithm for solving the uncapacitated facility location problem. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 4(Special Issue-1), 185-189.
- Koc, I., 2022. A comprehensive analysis of grid-based wind turbine layout using an efficient binary invasive weed optimization algorithm with levy flight. *Expert Systems with Applications*, 198, 116835.
- Koc, I., Baykan, O. K., & Babaoglu, I., 2018. Multilevel image thresholding selection based on grey wolf optimizer. *Journal Of Polytechnic-Politeknik Dergisi*, 21(4), 841-847.
- Koc, I., Nureddin, R., Babaoglu, I., & Uymaz, S. A., 2017. Binary Invasive Weed Optimization Algorithm Approaches for Binary Optimization.
- Korkmaz, S., Babalik, A., & Kiran, M. S., 2018. An artificial algae algorithm for solving binary optimization problems. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 9(7), 1233-1247.
- Lemke, C. E., 1954. The dual method of solving the linear programming problem. *Naval Research Logistics Quarterly*, 1(1), 36-47.
- Matos, T., 2021. A Scatter Search Algorithm for the Uncapacitated Facility Location Problem. Paper presented at the International Conference on Intelligent Computing & Optimization.
- Mirjalili, S., & Lewis, A., 2013. S-shaped versus V-shaped transfer functions for binary particle swarm optimization. *Swarm and Evolutionary Computation*, 9, 1-14.
- Prescilla, K., & Selvakumar, A. I., 2013. Modified Binary Particle Swarm optimization algorithm application to real-time task assignment in heterogeneous multiprocessor. *Microprocessors and Microsystems*, 37(6-7), 583-589.
- Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H., & Saryazdi, S., 2010. BGSa: binary gravitational search algorithm. *Natural computing*, 9(3), 727-745.

- Rizk-Allah, R. M., Hassanien, A. E., Elhoseny, M., & Gunasekaran, M., 2019. A new binary salp swarm algorithm: development and application for optimization tasks. *Neural Computing and Applications*, 31(5), 1641-1663.
- Shehu, H., & Olalere, M., 2019. Performance Evaluation of Ant Lion Optimization and Particle Swarm Optimization for Uncapacitated Facility Location Problem (UFLP).
- Sonuç, E., 2021. Binary crow search algorithm for the uncapacitated facility location problem. *Neural Computing and Applications*, 33(21), 14669-14685.
- Sudabas, F. T., & Kara, S. S., 2021. Tesis Yeri Seçimi Probleminde Minimum Karbon Emisyonu Yaklaşımı: Bir Üniversitenin Geri Dönüşüm Yönetimi İçin Uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(2), 544-553.
- Tunç, A., Taşdemir, Ş., & Sağ, T., 2022. Comparison of Heuristic and Metaheuristic Algorithms. Paper presented at the 2022 7th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK).
- Xiang, W.-l., Li, Y.-z., He, R.-c., & An, M.-q., 2021. Artificial bee colony algorithm with a pure crossover operation for binary optimization. *Computers & Industrial Engineering*, 152, 107011.
- Yiğit, V., & Türkbey, O., 2003. Tesis Yerleşim Problemlerine Sezgisel Metotlarla Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(4).
- Zebari, R., Abdulazeez, A., Zeebaree, D., Zebari, D., & Saeed, J., 2020. A comprehensive review of dimensionality reduction techniques for feature selection and feature extraction. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 1(2), 56-70.
- Zhang, F., He, Y., Ouyang, H., & Li, W., 2023. A fast and efficient discrete evolutionary algorithm for the uncapacitated facility location problem. *Expert Systems with Applications*, 213, 118978.
- Zhu, K., Ying, S., Zhang, N., & Zhu, D., 2021. Software defect prediction based on enhanced metaheuristic feature selection optimization and a hybrid deep neural network. *Journal of Systems and Software*, 180, 111026.



## TÜRKİYE SOMA HAVZASINDA YERALTI MADEN İŞÇİLERİNİN MARUZ KALDIKLARI GÜRÜLTÜ ETKİLERİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Ayla TEKİN<sup>1</sup>, Mustafa Oguz NALBANT<sup>2\*</sup>, Mustafa ORHAN<sup>2</sup>, Fırat TEKİN<sup>3</sup>, Fatih SUVAYDAN<sup>4</sup>, Kemal BERKİ<sup>4</sup>, Sami GUMUS<sup>5</sup>, Ashı Aydın SAVRAN<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Soma Meslek Yüksekokulu, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye

<sup>2</sup>Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Soma Meslek Yüksekokulu, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye

<sup>3</sup>Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Soma Meslek Yüksekokulu, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye

<sup>4</sup>Elektrik ve Enerji Bölümü, Soma Meslek Yüksekokulu, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa Türkiye

<sup>5</sup>Kulak Burun Boğaz Bölümü, Manisa Medigün Hastanesi, Manisa, Türkiye

<sup>6</sup>Nöroloji Bölümü, Manisa Medigün Hastanesi, Manisa, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Gürültü Etkisi,  
Yeraltı Madenciliği,  
İşçi Sağlığı,  
İstatistiksel Analiz,  
Kardiyovasküler Riskler.

### Öz

Gürültünün yarattığı sorunların pek çok ortamda psikolojik, sosyal ve çeşitli sağlık sorunlarına yol açtığı bilinmektedir. Gürültü maruziyetinin en etkin şekilde gözlemlendiği ortamlardan biri de çalışma alanlarıdır. Son zamanlarda mesleki gürültüye maruz kalmanın işçi performansı ve sağlığı üzerindeki etkilerine ilişkin çalışmaların sayısı tüm dünyada artmıştır. Bu çalışmada gürültüye maruz kalmanın kardiyovasküler sistem üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yeraltı madenciliği sektöründe çalışan veya çalışacak 100 işçinin çalışma ortamında maruz kaldıkları gürültünün etkileri incelenmiştir. Kişilerin kan basıncı, oksijen saturasyonu, nabızları, solunum hızları ve elektriksel aktiviteleri gibi fizyolojik sinyalleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler istatistiksel olarak incelenmiştir. Çalışmanın istatistiksel olarak gürültünün kardiyovasküler bir risk faktörü olduğunu göstermektedir. Kardiyovasküler değişikliklerin gürültü seviyeleri ve maruz kalma süresi ile ilişkili olduğu ve bu etkilerin bireysel duyarlılıktan da kaynaklanabileceği varsayılabilir. Sonuç olarak, çalışmadan elde edilen sonuçlar, yeraltı madenlerinde çalışan işçilerde kardiyovasküler problemlerin varlığını ve bu sektörde çalışan işçiler için kardiyoloji taramasının yararlılığını göstermektedir.

## STATISTICAL ANALYSIS OF NOISE EXPOSURE OF WORKERS IN THE UNDERGROUND MINING IN THE SOMA BASIN OF TURKEY

### Keywords

Noise Effect,  
Underground Mining,  
Worker Health,  
Statistical Analysis,  
Cardiovascular Risks.

### Abstract

It is known that the problems created by noise cause numerous psychological, social, and various health consequences in many environments. One of the environments where noise exposure is observed most effectively is work areas. Recently, the number of studies on the effects of occupational noise exposure on worker performance and health has increased globally. In this study, it was aimed to determine the effect of exposure to noise on the cardiovascular system. The effects of the noise in the working environment of 100 workers who work or will work in the underground mining sector were examined. Physiological signals such as blood pressure, oxygen saturation, heart rate, respiratory rate, and electrical activity of individuals were measured. The obtained data were analyzed statistically. Our study statistically suggests that noise is a cardiovascular risk factor. It can be assumed that cardiovascular changes are related to noise levels and exposure time, and these effects may also be due to individual susceptibility. In conclusion, the results obtained from this study show the existence of cardiovascular problems in workers working in underground mines and the usefulness of cardiology screening for workers working in this sector.

\* İlgili yazar / Corresponding author: mustafa.nalbant@cbu.edu.tr, +90-236-612-00-13/211



**Alıntı / Cite**

Tekin, A., Nalbant, M.O., Orhan, M., Tekin, F., Suvaydan, F., Berki, K., Gumus S., Savran, A.A. (2023). Statistical Analysis of Noise Exposure of Workers in The Underground Mining in The Soma Basin of Turkey, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(2), 449-458.

<b>Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)</b>	<b>Makale Süreci / Article Process</b>	
A. Tekin, 0000-0002-2547-0872	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	05.08.2022
MO. Nalbant, 0000-0002-9311-2241	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	01.12.2022
M. Orhan, 0000-0002-6337-1584	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	20.12.2022
F. Tekin, 0000-0001-7870-8453	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023
F. Suvaydan, 0000-0001-9236-5506		
K. Berki, 0000-0002-1340-4907		
S. Gumus, 0000-0001-5992-0889		
AA. Savran, 0000-0002-8344-1287		

## STATISTICAL ANALYSIS OF NOISE EXPOSURE OF WORKERS IN THE UNDERGROUND MINING IN THE SOMA BASIN OF TURKEY

Ayla Tekin<sup>1</sup>, Mustafa Oguz Nalbant<sup>2†</sup>, Mustafa Orhan<sup>2</sup>, Fırat Tekin<sup>3</sup>, Fatih Suvaydan<sup>4</sup>, Kemal Berki<sup>4</sup>, Sami Gumus<sup>5</sup>, Aslı Aydın Savran<sup>6</sup>,

<sup>1</sup>Department of Machinery and Metal Technology, Soma Vocational School, Manisa Celal Bayar University, Manisa, Türkiye

<sup>2</sup>Department of Electronic ve Automation, Soma Vocational School, Manisa Celal Bayar University, Manisa, Türkiye

<sup>3</sup>Department of Mining Soma Vocational School, Manisa Celal Bayar University, Manisa, Türkiye

<sup>4</sup>Department of Electricity and Energy, Soma Vocational School, Manisa Celal Bayar University, Manisa Türkiye

<sup>5</sup>Department of Otorhinolaryngology, Manisa Medigun Hospital, Manisa, Türkiye

<sup>6</sup>Department of Neurology, Manisa Medigun Hospital, Manisa, Türkiye

### Highlights

- Noise is a problem to be considered for those working in underground mines.
- The cardiovascular effects of noise have been determined experimentally.
- The obtained data were analyzed statistically.

### Graphical Abstract

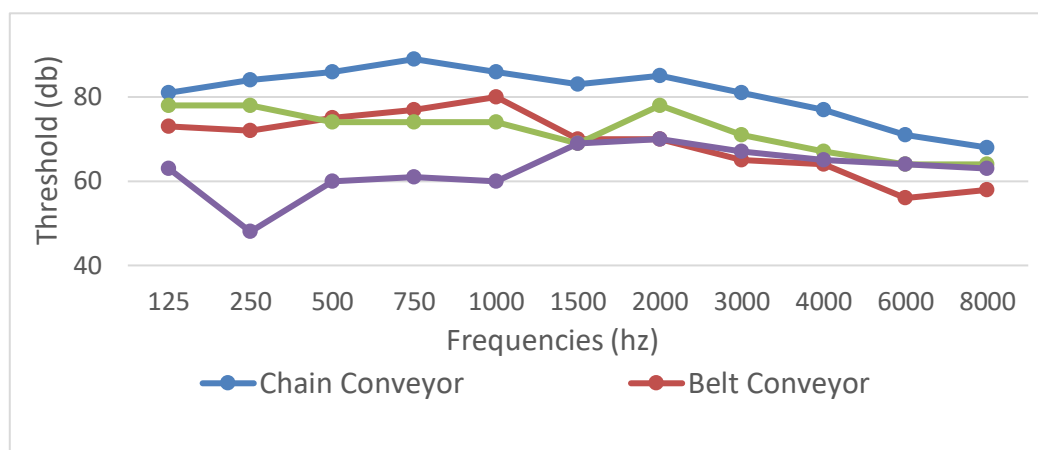


Figure. Noise Intensity Per Frequency Of Noise Sources In Underground Mining

### Purpose and Scope

In this study, it was aimed to determine the effect of exposure to noise on the cardiovascular system.

### Design/methodology/approach

The effects of the noise in the working environment of 100 workers who work or will work in the underground mining sector were examined. Physiological signals such as blood pressure, oxygen saturation, heart rate, respiratory rate, and electrical activity of individuals were measured. The obtained data were analyzed statistically.

### Findings

This study statistically suggests that noise is a cardiovascular risk factor.

### Practical implications

The results obtained from this study show the existence of cardiovascular problems in workers working in underground mines and the usefulness of cardiology screening for workers working in this sector.

### Social Implications

This study will highlight the importance of occupational health and safety. It will encourage the use of protective equipment that should be used against noise.

### Originality

There is almost no study in the world investigating whether the noise level in the underground mining sector creates a cardiovascular risk factor in the mines. This study will contribute to future studies.

<sup>†</sup> Corresponding author: mustafa.nalbant@cbu.edu.tr, +90-236-612-00-13/211

## 1. Introduction

Today, rapidly developing technology includes many positive developments to make life easier. However, these developments also have aspects that negatively affect human health. The noise is one of the negative effects on human body.

Sound is a physical phenomenon consisting of the varying compression and expansion of air radiating from a source in all directions. These alternating compressions and expansions can be defined as small pressure changes around atmospheric pressure. The frequency of the variations determines the pitch of a sound: a high-pitched tone (for example, 4,000 Hz) indicates a squeaking sound, a low-pitched tone (for example, 200 Hz) indicates a humming sound (Passchier-Vermeer *et al.*, 2000).

There have been many studies examining the negative effects of noise on human health. In the study of respiratory system (Castelo Branco *et al.*, 1999), immune system (Zheng and Ariizumi, 2007), audiometric problems (Thuthula, 2022), endocrine system (Tomei *et al.*, 2003), reproductive system (Hrubá *et al.*, 1999) on the other hand, cognitive systems (Brattico *et al.*, 2005), and (Kavzan, 2015) emphasized that noise affects negatively in their study. In addition, its effect on arterial hypertension and cardiovascular diseases has been mentioned recently. The authors emphasized that noise causes an increase in heart rhythm. (Aydin and Kaltenbach, 2007), hypertension (Nawaz and Hasnain, 2010), and EKG abnormalities (Tomei *et al.*, 2003). Cardiovascular diseases (CVDs) are classified as major and chronic non-communicable diseases (WHO (World Health Organization), 2008). Smoking and obesity, which are risk factors for cardiovascular diseases like hypertension and heart rhythm disorder, can be prevented, while factors such as gender, race, age, and lifestyle cannot be prevented (Capozzella *et al.*, 2015). In addition to these prominent risk factors, exposure of workers in some occupations to noise creates different effects (Kerns *et al.*, 2018, Liu *et al.*, 2020). For instance, high temperature (Aydin and Kaltenbach, 2007, Rathod *et al.*, 2021) may also cause cardiovascular diseases. Experimental and epidemiological research has also shown that occupational noise affects hypertension and cardiovascular diseases (Liu *et al.*, 2020). Kalantary *et al.* investigated whether exposure to noise has any effect on the blood pressure and heart rate of employees in the automotive parts industry (Kalantary *et al.*, 2015).

In the literature, studies have been carried out on the health of workers exposed to noise in various work areas. For example, a study on industrial noise monitoring using a noise mapping technique (Ahmed *et al.*, 2022), In their study, (Engin I.C. *et al.*, 2019), investigated the noise level and noise emission during the operation of natural stone cutting-processing machines used in natural stone workshops. The general study of all workers exposed to noise by Stokholm *et al.* (Zara Ann Stokholm *et al.*, 2020), Ziyu Tao *et al.*, In their study, the effect of ventilation noise originating from the subway depot with a rail platform structure on workers and nearby residents was evaluated (Ziyu Tao *et al.*, 2019). The researchers have studied the effects of sound on different sector employees such as construction workers (Jinjing Ke *et al.*, 2021) tobacco factory workers (Xingsong Wang *et al.*, 2020), workers (Hansell *et al.*, 2014), worked in the automobile manufacturing unit (Jamal *et al.*, 2016; Sensogut and Cınar 2007) underground mining, the effects of the noise they are exposed to were examined. (Tekin *et al.*, 2022) in their first study, examined the Noise Intensity Occurring in Underground Mining. In their second study (Tekin *et al.*, 2022), they analyzed the neurological effects of noise statistically.

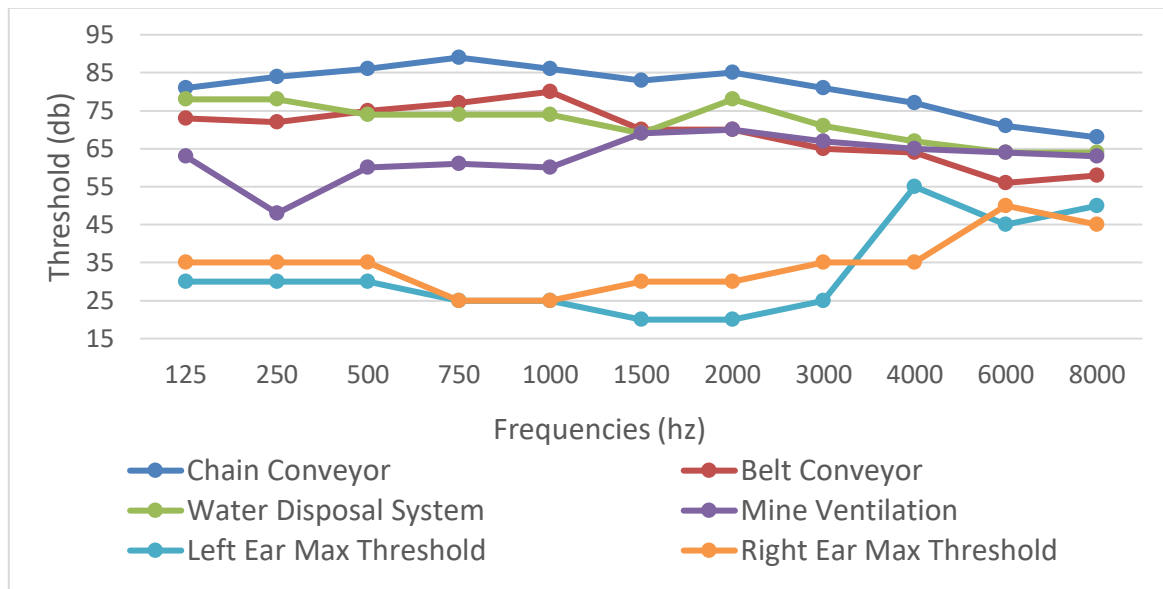
While there are studies investigating the cancer risks of workers in coal mines (Alif *et al.*, 2021), very few studies in the world evaluate the noise level in underground mines and its effects on quality of life. [Varga *et al.*, Bo Y *et al.*] and their number is increasing day by day.

In this study, the effects of noise exposure of workers working in the underground mining sector on cardiovascular conditions such as hypertension, heart rhythm disorder, body temperature and oxygen saturation were experimentally observed.

## 2. Materials and Methods

In this study, the effects of noise exposure of workers working in the underground mining sector on cardiovascular conditions such as hypertension, heart rhythm disorder, body temperature and oxygen saturation were experimentally observed.

In the experiment, 100 male volunteers who work or will work in mining companies in Soma, which has the highest quality lignite reserves in Turkey, were studied. Workers are constantly exposed to high noise, poor air quality and dust in working conditions. In the light of the information obtained because of the survey conducted with the workers, the characteristic features of the workers were formed as in Table 1. In addition, all volunteer workers were subjected to audiometric testing with the AMPLIVOX 240 brand audiometer device and as shown in figure 1 the workers whose hearing limit was below the sound produced by the noise sources weren't included in the experiment.



**Figure 1.** Comparison of Noise Intensity Per Frequency of Noise Sources Against Minimum Hearing Thresholds Per Frequency of Participants

As can be seen in Table 2, workers are exposed to the noise of various mining machines when looking at the sound intensities in the working environments in the underground mining sector. In the measurement results, it was seen that the highest of these sound intensities was 94 dB(A). When the audiometry tests performed during the determination of the workers to be included in the experimental study were examined, it was observed that 4 of 104 workers could not hear the working noise frequency threshold of the mentioned machines, and these workers were not included in the scope of the experiment. The remaining 100 workers were selected voluntarily for the experiment.

**Table 1.** Characteristics of the Worker Population

		Workers (N:100)		P-Value
Age (years)				
Mean ± SD	Min-Max	24 ± 5	19 - 49	,000
Weight (kg)				
Mean ± SD	Min-Max	76,4 ± 16,8	55 - 115	,000
Height (cm)				
Mean ± SD	Min-Max	176,6 ± 5,8	166 - 186	,000

There are many systems that are a constant source of noise in underground mining operations. These are chain conveyors, belt conveyors, water discharge systems, ventilation, etc. systems. The measurements were made in the underground mine training mine where these systems are together.



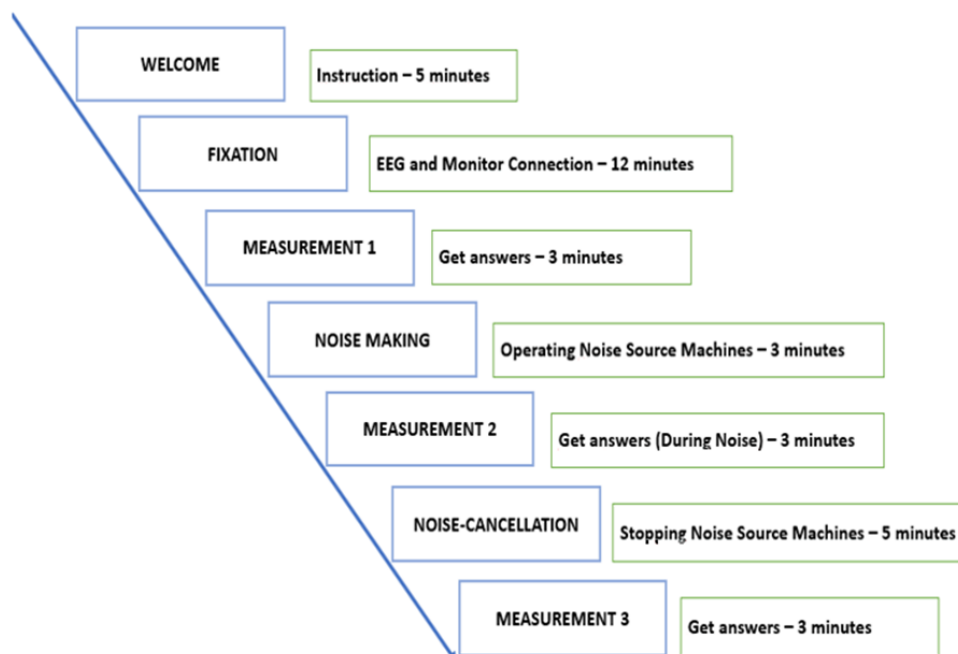
**Figure 2.** Underground Training Mine Where the Study Was Carried Out

The noise levels of each of the noise sources were measured with a calibrated PCE-430 brand noise measuring device as listed in Table 2 and the noise intensity was observed to vary between 84 -94 dBA.

**Table 2.** Continuous Noise Sources and Noise Intensities of Underground Mines

Noise Sources	Noise Intensity (dB)
Chain Conveyor	94
Belt Conveyor	86
Water Disposal System	84
Mine Ventilation	88

The measurements were carried out in three stages as listed in Figure 3. In the first case, called “MEASUREMENT1”, when the noise sources were not turned on, the cardiovascular values, pulses, respirations, and oxygen saturations of the worker were recorded with the COMEN Star8000 brand bedside monitor. Afterward, the worker was exposed to the noise of all the machines for a while. In the second case called “MEASUREMENT2”, the workers were exposed to noise and their measurements were made under the noise and the data were recorded. Then the noise sources were stopped, and in the 3<sup>rd</sup>, case called “MEASUREMENT3”, post-noise recordings were taken.



**Figure 3.** The Testing Procedure For Each Experimental Personnel

### 3. Statistical Analysis

The data obtained from the research were analyzed as dependent data in the SPSS statistical analysis program. In the statistical analysis of the data, the arithmetic means and standard deviation (SD) of each variable were calculated. Whether the data violated the assumption of normal distribution was checked using Kolmogorov-Smirnov's Lilliefors Significance Correction and Shapiro-Wilks Test. As a result of the controls, the tests of the workers and the scores they got from the attitude scale were compared using the Parametric T-Test for Related Samples, the Nonparametric T-Test for Unrelated Samples, and the Wilcoxon Test.

### 4. Results

The data were recorded as the moment of noise and after the noise, and the evaluations were made by comparing the individual's own measurement data. When the 2<sup>nd</sup> case and 3<sup>rd</sup> case data of the volunteer group are examined in Table 3, While analyzing the data, the significance level (p) was taken as 0.05. It is seen that according to Kolmogorov-Smirnov's test result, only the HR and PR values for the post-noise situation do not violate the normal assumption ( $p > .05$ ). When Shapiro-Wilk test results are examined, it is seen that diastolic pressures do not violate the normal assumption of blood pressure and body temperature after noise ( $p > .05$ ). It is observed that the other data of the experimental group violated the normal distribution assumption for both test methods ( $p < .05$ ).

**Table 3.** Normal Distribution Assumption Test Table of 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> Case Data of Participants

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
SYS <sup>2</sup>	.109	100	.005	.947	100	.001
DIA <sup>2</sup>	.094	100	.029	.979	100	.102
MEAN <sup>2</sup>	.091	100	.039	.950	100	.001
HR <sup>2</sup>	.120	100	.001	.958	100	.003
PR <sup>2</sup>	.106	100	.008	.956	100	.002
SPO2 <sup>2</sup>	.242	100	.000	.885	100	.000
RR <sup>2</sup>	.124	100	.001	.951	100	.001
T <sup>2</sup>	.123	100	.001	.971	100	.029
SYS <sup>3</sup>	.126	100	.000	.923	100	.000
DIA <sup>3</sup>	.129	100	.000	.980	100	.139
MEAN <sup>3</sup>	.142	100	.000	.951	100	.001
HR <sup>3</sup>	.083	100	.083	.976	100	.062
PR <sup>3</sup>	.082	100	.091	.970	100	.022
SPO2 <sup>3</sup>	.211	100	.000	.765	100	.000
RR <sup>3</sup>	.135	100	.000	.965	100	.010
T <sup>3</sup>	.114	100	.003	.975	100	.052

a: Lilliefors Significance Correction 2: Situation two, 3: Situation three

(SYS: systolic blood pressure, DIA: diastolic blood pressure, MEAN: Mean of the blood pressures, HR: Heart Rate, PR: P-R Interval, SPO2: Oxygen Saturation, RR: R-R Interval, T: Temperature)

Since the systolic pressures violated the assumption of normal distribution in the tests, whether there was a significant difference between the values taken during and after the noise was tested with the Wilcoxon Test, one of the non-parametric tests. In the findings presented in Table 4, it is seen that there is a statistically significant difference in the mean values of both systolic and diastolic blood pressure compared to the controls. ( $p < 0.05$  and  $p < 0.05$ , respectively).

**Table 4.** Systolic And Diastolic Blood Pressure Values of Workers for During and After Noise

	Case II	Case III	p-Value
Systolic Blood Pressure (mmHg)			
Mean ± SD	118.3 ± 8.6	117.2 ± 8.7	.003
Min-Max	89-135	88-132	
Diastolic Blood Pressure (mmHg)			
Mean ± SD	72.1 ± 6.5	70.1 ± 6.7	.000
Min-Max	56-92	54-90	
Blood Pressure Mean (mmHg)			
Blood Pressure Mean ± SD	86.3 ± 6.3	84.3 ± 6.5	.000
Min-Max	68-102	65-97	

Persons with clinical blood pressure >140 mm Hg and/or <90 mm Hg are at risk of hypertension. Persons with blood pressure >140 mm Hg are defined as systolic, and those below <90 mm Hg are defined as diastolic hypertension (Mancia et al., 1997). When the cardiovascular data of the people working and will working in the underground mining sector were examined, it was determined that the frequency of systolic hypertension cases was 3% ( $p < .05$ , Table 5), and the frequency of diastolic hypertension cases was 1% ( $p < .05$ , Table 5).

**Table 5.** Prevalence Of Hypertension in The Worker Population

Worker N.100	
Systolic Hypertension	
No Subject (%)	3 (%3)
Diastolic Hypertension	
No Subject (%)	1 (%1)

In the paired Wilcoxon Test results of the systolic, diastolic, and mean blood pressure values collected during and after the noise of 100 people working or will working in the underground mine, a significant result was observed in the paired differences ( $p < 0.05$ , Table 6). Although the individual normal distribution variations ( $p < 0.05$ , Table 3) in the volunteers' heart rate, rhythm rates, oxygen saturation, R-R range, and body temperature gave a significant value, no significant result was observed in the paired differences in the Wilcoxon Test results ( $p > 0.05$ , Table 6).

**Table 6.** Paired Differences Table Of All Data Of The Worker Population In Noisy And Noiseless Environments

		Paired Differences			95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error	Lower	Upper			
Pair 1	SYS <sup>2</sup> - SYS <sup>3</sup>	1.130	3.719	.371	.392	1.867	3.03	99	.003
Pair 2	DIA <sup>2</sup> - DIA <sup>3</sup>	2.050	3.967	.396	1.262	2.837	5.16	99	.000
Pair 3	MEAN <sup>2</sup> - MEAN <sup>3</sup>	1.980	3.595	.359	1.266	2.693	5.50	99	.000
Pair 4	HR <sup>2</sup> - HR <sup>3</sup>	.570	5.459	.545	-.513	1.653	1.04	99	.299
Pair 5	PR <sup>2</sup> - PR <sup>3</sup>	.020	4.213	.421	-.816	.856	.047	99	.962
Pair 6	SPO <sub>2</sub> <sup>2</sup> - SPO <sub>2</sub> <sup>3</sup>	.090	.683	.068	-.045	.225	1.31	99	.191
Pair 7	RR <sup>2</sup> - RR <sup>3</sup>	.260	2.038	.203	-.144	.664	1.27	99	.205
Pair 8	T <sup>2</sup> - T <sup>3</sup>	-.001	.061	.006	-.013	.011	-.16	99	.870

2: Situation two, 3: Situation three

## 5. Discussion

In this study, the effects of noise exposure of workers working in the underground mining sector on cardiovascular conditions such as hypertension, heart rhythm disorder, body temperature, and oxygen saturation were experimentally observed.

When the observations are examined; It is seen that the results of (Capozzella et al., 2015). in their study in which they investigated whether employees in the sanitary ware industry are at risk of developing cardiovascular disease, and specifically evaluated whether chronic noise influences cardiovascular problems, are in parallel with

the results related to hypertension found statistically in this study. In other words, people working in the underground mining industry show a higher prevalence of systolic and diastolic hypertension when exposed to noise in their work areas.

The main results produced in the study are:

- It has been determined that occupational exposure to noise in the working environment in the underground mining sector increases both diastolic and systolic blood pressure values.
- No significant difference was observed when the heart rate, rhythm rates, oxygen saturations, Pulse Rate, R-R intervals, and body temperature of the volunteers were compared now of noise and after the noise.
- In the measurements made, it was determined that 4% of the volunteer group had blood pressures above the hypertension values. Such a result was not surprising due to the low mean age of the group studied.

While cardiovascular affects due to noise are possible for all workers exposed to noise in underground mines, they can also be the result of the irregular use of hearing-related personal protective equipment. For this reason, it is recommended to provide training aimed at raising awareness among employees about the harmful role of noise in the working environment on hearing and all physiological systems, and about reducing noise levels. Employers are advised to evaluate risk factors by controlling noise measurements in the occurrence of cardiovascular disease by organizing health examinations and health education of their employees.

The study statistically suggests that noise is a cardiovascular risk factor. It can be assumed that cardiovascular changes are related to noise levels and exposure time, and often these affects may also be due to individual susceptibility. In conclusion, outputs of our study prove the occurrence of cardiovascular problems among underground mine workers and benefits of cardiac screening.

## Acknowledgement

This study was supported by Manisa Celal Bayar University Scientific Research Projects Coordination Unit within the scope of project no 2019-083. In addition, the authors thank the volunteers who participated in this study and the industry Soma Imbat Mining and Energy Corporation and Soma Private Medigün Hospital for their support.

## Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

## References

- Ahmed, S.S., Gadelmoula, A.M., 2022. Industrial noise monitoring using noise mapping technique: a case study on a concrete block-making factory. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 19, 851–862.
- Alif, S.M., Sim, M.R., Ho, C., and Glass, D.C., 2022. Cancer and mortality in coal mine workers: a systematic review and meta-analysis, *Occup. Environ. Med.* 79(5), 347-357.
- Aydin, Y., Kaltenbach, M., 2007. Noise perception heart rate and blood pressure in relation to aircraft noise in the vicinity of the Frankfurt airport. *Clin Res Cardiol* 96, 347–358.
- Barakovic, F., Becarevic, M., Ljuca, F., Mujanovic, O. B., Beganlic, A., and Tulumovic, A, 2013. Depression and Cardiovascular Risk Factors in Pit Miners. *Journal of the American College of Cardiology*, 62(18S2), C7-C7.
- Castelo B.N.A., Rodriguez, E., Alves P.M., and Jones D.R, 1999. Vibroacoustic disease: some forensic aspects. *Aviat Space Environ Med*, 70(3 Pt 2), A145–A151.
- Capozzella A., Samperi I., De S.S., Tomei G., Casale T., Sacco C., Suppi A., Giubilati R., Tomei F., and Rosati M.V., 2015. Noise and cardiovascular affects in workers of the sanitary fixtures industry, *Int J Hyg Environ Health*, 218(1), 163-168.
- Engin I.C., Ozkan E., and Cetin, S. 2019. Determination of Risky Areas at the Marble Workshops in Terms of Noise. *Acoust Aust*, 47, 79–90.
- Elvira B., Teija K., Mari T., Paavo A., Luigi A., and Vincenzo M., 2005. Long-term exposure to occupational noise alters the cortical organization of sound processing, *Clinical Neurophysiology*, 116(1), 190-203.
- Hansell A.L., Blangiardo M., Fortunato L., Floud S., Hoogh K., Fecht D., Ghosh R.E., Laszlo H.E., Pearson C., Beale L., Beevers S., Gulliver J., Best N., Richardson S., Elliott P., 2014. Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow airport in London: small area study. *BMJ Br. Med. J.* 347.
- Hrubá D., Lubomír K., and Mojmír T., 1999. Occupational risks for human reproduction: ELSPAC Study. *European Longitudinal Study of Pregnancy and Childhood. Cent. Eur. J. Public Health*, 7(4), 210-215.
- Jamal A, Tanoli Q, Putus T, Savolainen H, and Liesivuori J., 2016. Noise induced hearing loss and its determinants in workers of an Automobile manufacturing unit in Karachi, Pakistan. *Madridge J Otorhinolaryngol.* 1(1), 1-11.
- Jinjing K, Ming Z, Xiaowei L, Jiayu C., 2021. Monitoring distraction of construction workers caused by noise using a wearable Electroencephalography (EEG) device, *Autom. Constr.*, 125(103598).
- Kalantary S., Dehghani A., Yekaninejad M.S., Omidi L., and Rahimzadeh M., 2015. The effects of occupational noise on blood pressure and heart rate of workers in an automotive parts industry. *ARYA Atheroscler.* 11, 215–219.
- Kashif N.S., and Hasnain S., 2010. Noise induced hypertension and prehypertension in Pakistan. *Bosn. J. Basic Med. Sci.*, 10(3), 239-244.
- Kavraz M. 2015. Gürültü Düzeylerinin İç Mekanlar Açısından Değerlendirilmesi - Ktü Kanuni Kampüsü Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3 (3) , 597-601.



- Kerns E., Masterson E.A., Themann C.L., Calvert G.M., 2018. Cardiovascular conditions, hearing difficulty, and occupational noise exposure within US industries and occupations. *Am J Ind Med.* 61: 477– 491.
- Liu J., Zhu B., Xia Q., Ji X., Pan L., Bao Y., and Zhang R. 2020. The effects of occupational noise exposure on the cardiovascular system: A review. *J. Public Health Emerg.* 4.
- Mancia G., Sega R., Milesi C., Cessna G., and Zanchetti, A. 1997. Blood-pressure control in the hypertensive population, *Lancet*, 349(9050), 454-457.
- Nawaz, S. K., and Hasnain, S. 2010. Noise induced hypertension and prehypertension in Pakistan. *Bosn. J. Basic Med. Sci.*, 10(3), 239–244.
- Passchier V.W., and Wim F.P., 2000. Noise exposure and public health. *Environ. Health Perspect.*, 108(1), 123-131.
- Rathod S.B., Sorte S.R., and Patel S. 2021. The Effect of High Temperature on Cardiovascular Autonomic Function Tests in Steel Plant Furnace Worker. *Indian J. Occup. Environ. Med.*, 25(2), 67–71.
- Sensogut, C., Cinar, I., 2007. An empirical model for the noise propagation in open cast mines – A case study, *Applied Acoustics*, 68(9), 1026-1035.
- Tao Z., Wang Y., Zou C., et al., 2019. Assessment of ventilation noise impact from metro depot with over-track platform structure on workers and nearby inhabitants. *Environ Sci Pollut Res*, 26, 9203–9218.
- Tekin, A., Nalbant, M.O., Orhan, M., Tekin, F., Suvaydan, F., Berki, K., Gumus S., Savran, A.A. 2022. Statistical Analysis of Noise-induced Brain Electrical Activity of Employees in the Underground Mining Sector in the Soma Basin. *Celal Bayar University Journal of Science*, 2022, 18.3: 331-339.
- Tekin, A., Nalbant, M.O., Orhan, M., Tekin, F., Suvaydan, F., Berki, K., Gumus S., Savran, A.A. 2022. Yeraltı Madencilğinde Meydana Gelen Gürültü Şiddetinin İncelenmesi. *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 1(33), 16-23.
- Thuthula, B., 2022. Reaching industry milestones on noise induced hearing loss in the South African Mining Industry, *Saf Health Work*, 13, 27.
- Tomei G., Sancini A., Tomei F., Vitarelli A., Andreozzi G., Rinaldi G., Giorgio V., Samperi I., Fiaschetti M., Tasciotti Z., Cetica C., Capozzella A., Ciarrocca M., Caciari, T. 2013. Prevalence of systemic arterial hypertension, Ecg abnormalities and noise-induced hearing loss in agricultural workers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 68(4), 196–203.
- Varga J., Nagy I., Szirtes L., and Pórszász J. 2016. Physiological strain in the Hungarian mining industry: The impact of physical and psychological factors. *Int J Occup Med Environ Health*, 29(4), 597-611.
- Xingsong W., Oluseyi A.O., Dauda S.h. Ibrahim S.M.O., 2020. Evaluation of noise risk level and its consequences on technical operators of tobacco processing equipment in a cigarette producing company in Nigeria, *Sci. Afr.*, 8.
- You B., Wu C., Li J., and Liao H. 2014. Physiological responses of people in working faces of deep underground mines, *Int J Min Sci Technol*, 24(5), 683-688.
- Zara A.S., Mogens E., Vivi S., Ioannis B., Jens P.B., Susan P., Jens B., Jesper M.V., and Henrik A.K, 2020. A Quantitative General Population Job Exposure Matrix for Occupational Noise Exposure, *Ann. Work Expo. Health*, 64(6), 604–613.
- Zheng K.C., and Ariizumi, M. 2007. Modulations of Immune Functions and Oxidative Status Induced by Noise Stress. *J. Occup. Health*, 49, 32-38.



## ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES OF FLAX/CARBON FIBER REINFORCED HYBRID COMPOSITES PRODUCED USING TWO DIFFERENT PRODUCTION METHODS

Berkay KARACOR<sup>1\*</sup>, Mustafa OZCANLI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cukurova University, Faculty of Engineering, Department of Automotive Engineering, Adana, Turkey

### Keywords

*Flax Fiber,  
Carbon Fiber,  
Hand Lay-up,  
Vacuum Bagging,  
Mechanical Characteristics.*

### Abstract

In this study, the hybridization process of carbon fabrics, which used in many areas today, and flax fabrics were carried out using two production methods, hand lay-up and vacuum bagging. The effects of both the production method and the hybridization process on the mechanical performance of the formed flax/carbon epoxy hybrid composites were investigated. Epoxy was used as a matrix element in production. Tensile and hardness tests were performed to evaluate the mechanical properties of the analyzed composite products. Moreover, the surface morphology of the samples broken after mechanical testing was analyzed using scanning electron microscopy. The experimental results reveal that the tensile strength of flax/carbon fiber hybrid composites increased from 226.36 MPa to 344.14 MPa when vacuum bagging method was used, resulting in an increase of 52.03% compared to hand lay-up method. An increment of 1.09% was achieved in comparison to hand lay-up when the hardness value reached 201.59 HV from 199.42 HV in linen/carbon fiber hybrid composites produced by vacuum bagging method. The results of the study reveal that both production methods are suitable for manufacturing of automotive parts using linen and carbon fiber fabrics, depending on the area to be used and the part to be produced.

## İKİ FARKLI ÜRETİM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN KETEN/KARBON LİF TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK ANALİZİ

### Anahtar Kelimeler

*Keten Fiber,  
Karbon Fiber,  
El Yatırması,  
Vakum Torbalama,  
Mekanik Karakteristikler.*

### Öz

Bu çalışmada, günümüzde birçok alanda kullanılan karbon kumaşlar ile keten kumaşların hibridizasyon işlemi, elle yatırma ve vakum torbalama olmak üzere iki üretim yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hem üretim yönteminin hem de hibridizasyon işleminin, oluşturulan keten/karbon epoksi hibrit kompozitlerin mekanik performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Üretimde matris elemanı olarak epoksi kullanılmıştır. Analizi yapılan kompozit ürünlerin mekanik özelliklerini değerlendirmek için çekme ve sertlik testleri yapılmıştır. Ayrıca mekanik testlerden sonra kırılan numunelerin yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskopu kullanılarak analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlar, keten/karbon fiber hibrit kompozitlerin çekme mukavemetinin vakum torbalama yöntemi kullanıldığında 226.36 MPa' dan 344.14 MPa' ya yükseldiğini ve elle yatırma yöntemine göre %52.03'lük bir artışa neden olduğunu ortaya koymaktadır. Vakum torbalama yöntemi ile üretilen keten/karbon fiber hibrit kompozitlerde sertlik değeri 199,42 HV' den 201,59 HV' ye ulaştığında elle yatırmaya göre %1,09 artış sağlanmıştır. Çalışmanın sonuçları, kullanılacak alana ve üretilen parçaya bağlı olarak, her iki üretim yönteminin de keten ve karbon elyaf kumaşlar kullanılarak otomotiv parçalarının imalatına uygun olduğunu ortaya koymaktadır.

### Alıntı / Cite

Karacor, B., Ozcanli, M. (2023). Analysis of Mechanical Properties of Flax/Carbon Fiber Reinforced Hybrid Composites Produced Using Two Different Production Methods, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 459-473.

\* İlgili yazar / Corresponding author: bkaracor@cu.edu.tr, +90-322-338-6084

<b>Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)</b>	<b>Makale Süreci / Article Process</b>	
B. Karacor, 0000-0001-5208-366X	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	14.06.2022
M. Ozcanli, 0000-0001-6088-2912	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	24.11.2022
	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	20.12.2022
	<b>Yayım Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

# ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES OF FLAX/CARBON FIBER REINFORCED HYBRID COMPOSITES PRODUCED USING TWO DIFFERENT PRODUCTION METHODS

Berkay KARACOR<sup>1†</sup>, Mustafa OZCANLI<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Cukurova University, Faculty of Engineering, Department of Automotive Engineering, Adana, Turkey

---

## Highlights

- The focus of this article is the hybridization of natural fibers with synthetic fibers.
- The effect of the production method on the hybridization of flax fibers with carbon fibers was observed.
- The change in sample production method had significant consequences on mechanical properties.

---

## Purpose and Scope

The aim of this study is to create hybrid composite materials with synthetic and natural fibers produced by two different production methods, which are not often compared in the literature. Thus, it will be possible to examine how the two different production methods used affect the mechanical properties.

## Design/methodology/approach

In the present study, two different production methods, hand lay-up method and vacuum bagging method, were used. Since the hand lay-up method and the vacuum bagging method were not encountered together in the studies, it was desired to examine the mechanical characteristics of produced composites with two production methods. The lower cost compared to other methods is among the reasons for the preference of these two production methods. The tensile strength, tensile modulus and microhardness properties of pure and hybrid composites formed with carbon and flax fibers were investigated. In addition, the post-fracture behavior of the samples was observed with the scanning electron microscopy method.

## Findings

In the tensile test results, it was observed that the tensile strength of the hybrid composites increased 2.05 times when the hand lay-up method was used, and 5.34 times when the vacuum bagging method was used compared to the pure linen composite. In the comparison of production methods, 1.52 times higher tensile strength value was determined in the samples produced by vacuum bagging method in hybrid composites compared to the samples produced according to the hand lay-up method. In the hardness test results, hybrid composites reach 74.67% higher hardness than pure linen composites in hand lay-up method, while hybrid composites reach 71.86% higher hardness in vacuum bagging method. In the comparison of production methods, 1.09%, 1.32% and 2.74% higher hardness values were obtained in hybrid composites, pure carbon composites and pure linen composites, respectively, compared to the hand lay-up method in the samples produced by vacuum bagging method.

## Originality

The effort to reveal a low-cost material that can be used in the automotive industry with minimal harm to the environment, without sacrificing its mechanical properties, when preferred over the traditionally used material in the research, reflects the original course.

---

<sup>†</sup> Corresponding author: bkaracor@cu.edu.tr, +90-322-338-6084

## 1. Introduction

In the last twenty years, interest in natural plant fibers has been increasing in the world. Renewability, biodegradability, and cost-effectiveness, which are not found in synthetic fibers, make natural fibers one step forward. Their lightweight, environmental cycles from the production stage to the end of life indicate that these fibers will have low pollution rates in polluting emissions and greenhouse gas emissions. It plays an important environmental role by almost neutralizing carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) with the amount of CO<sub>2</sub> that natural fibers capture in the atmosphere while growing. Moreover, in parallel with the developments in fiber harvesting and processing technology, it is expected that natural fibers will be used instead of synthetic fibers in structures that are not critical for load bearing (Chapman and Dhakal, 2019; Cheng et al., 2020; Wang et al., 2021). There are many types of natural fibers that can be used in composite materials. Flax, jute, hemp, ramie, and sisal fibers are among the most commonly used. It is linen fibers that come to the forefront in use as a reinforcing element in composites, especially due to the properties they have among other natural fibers. Flax fibers have the greatest potential to be used instead of synthetic fibers with their mechanical properties such as 12-85 GPa tensile modulus, 400-2000 MPa tensile strength, and 1-4% final strain, which can compete with glass fibers. Flax fibers have a lower cost and density than glass fibers, as well as increased stiffness and damping properties, which can be superior to glass fibers. It can be used as an important candidate material in infrastructures, the automotive industry, and consumer products instead of synthetic fibers, where cost-effective, lightness, and high stiffness properties are all gathered together. Furthermore, linen fibers are used in the production of composite materials by means of production methods such as hand lay-up, vacuum bagging process, and vacuum assisted resin transfer molding in the form of woven fabric, monofilaments, short fibers, and unidirectional linen tape forms (Ben Ameer et al., 2019; Rahman, 2021; Sarasini et al., 2016; Wang et al., 2021). However, natural fibers, including flax fibers, have high moisture absorption tendency, lower strength, and disadvantageous properties that vary according to the geographical location of the region where they are grown. Limiting their application areas, such as their use in structural components exposed to small mechanical loads, is one of the negative aspects that should be taken into account (Prakash and Maharana, 2017). Such disadvantages are also annihilated by the hybridization process. Hybrid composites are the scheme of components in which a suitable balance is achieved between the advantages and disadvantages, and the advantages of one of the components that make it up can compensate for the deficiency in the other. Thus, appropriate stability of cost and performance in material design is attained (Muralidhar, 2013; Shamsuyeva et al., 2019). Researchers have succeeded in hybridizing natural fibers with synthetic fibers such as glass and carbon, in hybrid products they created due to the high tensile stiffness and strength of carbon fibers. In addition to the high mechanical performance of carbon fiber, the different dynamic properties of flax fiber have directed the attention of researchers to this fiber combination. Linen/carbon hybrid composite products have been evaluated as environmentally friendly, although they have good mechanical performance (Assarar et al., 2015; Lee et al., 2020). In order to strengthen the positive properties found in flax fibers, synthetic materials such as carbon fibers are preferred, potentially by the hybridization process. Carbon fibers are known for their ability to absorb high energy in collision conditions, for excellent strength, and stiffness. Due to the properties, they have, carbon fiber reinforced polymer composites are preferred in sectors such as aerospace, aviation, maritime and automotive industries. However, the low viscoelastic properties, fragility, and high cost of carbon fibers may not allow the fibers to be used in all industrial composite applications (Al-Hajaj et al., 2019; Assarar et al., 2018). There are hybrid composites formed using carbon fiber and flax fibers in the literature, but there is no study in terms of the effect of hand layup and vacuum bagging method on mechanical properties in terms of production method comparison. Bahrami et al. (Bahrami et al., 2021) designed an environmentally friendly hybrid material using Poly-Butyl-Succinate materials along with carbon and flax fiber. They observed that mechanical properties were not lost in hybrid composites by replacing some carbon fiber layers with flax fibers while forming the composite material. In addition, they found that the thermal properties of the new hybrid composite structure they created by using flax fibers instead of carbon fibers did not deteriorate. In the study of Amiri et al. (Amiri et al., 2018), they produced a composite bike frame using carbon fiber and flax fiber. They discovered that the hybrid bike frame they produced offered better damping, ride quality, and was lightweight, environmentally friendly, and cost-effective compared to carbon skeleton structures. Hoekstra et al. (Hoekstra et al., 2022) examined how three different fabric orientations and two different perforation methods affect the mechanical properties of hybrid composites made of carbon and flax fibers. As a result of the cutting processes made with an abrasive water jet machine, higher damages occurred in the samples compared to the traditional drilling method. In another study using carbon and linen fibers, bending, tensile, vibration, and impact tests were applied to the hybrid composites produced. It has been observed by the mechanical and vibration test results of hybrid composites that the use of natural fibers by hybridizing with synthetic fibers in structural applications will not give rise to a problem (Flynn et al., 2016). The usage of hybrid composites produced with two different bidirectional fabrics and carbon fiber materials using the vacuum bagging method in structural applications has been investigated. It was observed that the flexural modulus of hybrid composite structures raised by 2.69-3.22 times compared to homogeneous structures, and the flexural strengths augmented by 1.39-2.1 times. In addition, it was determined that there was

an increment of 1.91-3.66 times in tensile strength in favor of hybrid composite structures (Fiore et al., 2012). Yuan et al. (Yuan et al., 2021) compared a hybrid composite structure containing three-way flax-carbon-aramid fiber and laminated carbon fiber composite structures in terms of mechanical properties. They observed that the three-way hybrid structures improved the tensile strength by 1.33 times and the tensile modulus by 1.05 times. Although they have lower results in flexural and compression strength than laminated carbon composites in three-way hybrid structures, they revealed that the use of flax fiber can reveal a low-cost and environmentally friendly potential product. It was found that the flexural mechanical properties of the hybrid composites were increased by the hybridization process of flax fibers and recycled carbon fibers compared to pure flax composites. However, it has been observed that the damping properties of hybrid composites have improved compared to homogeneous natural fiber structures, and it has been stated that these hybrid structures have the potential to be used in structures where vibration damping is important (Bachmann et al., 2018; Le Guen et al., 2016). While discussing the effect of ply blocking of carbon fibers on tensile properties in carbon/linen fiber hybrid composites, both experimentally and theoretically, they stated that in their results, not only the nonlinear response of the linen fabric but also the surface roughness of both fabrics should be taken into account (Kureemun et al., 2018). In a study of Islam et al. (Islam et al., 2021), the tensile and fatigue characteristics of intra-ply hybrid carbon/linen fabric and inter-ply hybrid carbon and flax fibers were investigated. It has been observed that the tensile characteristics of intra-ply hybrid carbon/linen fabric structures are 1.05 times better and 21 times better in fatigue life than inter-ply hybrid carbon and linen fibers. The aim of this study is to create hybrid composite materials with synthetic and natural fibers produced by two different production methods, which are not found in the literature, and to investigate how two different production methods affect the mechanical properties. In our current study, two different production methods, the hand lay-up method and the vacuum bagging method, were used and the tensile strength, tensile modulus, and microhardness properties of pure and hybrid composites formed with carbon and linen fibers were investigated. In addition, the behavior of the materials after fracture was investigated by scanning electron microscopy analysis. The outcomes of the research will lead to the emergence of a low-cost, environmentally friendly material that can be used in the automotive industry in terms of production methods and the use of natural fibers, without compromising the mechanical properties of the material it replaces.

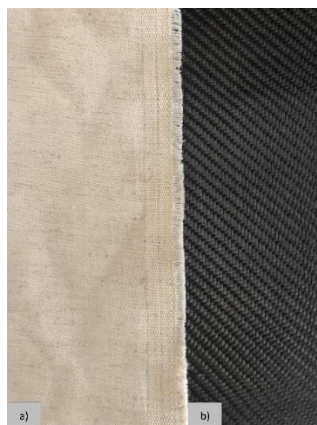
## 2. Material and Method

### 2.1. Material

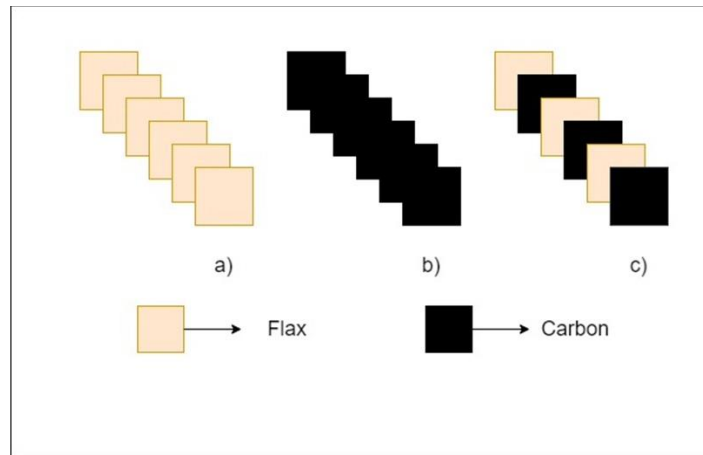
Linen fiber fabric and carbon fiber fabrics were preferred in this study. Flax plain woven texture and Carbon twill woven texture were supplied by companies in Istanbul. These weavings were used as reinforcement material. These texture features used in this work are listed in Table 1. The fabric specimens are demonstrated in Figure 1. Figure 2 indicates the stacking sequences of fabric in this work.

**Table 1.** Fabric Characteristics (Kompozitshop, 2022; Kumasci.Com, 2022)

Fabric	Weight(g/m <sup>2</sup> )	Thickness of fabric (mm)	Warp(tex)	Weft(tex)
Flax fabric	280	0.5	-	-
Carbon fabric	245	0.25	300	300



**Figure 1.** Fabric Specimens A) Flax Fabric B) Carbon Fabric



**Figure 2.** Stacking Sequences Of A) Pure Flax Fabric Composite B) Pure Carbon Fabric Composite C) Hybrid Flax/Carbon Fabric Composite

In this search, the related hardener LH160 and the epoxy resin L160 were utilized as matrix material. The related hardener and epoxy resin used in this work were supplied by Kompozitshop. The specific characteristics of the matrix group are given in Table 2. 4-part epoxy 1 part hardener as a weight ratio was determined for the mixture of epoxy resin and hardener, taking into account the values given by the manufacturer and data from previous studies.

**Table 2.** Hardener And Epoxy Features (Kompozitshop, 2022)

	LH160 Hardener	L160 Epoxy
Viscosity (mPas)	10-50	700-900
Density (g / cm <sup>3</sup> )	0.96-1.0	1.13-1.17
Actuation temperature (°C)	-	60 / +50 except heat treatment -60 / +80 by performing heat treatment
Refractor index	1.520-1.521	1.548-1.553
Mensuration circumstances	25°C	25°C

In this search, twelve composite specimens were made up of homogeneous and hybrid composite structures with two different production procedures. The pattern code names given to the specimens for the composite laminates fabricated are listed in Table 3.

**Table 3.** Naming Codes Of Produced Samples

Pattern Name	Textile variants
F	Flax fabric
C	Carbon fabric
FHL	Flax fiber fabric reinforced homogeneous composite produced with hand lay-up method
CHL	Carbon fiber fabric reinforced homogeneous composite produced with hand lay-up method
FCHL	Flax/ Carbon fiber fabric reinforced hybrid composite produced with hand lay-up method
FVABM	Flax fiber fabric reinforced homogeneous composite produced with vacuum bagging method
CVABM	Carbon fiber fabric reinforced homogeneous composite produced with vacuum bagging method
FCVABM	Flax/ Carbon fiber fabric reinforced hybrid composite produced with vacuum bagging method

After the samples were post-cured at 60°C for 1 hour in the oven, the cutting process was carried out with a cutting device in the test dimensions specified in the norms.

## 2.2. Method

### 2.2.1. Hand Lay-up Method

One of the methods used when producing the composite samples for this research is the hand layup method. The hand lay-up process is a production method that is specified to be suitable for the production of medium-sized and large pieces with low volume, where the quality of the product is highly dependent on the skills of the person making it. While this method provides minimal tooling and part costs, manual impregnation can also present problems such as resin-rich and deficient areas or voids (Campbell, 2010). For this work, firstly, the surface to be treated was cleaned with cleaners, then mold release wax was applied to the surface. Whilst the fabric layers were laid sequentially until the required thickness was obtained, the prepared resin mixture was absorbed onto the fabric surface with the help of a roller brush. When the sample thickness reached the desired level, the resin impregnation was stopped and the part was left to cure for 24 hours. After 24 hours, the sample was removed from the surface and kept in the oven at 60°C for 1 hour for post-curing.

### 2.2.2. Vacuum Bagging Method

The vacuum bagging method, also called bag molding, is a process in which the deaeration cloth and perforated release film are placed on the mold, and a vacuum is applied between the mold and the coating materials. While the sample is curing at pressure, temperature, and time, problems such as gaps that may occur in hand laying, poor resin distribution, etc. can be eliminated with this method (Lee and Suh, 2006). In this work, first, after the area to be sampled was determined with vacuum sealing tapes, mold release wax was applied to the surface. While the fabrics were laid on the surface in sequence, resin impregnation processes were carried out with a roller brush. When the desired fabric thickness level was reached, the perforated film and air-blowing cloth were laid on the fabrics in sequence. The system was closed with vacuum nylon and the excess resin was discharged from the system with a single outlet hose. The vacuum pump connected to the system was operated at a pressure of 1 bar for approximately 2 hours and then turned off. After the sample was left to cure for 24 hours in this state, it was removed from the surface and placed in the drying oven. It was kept in the oven for post curing at 60°C for 1 hour.

## 2.3. Tensile Testing

Tensile test was performed to determine the mechanical characteristics of the composite products produced within the scope of the study. Samples cut 250 mm in length, 25 mm in width, and 2.5 mm in thickness according to the ASTM D3039 norms were made ready for the tensile test (ASTM D3039/D3039-M, 2000). The tests were realized using the ALSA Hydraulic test device in KOLUMAN Automotive Industry Laboratory. The 98000 kN load cell at cross-head speed of 2 mm/min was utilized to perform tensile tests as it is indicated in Figure 3. Before starting the test, the width and depth of all test samples were measured and data were entered into the program connected to the device. As a result of the test, the tensile strength, modulus of elasticity, and strain rate values of the samples were presented by the program. In homogeneous and hybrid composite structures, 5 samples were tested in each of the FHL, CHL, FCHL, FVABM, CVABM, and FCVABM configurations, and the values related to the tensile strength of the samples were obtained by averaging the results of the 5 samples.





Figure 3. Tensile Testing Machine

## 2.4. Hardness Testing

Generally, the hardness of materials is defined as the resistance to plastic deformation. In order to determine the hardness values of the samples produced within the scope of this study, Vickers hardness tests, also known as 136-degree diamond pyramid hardness test measurement, were applied. The prepared hardness samples were 70mm in length, 70 mm in width, and 1.5 mm in thickness. The Vickers hardness value was determined by making 15 hardness measurements from different areas on each sample surface and the Vickers hardness value of the samples was recorded by taking the average of these values. While measuring the hardness of the samples, the ASTM E92-17 standard was taken as reference and the tests were carried out by applying a force value of 0.2 kgf to the material for 10 seconds using an AOB Lab product machine (ASTM E92-17, 2017).

## 2.5. Morphological Analysis

Scanning Electron Microscope (SEM) analysis was preferred as the most suitable method for examining and analyzing the surface morphology of the produced composite products. This analysis was performed using the FEI Quanta 650 Field Emission device. While the SEM device is operating at 100V-30kV acceleration voltage, it has a magnification capacity of 6-1.000.000 x. The surface conductivity of the samples was increased by the gold spraying method and the surface coating process was carried out. Additionally, for the analysis of quantitative data to see the hybridization effects, morphological analysis such as observing the fracture surface of the samples, matrix cracks in the material, fiber-matrix interactions, fiber-matrix bond separation, and fiber breakage can be carried out by SEM.

## 3. Experimental Results

### 3.1. Tensile Test Results

As given in Figure 4, the tensile strength values of the samples produced by the VABM method were found to be higher than the samples produced by the hand layup method. While FCVABM hybrid sample had a tensile strength value of 52.03% higher than FCHL hybrid sample, in homogeneous composites CVABM sample reached 23.88% higher tensile strength than CHL sample and 43.07% higher tensile strength value of FVABM sample than FHL sample. While the standard deviation ratios were %4.69, %6.58, and %16.78 for the FHL, CHL, and FCHL samples, respectively, they were calculated as %2.85, %10.28, and %15.44 for the FVABM, CVABM, and FCVABM samples. However, the hybridization of linen fabric with carbon fabric in both the vacuum bagging method and hand lay-up method significantly increased the tensile strength values of linen fabrics. In the samples created with VABM, hybrid flax/carbon samples achieved tensile strength values 5.34 times better than homogeneous flax samples, while 5.02 times better tensile strength results were obtained in hybrid flax/carbon samples created with HL method than homogeneous flax samples. Fairlie and Njuguna (Fairlie and Njuguna, 2020) investigated the effect of fabric orientation angle and fabric sequencing on the mechanical properties of carbon fiber and flax fiber. The tensile strength results (224.4 MPa) for flax/carbon hybrid samples match the present study. Hybridization of

linen fabrics to carbon fabrics provided an improvement of 1.70 to 3.52 times in hybrid composites in their study. It was stated that hybridization with carbon fabrics and linen fabrics reduced the general nonlinearity of hybrid composites and showed pseudo-ductility behavior. With the hybridization process, an increase in tensile stress of more than 5 times was found in the hybrid flax/carbon composite samples compared to the pure flax composite samples(Wang et al., 2020).

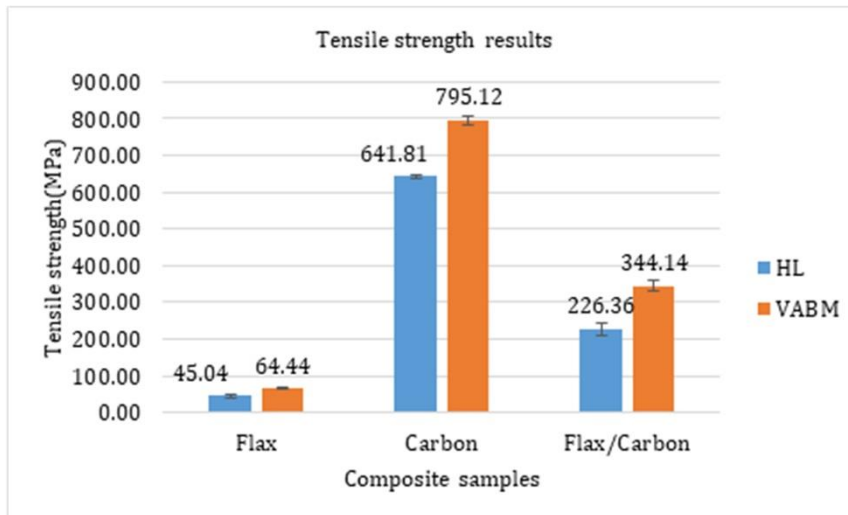


Figure 4. Tensile Strength Results Of Samples

The elastic modulus results of samples are illustrated in Figure 5. The elastic modulus value was 1.47 times higher in the hybrid samples produced with VABM compared to the hybrid samples produced by the HL method. Whilst this ratio is 1.09 times in favor of CVABM sample between CVABM and CHL samples, it is 1.94 times in favor of FVABM between FVABM and FCL samples. According to values about elastic modulus, the standard deviation ratios were %28.18, %20.20, and %18.40 for the FHL, CHL, and FCHL samples, respectively, they were calculated as %23.40, %11.04, and %28.60 for the FVABM, CVABM, and FVABM samples. In hybrid linen/carbon composites, it was found that the production with VABM increased the elastic modulus by 3.36 times compared to pure linen composites, and the use of the HL method increased the elastic modulus by 4.44 times in the samples. In the study of Fehri et al., Young's modulus of hybrid samples increased between 5.92 and 7.27 times compared to pure linen samples. They stated that the way to improve the elastic modulus can be by changing the order of carbon and linen fabrics, but the real improvement is with the surface layers(Fehri et al., 2017). Fairlie and Njuguna(Fairlie and Njuguna, 2020) stated that the increase in carbon fiber content in hybrid composites has an improving effect on the elastic modulus since flax fibers have the lowest Young's modulus. It has been shown in the results of the study that the composite becomes stronger in the ratio of the closeness of the carbon fiber layers to each other.

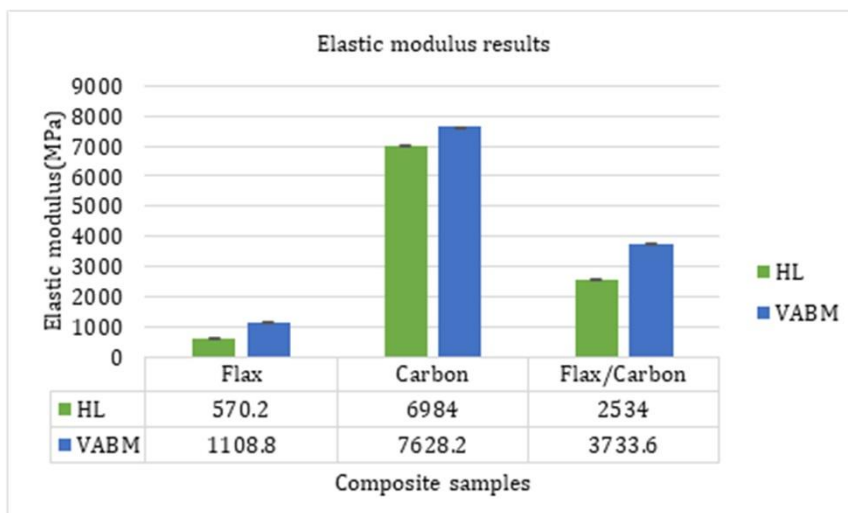


Figure 5. Elastic Modulus Results Of Samples

According to the elongation rate results of the samples given in Figure 6, the highest elongation rate was observed in the pure linen sample produced by the vacuum bagging method. Pure linen composites showed the most ductile behavior in both production methods. This was also the case in the study in which the composite samples formed by changing the order of the carbon and flax fibers were examined. While the difference between hybrid composite samples in different sequences was about 10% in their (Fehri et al., 2017) study, the difference between FCVABM and FCHL was 11.66% in the current study. The difference between FCL and FVABM samples is 2.5 times in favor of the FVABM sample, while the difference between CVABM and CHL samples is 1.13 times in favor of the CVABM sample. In percent elongation ratios, the standard deviation rates for the FHL, CHL, and FCHL samples were 0.33%, 0.66%, and 0.63%, respectively, while 1.12%, 2.01%, and 0.52% for FVABM, CVABM, and FCVABM.

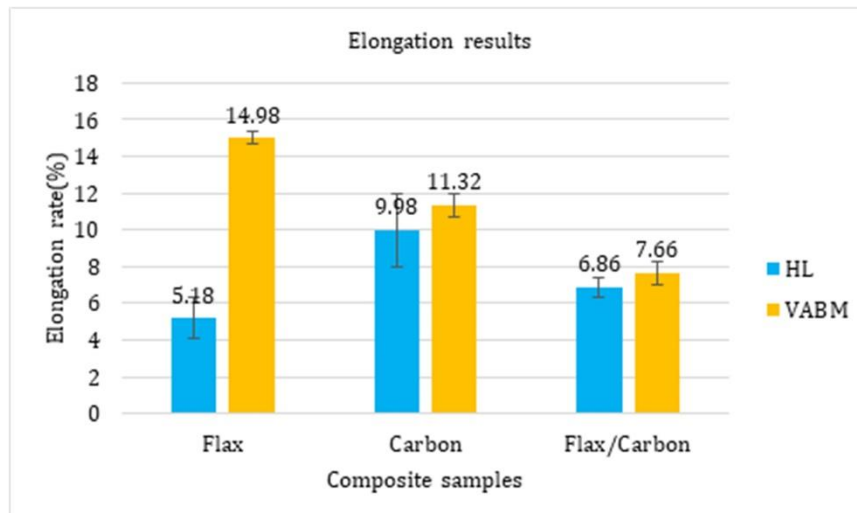


Figure 6. Elongation Rate Results Of Samples

### 3.2. Hardness Test Results

Figure 7 demonstrates the Vickers hardness test results of this work. In the evaluation of microhardness test results, the Vickers hardness values of the samples produced by the hand lay-up method and the vacuum bagging method were close to each other. Vickers hardness value of FCVABM sample was 1.09% higher than the hardness value of FCHL sample in hybrid composite samples. While this ratio was in favor of 1.32% CVABM sample in homogeneous carbon composites, it was also in favor of FVABM at a rate of 2.74% in homogeneous linen composites. In the vacuum bagging method, problems such as the resin not being well distributed in all regions and the formation of voids, which occur in the hand lay-up method, have been eliminated, and this has affected the hardness values that occur against deformation on the material surface. The hybridization process of linen fiber fabrics with carbon fiber fabrics increased the Vickers hardness value by 1.75 times in samples produced by hand lay-up. In hybrid linen/carbon samples produced by vacuum bagging method, the Vickers hardness value increased by 1.72 times compared to homogeneous linen fabric composites. The fact that these increase rates are close in the comparison of hybrid and homogeneous composites reveals that both production methods have the potential to be used for these materials. In studies with carbon/flax composite samples, the angled arrangement of the flax fibers ensured that the force applied by the penetrating tip was distributed equally in all directions. It is stated that this situation is caused by the network structure formed by flax fibers and this network structure increases the hardness value (Al-Hajaj et al., 2018).

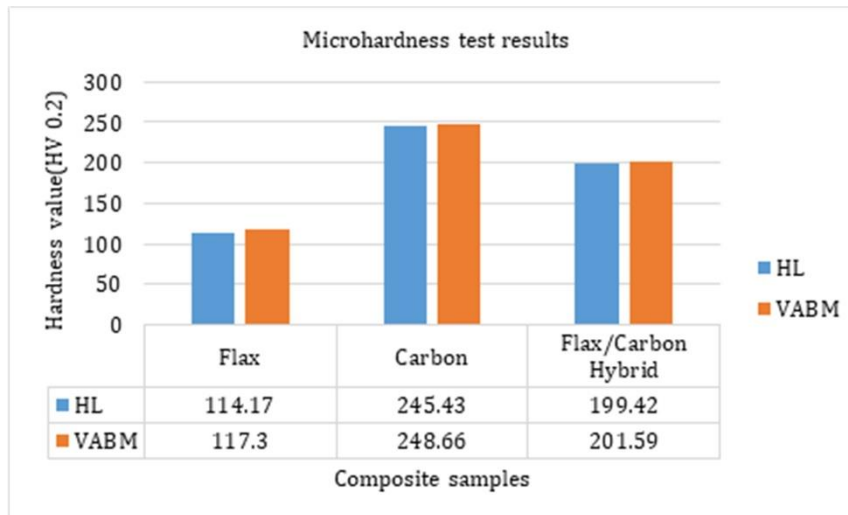


Figure 7. Vickers Hardness Test Results

### 3.3. SEM Analysis Results

According to SEM analysis results, there were more bubbles and hollow structures in samples produced with the hand lay-up process than samples produced with the VARTM process as seen in Figures 8 to 13. When the FHL sample in Figure 8 is examined, breaks and sudden breaks of the flax fibers were observed, while homogeneous breaks were detected in the fibers in the CHL sample in Figure 9. It was observed in the study of Dhakal et al. (Dhakal et al., 2013) that these fiber breakages and ruptures were observed even though the woven structure of flax fibers was different. In their study, they found that when cross ply flax and unidirectional flax were hybridized with carbon fiber, brittle fiber breakage occurred. They found that fiber shrinkage was seen in both structures hybridized with carbon fiber, even though two different flax structures were used. On the other hand, in the FCHL sample in Figure 10, no bubbles were found with less void structure compared to homogeneous linen and homogeneous carbon composite structures. It has been stated in the study that the resin does not have sufficient settling time during infusion between the fibers in natural fibers and a rapid curing process will create a void in the composite structure. This situation is of critical importance, especially since it is a situation arising from the natural structure of natural fibers (Kureemun et al., 2018).

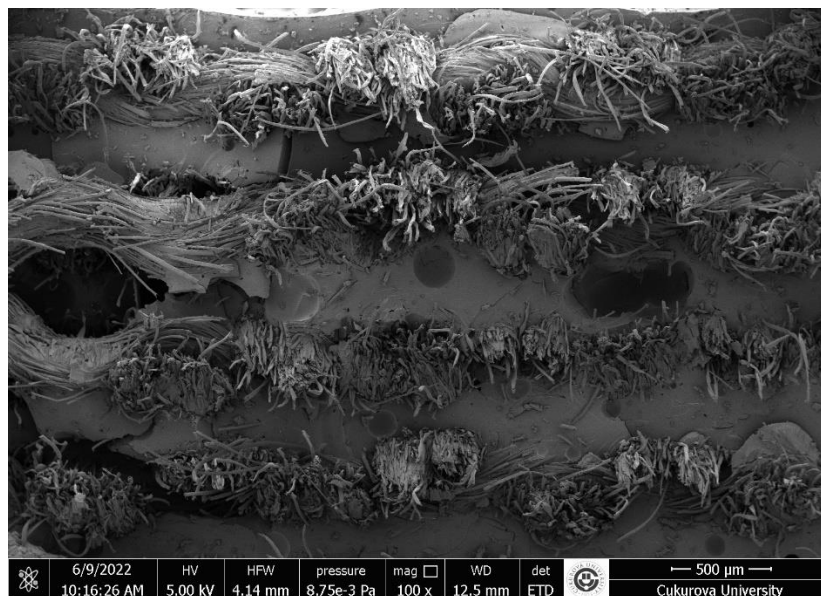
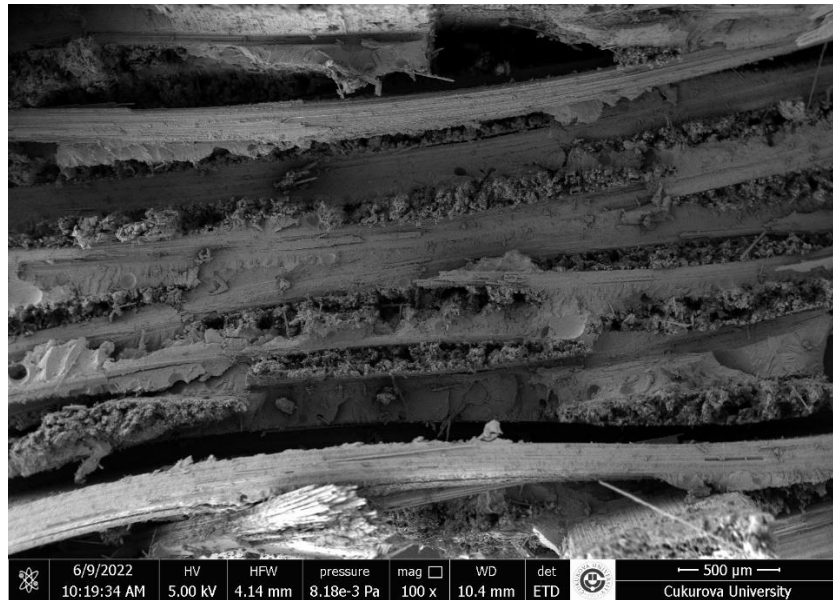
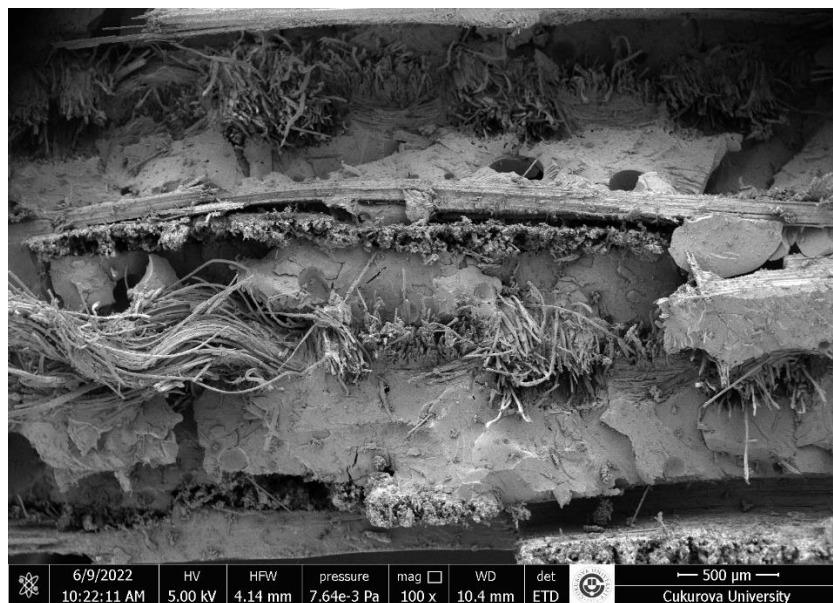


Figure 8. After The Tensile Test SEM Image Of FHL Sample

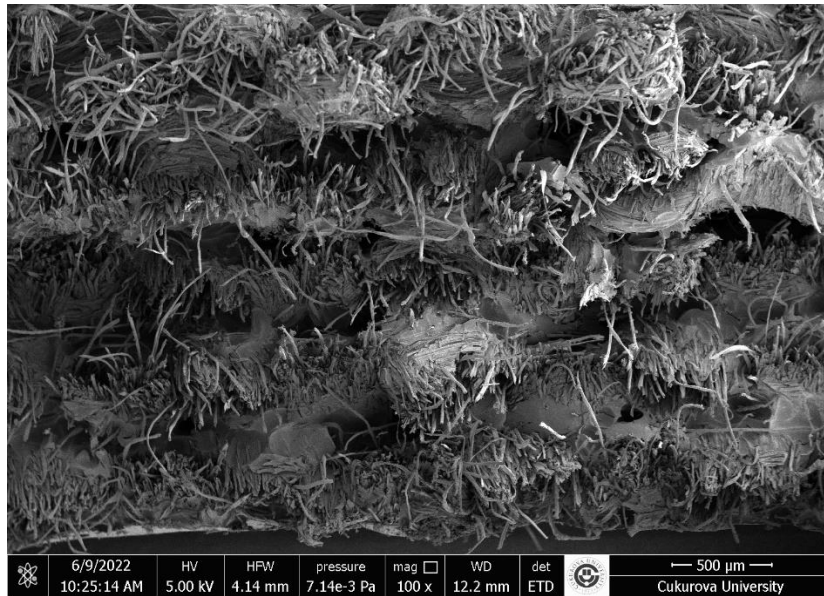


**Figure 9.** After The Tensile Test SEM Image Of CHL Sample

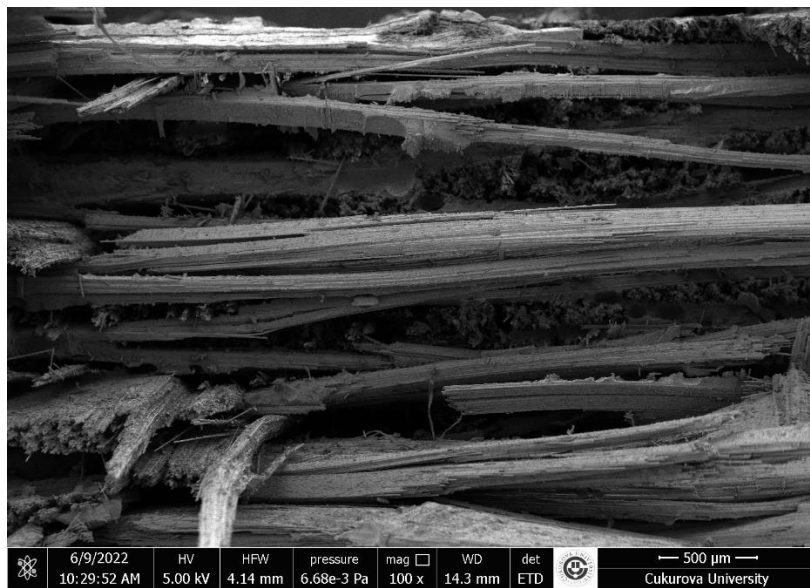


**Figure 10.** After The Tensile Test SEM Image Of FCHL Sample

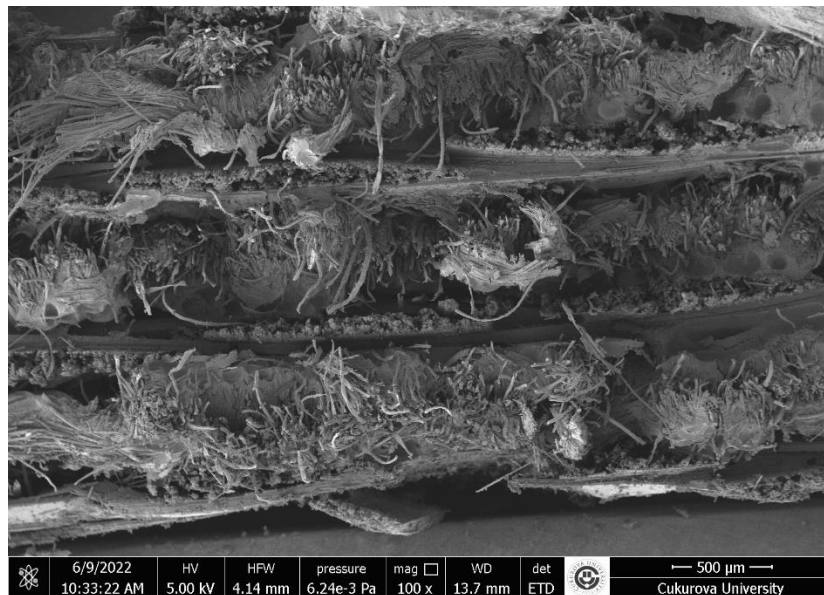
In comparison to Figure 8, the morphological structure of FVABM sample in Figure 11 has fewer hollow structures. Moreover, while it has been determined that the epoxy resin has a more intense structure in the products made with the hand layup method, the vacuum removal of the excess resin in the production with the VARTM method is another difference in the morphological structures of the FVABM and FHL samples. In the CVABM sample in Figure 12, carbon fibers were found to break into bundles, while the epoxy fiber adhesion was better compared to the sample in Figure 11. In the FVABM structure in Figure 13, fiber shrinkage and elongation are observed in flax fibers, while homogeneous ruptures are observed in carbon fibers. Whilst separations between fiber and matrix are observed in the FCHL sample in Figure 10, these damages are less common in the FVABM sample in Figure 13. In the study conducted by Dhakal and Sain (Hom Nath Dhakal and Sain, 2020), it was stated that in this case, fiber entanglement was observed in the morphological examination of flax fibers, as in the current study, causing fiber buckling and the damages started from this point. It was stated that carbon fibers also fracture perpendicular to the applied load, and carbon fiber failure and rupture is the main factor causing damage to carbon fiber composites. It has been determined that this situation is seen in CHL, CVABM, FCHL, and FVABM samples using carbon fiber.



**Figure 11.** After The Tensile Test SEM Image Of FVABM Sample



**Figure 12.** After The Tensile Test SEM Image Of CVABM Sample



**Figure 13.** After The Tensile Test SEM Image Of FCVABM Sample

#### 4. Result and Discussion

In this study, linen and carbon fabrics were preferred as reinforcement elements, while the vacuum bagging and hand lay-up methods were used as production methods. The effect of these two different production methods on the mechanical properties of the homogeneous and hybrid composites produced is the highlight of the study. While the high cost of carbon fibers is eliminated by the hybridization process with flax fibers, an attempt was made to achieve a balance between cost, performance, and sustainability with an appropriate composite design by using two production methods. The microhardness value (201.59Hv) of the samples produced by the vacuum bagging method is close to the hardness value (199.42 Hv) of the samples produced by the hand lay-up method. However, in the tensile test results, it is observed that the production of the samples by vacuum bagging method provides a tensile strength value 1.52 times better than the production made by hand lay-up, and this is also observed with the morphological structures after the tensile test. Considering the number and design of the parts to be produced, it is thought that both production methods can be used in the automotive field and the most effective material can be found by choosing among different natural fiber/synthetic fiber combinations in further studies according to the cost-performance balance.

#### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

#### References

- Al-Hajaj, Z., Sy, B. L., Bougherara, H., and Zdero, R., 2019. Impact Properties of a New Hybrid Composite Material Made from Woven Carbon Fibres plus Flax Fibres in an Epoxy Matrix. *Composite Structures*, 208(October 2018),346–356.
- Al-Hajaj, Z., Zdero, R., and Bougherara, H., 2018. Mechanical, Morphological, and Water Absorption Properties of a New Hybrid Composite Material Made from 4 Harness Satin Woven Carbon Fibres and Flax Fibres in an Epoxy Matrix. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 115(March),46–56.
- Amiri, A., Krosbakken, T., Schoen, W., Theisen, D., and Ulven, C. A., 2018. Design and Manufacturing of a Hybrid Flax/Carbon Fiber Composite Bicycle Frame. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 232(1),28–38.
- Assarar, M., Zouari, W., Ayad, R., Kebir, H., and Berthelot, J.-M., 2018. Improving the Damping Properties of Carbon Fibre Reinforced Composites by Interleaving Flax and Viscoelastic Layers. *Composites Part B: Engineering*, 152(July),248–255.
- Assarar, M., Zouari, W., Sabhi, H., Ayad, R., and Berthelot, J.-M., 2015. Evaluation of the Damping of Hybrid Carbon–Flax Reinforced Composites. *Composite Structures*, 132,148–154.
- ASTM D3039/D3039-M, 2000. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Material. West Conshohocken, United States.
- ASTM E92-17, 2017. Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials. West Conshohocken, United States.
- Bachmann, J., Wiedemann, M., and Wierach, P., 2018. Flexural Mechanical Properties of Hybrid Epoxy Composites Reinforced with Nonwoven Made of Flax Fibres and Recycled Carbon Fibres. *Aerospace*, 5(4),107.
- Bahrami, M., Enciso, B., Gaifami, C. M., Abenojar, J., and Martinez, M. A., 2021. Characterization of Hybrid Biocomposite Poly-Butyl-Succinate/Carbon Fibers/Flax Fibers. *Composites Part B: Engineering*, 221,109033.
- Ben Ameer, M., El Mahi, A., Rebiere, J.-L., Gimenez, I., Beyaoui, M., Abdennadher, M., and Haddar, M., 2019. Investigation and Identification of Damage Mechanisms of Unidirectional Carbon/Flax Hybrid Composites Using Acoustic Emission. *Engineering Fracture Mechanics*, 216(June),106511.
- Campbell, F. C., 2010. *Structural Composite Materials Geostatistics*. ASM International.
- Chapman, M., and Dhakal, H. N., 2019. Effects of Hybridisation on the Low Velocity Falling Weight Impact and Flexural Properties of Flax-Carbon/Epoxy Hybrid Composites. *Fibers*, 7(11),95.
- Cheng, M., Zhong, Y., Kureemun, U., Cao, D., Hu, H., Lee, H. P., and Li, S., 2020. Environmental Durability of Carbon/Flax Fiber Hybrid Composites. *Composite Structures*, 234(November 2019),111719.
- Dhakal, H. N., Zhang, Z. Y., Guthrie, R., MacMullen, J., and Bennett, N., 2013. Development of Flax/Carbon Fibre Hybrid Composites for Enhanced Properties. *Carbohydrate Polymers*, 96(1),1–8.
- Dhakal, Hom Nath, and Sain, M., 2020. Enhancement of Mechanical Properties of Flax-Epoxy Composite with Carbon Fibre Hybridisation for Lightweight Applications. *Materials*, 13(1),109.
- Fairlie, G., and Njuguna, J., 2020. Damping Properties of Flax / Carbon Hybrid. *Fibers*, 8(10),64.
- Fehri, M., Ragueh, R. R., Vivet, A., Dammak, F., and Haddar, M., 2017. Improvement of Natural Fiber Composite Materials by Carbon Fibers. *Journal of Renewable Materials*, 5(1),38–47.
- Fiore, V., Valenza, A., and Di Bella, G., 2012. Mechanical Behavior of Carbon/Flax Hybrid Composites for Structural Applications. *Journal of Composite Materials*, 46(17),2089–2096.
- Flynn, J., Amiri, A., and Ulven, C., 2016. Hybridized Carbon and Flax Fiber Composites for Tailored Performance. *Materials and Design*, 102,21–29.
- Hoekstra, B., Shekarian, A., Kolasangiani, K., Oguamanam, D. C. D., Zitoune, R., and Bougherara, H., 2022. Effect of Machining Processes on the Damage Response and Surface Quality of Open Hole Hybrid Carbon/Flax Composites: An Experimental Study. *Composite Structures*, 285(September 2021),115244.

- Islam, M. Z., Amiri, A., and Ulven, C. A., 2021. Fatigue Behavior Comparison of Inter-Ply and Intra-Ply Hybrid Flax-Carbon Fiber Reinforced Polymer Matrix Composites. *Journal of Composites Science*, 5(7),184.
- Kompozitshop, 2022. Epoxy and Hardener. Retrieved from <https://www.kompozitshop.com/epoksi-recine-ve-sertlestirici>.
- Kompozitshop, 2022. Technical Properties of 245 3k Twill Carbon Fiber. Retrieved from <https://www.kompozitshop.com/karbon-fiber-kumas-245-grm2-3k-twill>.
- Kumasci.com, 2022. Technical Properties of Flax. Retrieved from <https://www.kumasci.com/urun/ham-keten-naturel-kumas/7372>.
- Kureemun, U., Haris, A., Teo, W. S., Tran, L. Q. N., and Lee, H. P., 2018. Influence of Ply Blocking on Tensile Stiffness in Woven Flax-Carbon Hybrids. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 37(9),583-591.
- Kureemun, Umeyr, Ravandi, M., Tran, L. Q. N., Teo, W. S., Tay, T. E., and Lee, H. P., 2018. Effects of Hybridization and Hybrid Fibre Dispersion on the Mechanical Properties of Woven Flax-Carbon Epoxy at Low Carbon Fibre Volume Fractions. *Composites Part B: Engineering*, 134,28-38.
- Le Guen, M. J., Newman, R. H., Fernyhough, A., Emms, G. W., and Staiger, M. P., 2016. The Damping-Modulus Relationship in Flax-Carbon Fibre Hybrid Composites. *Composites Part B: Engineering*, 89,27-33.
- Lee, D. G., and Suh, N. P., 2006. *Axiomatic Design and Fabrication of Composite Structures: Applications in Robots, Machine Tools, and Automobiles*. OXFORD university press.
- Lee, H. P., Kureemun, U., Ravandi, M., and Teo, W. S., 2020. Performance of Interlaminar Flax-Carbon Hybrids under Bending. *Procedia Manufacturing*, 43,658-665.
- Muralidhar, B. A., 2013. Study of Flax Hybrid Preforms Reinforced Epoxy Composites. *Materials & Design (1980-2015)*, 52,835-840.
- Prakash, R. V., and Maharana, M., 2017. Damage Detection Using Infrared Thermography in a Carbon-Flax Fiber Hybrid Composite. *Procedia Structural Integrity*, 7,283-290.
- Rahman, M. Z., 2021. Mechanical and Damping Performances of Flax Fibre Composites – A Review. *Composites Part C: Open Access*, 4,100081.
- Sarasini, F., Tirillò, J., D’Altia, S., Valente, T., Santulli, C., Touchard, F., Chocinski-Arnault, L., Mellier, D., Lampani, L., Gaudenzi, P., 2016. Damage Tolerance of Carbon/Flax Hybrid Composites Subjected to Low Velocity Impact. *Composites Part B: Engineering*, 91,144-153.
- Shamsuyeva, M., Hansen, O., and Endres, H.-J., 2019. Review on Hybrid Carbon/Flax Composites and Their Properties. *International Journal of Polymer Science*, 2019,1-17.
- Wang, A., Wang, X., and Xian, G., 2020. Mechanical, Low-Velocity Impact, and Hydrothermal Aging Properties of Flax/Carbon Hybrid Composite Plates. *Polymer Testing*, 90(February),106759.
- Wang, A., Wang, X., and Xian, G., 2021. The Influence of Stacking Sequence on the Low-Velocity Impact Response and Damping Behavior of Carbon and Flax Fabric Reinforced Hybrid Composites. *Polymer Testing*, 104,107384.
- Wang, Y., Zhu, W., Wan, B., Meng, Z., and Han, B., 2021. Hygrothermal Ageing Behavior and Mechanism of Carbon Nanofibers Modified Flax Fiber-Reinforced Epoxy Laminates. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 140(June 2020),106142.
- Yuan, W., Li, Y., and Zhao, J., 2021. Mechanical Properties of a Novel Tri-Directional Carbon-Flax-Aramid Fiber Reinforced Composite. *Composites Science and Technology*, 213(April),108923.





## AUTOMATIC BELT CARDIOPULMONARY RESUSCITATION (CPR) DEVICE AND TEST SYSTEM DESIGN

Ahmet Reşit KAVSAOĞLU<sup>1\*</sup>, Mehmet Ali TAMOKUR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Biomedical Engineering, Karabük, Turkey

<sup>2</sup> Ondokuz Mayıs University, Yeşilyurt Vocational School, Biomedical Device Technology, Samsun, Turkey

### Keywords

CPR,  
Heart Massage,  
Test Simulator.

### Abstract

The test system was created by adding flex and force sensors to this manikin to evaluate the results of heart massage applied on an artificial adult manikin, which has a spring that can give the chest stiffness of an adult human. This test system monitors and analyzes cardiopulmonary resuscitation (CPR) applications performed by the automated CPR device or manually by the person. The signals received from the sensor are transferred to the computer via the serial port with the Arduino Uno card and displayed in real-time in MATLAB graphical user interface (GUI). This GUI, designed with Matlab 2021a software, analyzes the sensor signals resulting from CPR. It gives a graph of the repeats of compression per minute, the depth of each compression, and the compressions rate variable performed by the user or the automatic CPR device during the CPR application. This created test system can evaluate the accuracy of both the automatic CPR device performed in this study and the manual CPR application. The test system designed in this respect can be used in the training and evaluation of cardiac massage applications, which is included in the first aid courses in secondary education, associate degree, undergraduate, and vocational education courses.

## OTOMATİK KEMERLİ KARDİYOPULMONER RESİSÜTASYON (KPR) CİHAZI VE TEST SİSTEMİ TASARIMI

### Anahtar Kelimeler

KPR,  
Kalp Masajı,  
Test Simülatörü.

### Öz

Test sistemi, yetişkin bir insanın göğüs sertliğini verebilecek bir yaya sahip yapay bir yetişkin manken üzerinde uygulanan kalp masajının sonuçlarını değerlendirmek için bu mankene esneklik ve kuvvet sensörleri eklenerek oluşturulmuştur. Bu test sistemi, otomatik kardiyopulmoner resisütasyon (KPR) cihazı tarafından veya kişi tarafından manuel olarak gerçekleştirilen KPR uygulamalarını izler ve analiz eder. Sensörlerden alınan sinyaller Arduino Uno kartı ile seri port üzerinden bilgisayara aktarılır ve MATLAB grafiksel kullanıcı arabirim (GUI) tasarımında gerçek zamanlı olarak görüntülenir. Matlab 2021a yazılımı ile tasarlanan bu GUI, KPR sonucunda sensör sinyallerini analiz eder, dakikadaki basınç sayısı, sıkıştırma derinliği değerlerinin gerçek zamanlı izlenmesini sağlar. Ayrıca bu arayüz KPR uygulaması sırasında kullanıcı veya otomatik KPR cihazı tarafından gerçekleştirilen sıkıştırma hızı değişiminin bir grafiğini verir. Oluşturulan bu test sistemi, hem bu çalışmada gerçekleştirilen otomatik KPR cihazının hem de manuel KPR uygulamasının doğruluğunu değerlendirebilir. Bu yönüyle tasarlanan test sistemi ortaöğretim, önlisans, lisans ve mesleki eğitim kurslarında ilk yardım dersleri içerisinde yer alan kalp masajı uygulamalarının eğitiminde ve değerlendirilmesinde kullanılabilir.

### Alıntı / Cite

Kavsaoğlu, A.R., Tamokur, M.A., (2023). Automatic Belt Cardiopulmonary Resuscitation (CPR) Device and Test System Design, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(2), 474-485.

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

A.R. Kavsaoğlu, 0000-0002-4380-9075  
M.A. Tamokur, 0000-0003-1488-5797

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	31.08.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	21.11.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	22.12.2022
Yayın Tarihi / Published Date	28.06.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: kavsaoglu@karabuk.edu.tr, +90-370-418-7046

## AUTOMATIC BELT CARDIOPULMONARY RECISUTATION (CPR) DEVICE AND TEST SYSTEM DESIGN

Ahmet Reşit KAVSAOĞLU <sup>1†</sup>, Mehmet Ali TAMOKUR <sup>2</sup>

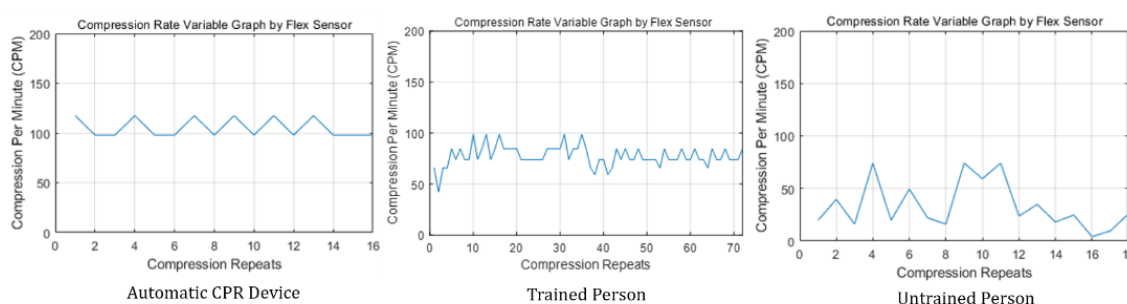
<sup>1</sup> Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Biomedical Engineering, Karabuk, Turkey

<sup>2</sup> Ondokuz Mayıs University, Yeşilyurt Demir Celik Vocational School, Department of Electronics and Automation, Biomedical Device Technology Program, Samsun, Turkey

### Highlights

- An automatic CPR device and a test system that evaluates the accuracy of CPR are designed.
- Effectively, 100 to 110 CPM and a depth of 5 cm per compression were achieved.
- The sensitivity of the heart massage performed by the people can be monitored and recorded.
- This study reveals the importance of automatic CPR devices in CPR practice.

### Graphical Abstract



**Figure.** Comparison Of Compression Rate Variable Graphs For Three Different Applications.

### Purpose and Scope

This study aims to design an automated CPR device and to perform a test system that evaluates the accuracy of both this automated CPR device and manual CPR applications.

### Design/methodology/approach

In this study, a mechanical CPR device that can operate for about 45 minutes with a capacity of 14.8V and 10400mAh has been carried out. The Arduino Mega2560 card with an ATmega2560 processor operated and controlled the designed automatic CPR device. This system contains a piston system that converts circular motion to horizontal motion and a DC motor. The motor with a power of 140 W can efficiently perform heart massage with force increased significantly with a 1/3 reducer. Also, a test system has been created to check its accuracy during the operation of the automatic CPR device. This test system was carried out by placing two types of sensors, flex and force, to detect the compression depth and applied force, designed to simulate the chest stiffness of an adult individual with a spring. With this test system's graphical user interface (GUI), information such as compression force of piston movements, depth, and variable rate graph can be displayed. This GUI, designed with Matlab 2021a software, analyzes the sensor signals resulting from CPR.

### Findings

The developed automatic CPR device is both portable and easy to use. In addition, with the designed test system, it was observed that automatic CPR works efficiently at 100 to 110 CPM per compression and at a depth of 5 cm. According to the experimental application data obtained from the test system, it is seen that the compression rate variable graphs of the data obtained from the automatic CPR device are stable.

### Social Implications

The test system designed in this study can be used in the training and evaluation of cardiac massage applications in first aid training courses in secondary education, associate degree, undergraduate and vocational education.

### Originality

This work is the only test system that simultaneously provides compression depth, compression force, and CPM information. It is shown that a meaningful way to analyze the accuracy of CPR applications is the compression rate variable graph. In this way, the importance of automatic CPR devices in saving a life has been revealed.

<sup>†</sup> Corresponding author: kavsaoglu@karabuk.edu.tr, +90-370-418-7046

## 1. Introduction

A Chest compression method (heart massage) is a first aid method used in cases such as cardiac arrest to bring the person back to life and ensure oxygen delivery to the brain by providing blood circulation. With this method, a person whose blood circulation has stopped is interfered with externally using supporting devices or manpower. For the heart massage to be performed effectively, it is necessary to apply force to the middle part of the sternum about 100 times a minute and at a depth of 50 mm. Damage to the brain when blood circulation is not provided by this method of application has been revealed in studies (Matheny et al., 1982; Yeong-Tak et al., 2011).

The application, called cardiopulmonary resuscitation (CPR) in the literature, is a set of methods used in emergency cases such as sudden cardiac arrest and respiratory arrest. It is also known as cardiac massage and artificial respiration. It is a well-known fact that 7% of patients can return to life without problems if CPR is performed in the first four minutes at the latest in cases such as cardiac arrest or inability to breathe as a result of a heart attack. No brain damage occurs in the first four minutes. If CPR is started during this time, there is a chance to save the patient without damaging the brain. But between four to ten minutes, brain damage begins. After ten minutes, permanent damage to the brain starts to occur. For this reason, CPR is a first aid method that should be applied as soon as possible (Polat, 2022).

Incomplete and short applications cannot be effective because the heart massage performed with human power is irregular and insufficient (Steen et al., 2002; Rubertsson et al., 2005). That is why automatic heart massage devices are of vital importance. Automatic heart massage devices used today are divided into two classes reciprocating and banded (Remino et al., 2018). In devices using a band system, the chest is wrapped with a band that can be stretched and compressed. This band is attached to a backboard the size of the patient's back on which the patient is laid. By moving it in the opposite direction with two direct current (DC) controlled motors located in the backboard, it is ensured that the tape is stretched and, as a result, the chest is compressed. All electronic and mechanical systems, such as the control motor and the control board, the tensioning equipment connected to the motor, and the battery, are located on the tread board (Ikeno et al., 2003). The second system performs heart massage with the help of a piston. In order for the device to stand in the air, it is attached to the board, which is placed on the patient's back with the help of a support arm from the sides and has the task of holding the arms. There are devices that are attached to the patient with a belt instead of a support arm or supported with a single arm. The device has a piston that moves up and down, a DC motor that provides movement, a battery, and control cards that move up and down. Unlike the tape system, these devices do not have any electronic and mechanical systems on the tread board. When the engine starts to rotate, the movement is transferred by a belt to the gear that rotates a long shaft. When the shaft starts to rotate, it pushes the pipe that grasps the outer part forward or backward thanks to the teeth on it, turning the circular motion into linear motion. Thanks to the control card and the buttons located on the device, intermittent CPR applications can be changed so that there are two artificial breaths per 30 heart massages so that continuous CPR or artificial respiration can be performed on the device (Remino et al., 2018; Carl et al., 1985).

The importance of heart massage and test systems in sudden cardiac arrest has been emphasized in many studies. Some of these can be summarized as follows:

A study using the CPREzy brand CPR test device emphasized the difficulty of applying CPR and that people reached less depth of compression as the application time progressed (Noordergraaf et al., 2006). In another study conducted to ensure that the CPR application is performed effectively and accurately, the CPREzy brand CPR test device was used again. This study investigated whether the test device creates extra work in regular heart massage applications (Berkom et al., 2008). In a study conducted in 2011, cardiac massage performed without feedback and using the PocketCPR brand CPR test device was evaluated. As a result of this evaluation, it has been revealed that CPR using a test device is of higher quality (Pozner et al., 2011). In a study by Majer et al., they used a TrueCPR brand test device on the CPR test system. In this study conducted with intern doctors, the compression frequency and depth information were compared to the CPR application without using the device. The comparison concluded that the compression depth and frequency were more accurate when the CPR test device was used (Majer et al., 2019). In the study of İnal et al., to determine the validity and accuracy of the CPR, feedback was given to the Expert Trainer on whether an ideal massage was performed with an Artificial Intelligence (AI) classifier based on the data collected from the sensors placed on the manikin (İnal et al., 2021). In their study, Araç et al. stated that approximately 20% of all deaths are caused by cardiac arrest, and it is necessary to establish recording systems and standardization to increase the quality of CPR (Araç et al., 2021).

This study aims to design an automatic CPR device and implement a test system that evaluates the accuracy of both this automatic CPR device and manual CPR applications. For the aim of this study, a mechanical CPR device that performs heart massage with the help of the piston, whose system block diagram is shown in Figure 1, and a

test system were developed. The test system displays and analyzes the signals coming from the sensors with the MATLAB GUI interface. In addition, the test system was used to obtain the compression depth, compressions per minute, and compression rate variable graph. Force and flex sensor circuits were placed on the manikin to get these values. The automatic CPR device consists of a microcontroller, a motor driver, a DC Motor, a reducer, a control panel for user communication, a piston system, and a battery.

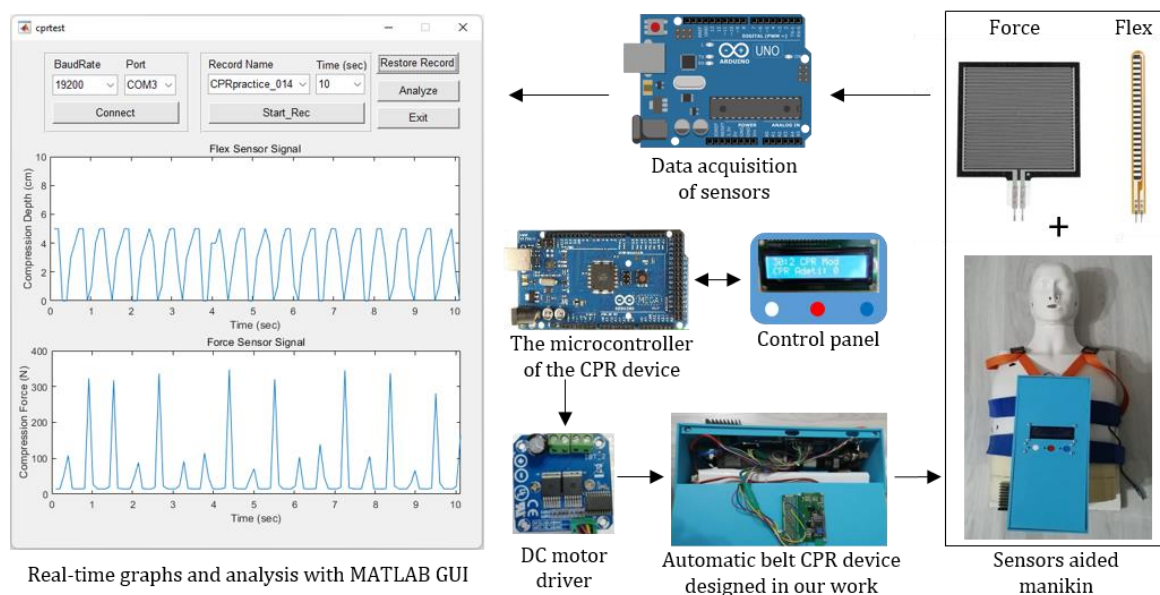


Figure 1. Block Diagram Of The Study

## 2. Material and Method

### 2.1. Automatic CPR Device Design

CPR devices should be mobile (portable) devices because should use them in emergencies such as cardiac arrest. For this reason, there should be a quick, convenient and easy control system for the user, a compact and long-term battery system with as small dimensions as possible, and an easy-to-carry and uncomplicated way of use. The device designed in this study is connected to the patient with a belt (Figure 2), providing significant advantages both by reducing the total carrying weight, taking up less space and by convenient installation.

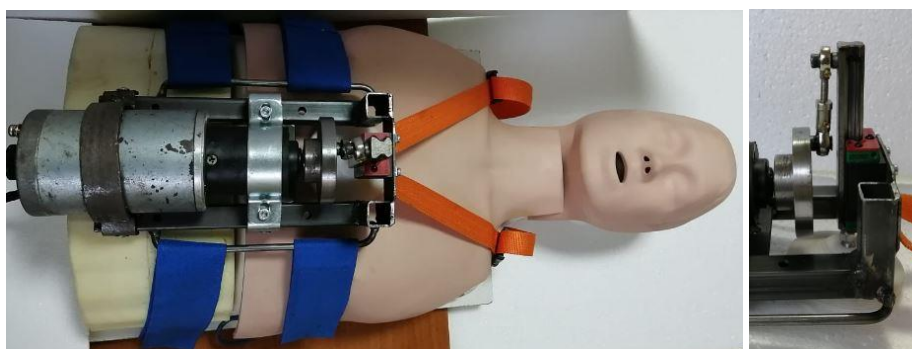


Figure 2. Designed Automatic CPR Device And Piston System

The motor to be used in the automatic CPR device should be easy to control and have high performance. DC-powered motors can be controlled more easily than alternating current (AC) powered motors (Çolak et al., 2005). Since the batteries used in portable systems are DC, a DC motor with a 12 V reducer is preferred in the device motor. The motor with a power of 140 W can efficiently perform heart massage with force increased by three times with a 1/3 reducer. The circular motion received from the motor moves down and up, and for the heart massage to be performed, it must be translated into linear motion. This motion transformation is provided by the eccentric transfer method in the device (Figure 2). In the system, a 68 mm thick and 11 mm thick circular iron piece is attached and centered on the clay when the motor is removed from the reducer. A 10 mm diameter pin is inserted 25 mm out of the center of this part and at one point. When the distance of 25 mm up and down is added up, the length of the movement is precisely 50 mm. If it is a rail track moving down and up, there is the same pin on the circular path. To these two pins, the movable part with mobility of 360° of the region to which the pin is attached

is connected. This way, the piston moves down and up if the engine runs right or left in both directions.

For the operation and control of the designed automatic CPR device, the Arduino Mega2560 card with an ATmega2560 processor and an operating frequency of 16 MHz was used (Figure 3). The user can quickly start, stop and change the mode of operation of the device with three buttons. There are two different modes on the device. The first is continuous CPR, that is, the mode that continues the heart massage process until it is stopped by the user when the device is started. The second is the 30:2 mode. The number of CPR performed in this mode is counted. When the number reaches 30, the automatic CPR device stops the heart massage for a while. This period is for the patient to be given external air twice. The automatic CPR device only performs CPR. The designed system does not control the patient's respiratory status or heartbeat status during CPR. The user can see which mode he is in and the number of CPR and exhalation warning information in the second mode from a liquid-crystal display (LCD) screen with a 2x16 pixel used. The motor control is provided by the IBT\_2 H bridge DC motor driver controlled by the Arduino Mega2560 board (Figure 3).



**Figure 3.** Arduiniomega, LCD Display, And Images İn Both Modes, IBT\_2 Driver

CPR is performed for about 45 minutes (Ikram et al., 2008). The application may be terminated early if the patient is brought back to life earlier. A total of 16 3.7V 2600 mAh Sony Vtc5 lithium-ion batteries were used in the operation of the device, four of which were parallel to each other and connected in series with each other in these similar groups. These rechargeable batteries can output a current of up to 30 amperes. With a total capacity of 14.8V and 10400mAh, it allows you to use the device for a long time.

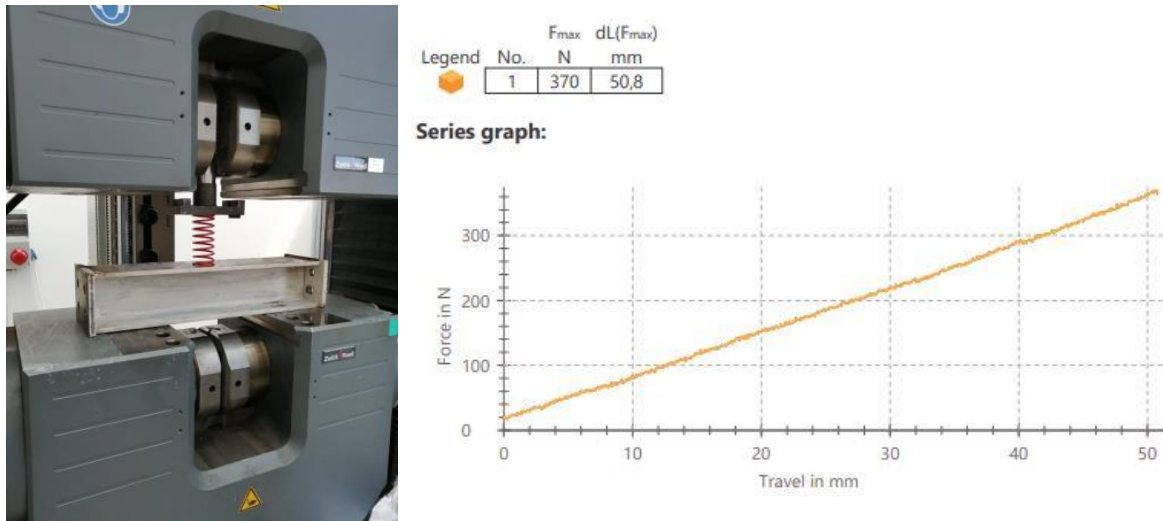
## 2.2. Description of the Test System and the Developed Application

A test system has been prepared to check its accuracy during the operation of the automatic CPR device. This test system provides information such as the compression force, the compression depth, and the compression rate variable graph at the piston movements. Thus, we can have this information for the device, and the heart massage people perform. An artificial manikin that can simulate a person is needed to create the test system. Therefore, this study used a BASICBilly+ model CPR manikin of the 3B Scientific brand for the test system (Figure 4).



**Figure 4.** BASICBilly+ Model CPR Manikin

The chest of an adult individual is simulated by a spring of a specific stiffness. The compression force required for the stiffness of the 50 mm spring in the manikin was made with a Zwick/Roell Z1200 model tensile-compression test machine. As a result of this test, it was found that a force of about 360-370 Newtons is needed to apply a 50mm compression (Figure 5).



**Figure 5.** The Spring In The Manikin Tension-Compression Test Machine Test Results

It is essential to get information about how deep the compression goes and the repeat of compression per minute (CPM) when the heart massage is performed by the device or by a person. This information is obtained using the RP-S40-ST model force sensor and 2.2-inch flex sensor in the designed test system (Figure 6). The information received from both sensors is transmitted to the computer via Arduino Uno.



**Figure 6.** Placing Force And Flex Sensors In The Manikin

The developed application is designed to obtain force and flex sensors signals, present user visual information, and create a record file to analyze record data for detecting the compression force, the compression depth, and the compression rate variable graph. The MATLAB GUI interface of the developed application is presented in Figure 7.

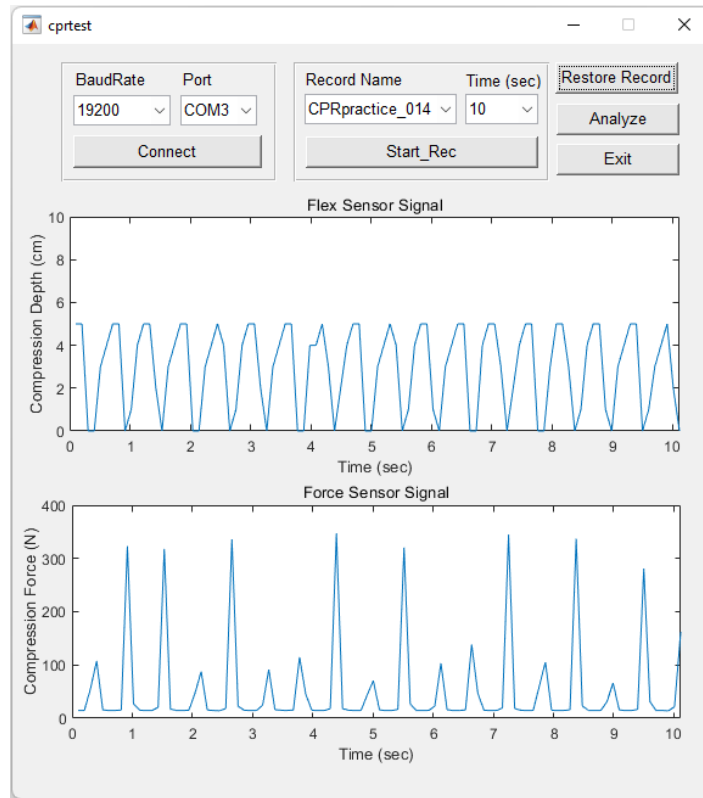


Figure 7. The GUI Of The Developed Application

The “Connect” button is used to connect a serial port of Arduino Uno to the developed application. The “Start\_REC” button is used to start recording the flex sensor and the force sensor signals throughout the specified recording time. Signals from the flex sensor are scaled to show the compression depth as a cm. Signals from the force sensor are scaled to show the compression force as a Newton. The “Restore Record” button is used to re-visualize the desired recorded signals from the specified record names. The “Analyze” button is used to show the compression rate variable graph in a separate figure window, as shown in Figure 8, from the signals shown in the main form. At this stage, individual peaks are marked in the force and flex sensor signals using the Peak detection algorithm built in Matlab 2021a software. Using the time change amounts between these marked peaks, the compression rate variable is determined per minute and presented graphically.

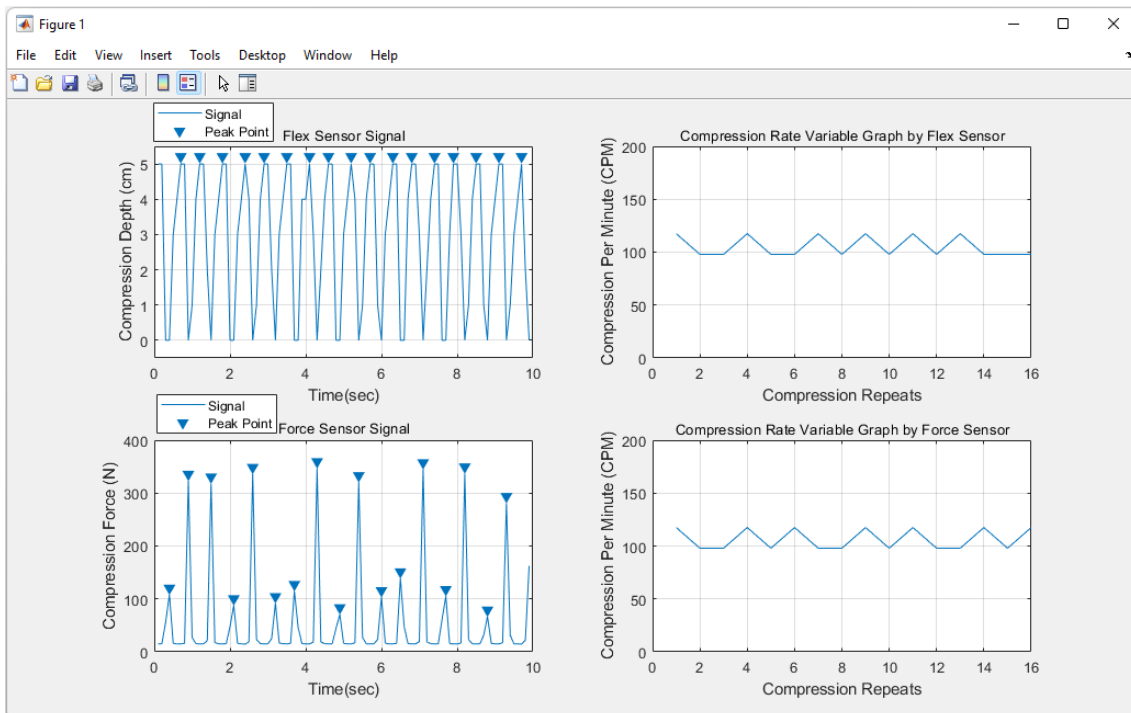


Figure 8. The Figure Window Showing Analysis Results

### 3. Results and Discussions

The data obtained from the applications made with the test system were converted into graphics via the MATLAB GUI interface. These graphs contain information about the compression depth, the compression force, and the CPM and present the compression rate variable graph from the recorded signals. While recording, the data were obtained for three applications: the automatic CPR device, trained persons, and untrained persons. The practical application's realization views are presented in Figure 9.

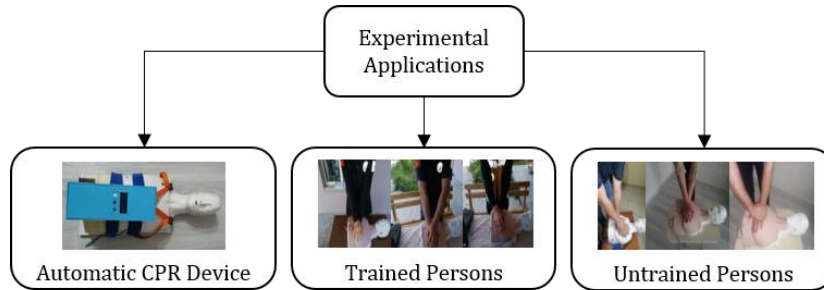


Figure 9. The Experimental Applications Realization Views

The automatic CPR device is designed to reach a depth of 5 cm at each press and to apply the 370N force required for this depth. The automatic CPR device was installed in the test system with the help of a belt. The analyses taken from the MATLAB GUI interface during the application are shown in Figure 10. The stability at the compression depth of the automatic CPR device can be seen on the compression depth-time graph in Figure 10 (a). The compression depth-time graph was obtained from the test system's flex sensor. A constant depth of 5 cm was reached with each press. The compression force-time graph in Figure 10 (c) was obtained using data from the force sensor on the manikin. Slight changes were observed in the compression force-time graph because the manikin flexed during CPR application. As the motor gained momentum due to the spring thrust in the manikin during its upward movement, there were pressure force changes due to the precise measurement of the force sensor. In addition, compression rate variable graphs are given separately for each sensor in Figure 10 (b) and (d). Thus, it is possible to observe whether this application is successful or not by detecting the CPM and the time-dependent changes. In this study, observations were made and interpreted on six people, three trained persons and three untrained persons, thanks to the GUI interface design.

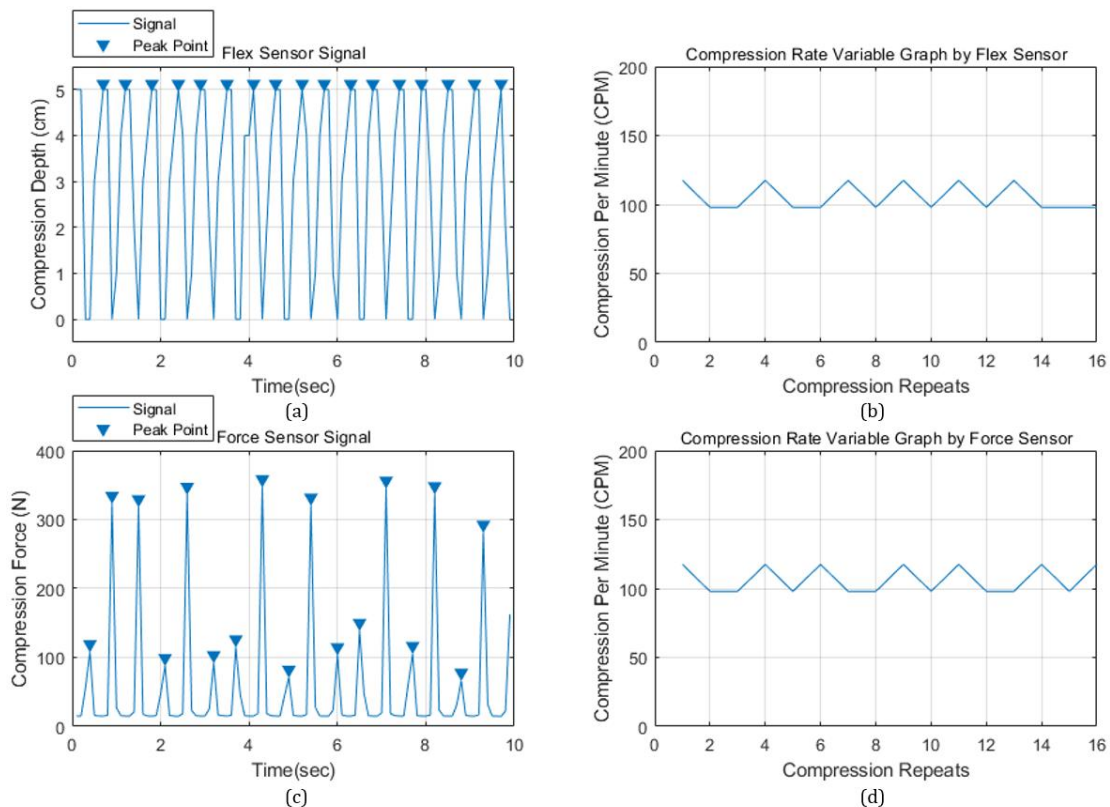


Figure 10. Results Of CPR Application Records Obtained By The Designed Automatic CPR Device



### 3.1. Observing of Data Obtained from Trained Persons

Three persons working in the emergency service, trained in CPR, participated in this practice. Participants were expected to perform CPR for 60 seconds, and the designed GUI interface recorded the practices. Images from the practices of trained persons performing CPR are shown in Figure 11.



Figure 11. CPR Practice With Trained Persons.

Figure 12 shows the results of the analysis of CPR performed by a trained person. This person was able to continue CPR for 60 seconds. It is understood from the graph in Figure 12 (a) that when the person making the application increases the compression depth to 6 cm, albeit very slightly, it remains at 3 cm from time to time. In Figure 12 (b) and (d), when the compression rate variable graphs are examined, it is seen that the speed change in the data obtained from both sensors is almost stable, but it is seen that it is below 100 CPM.

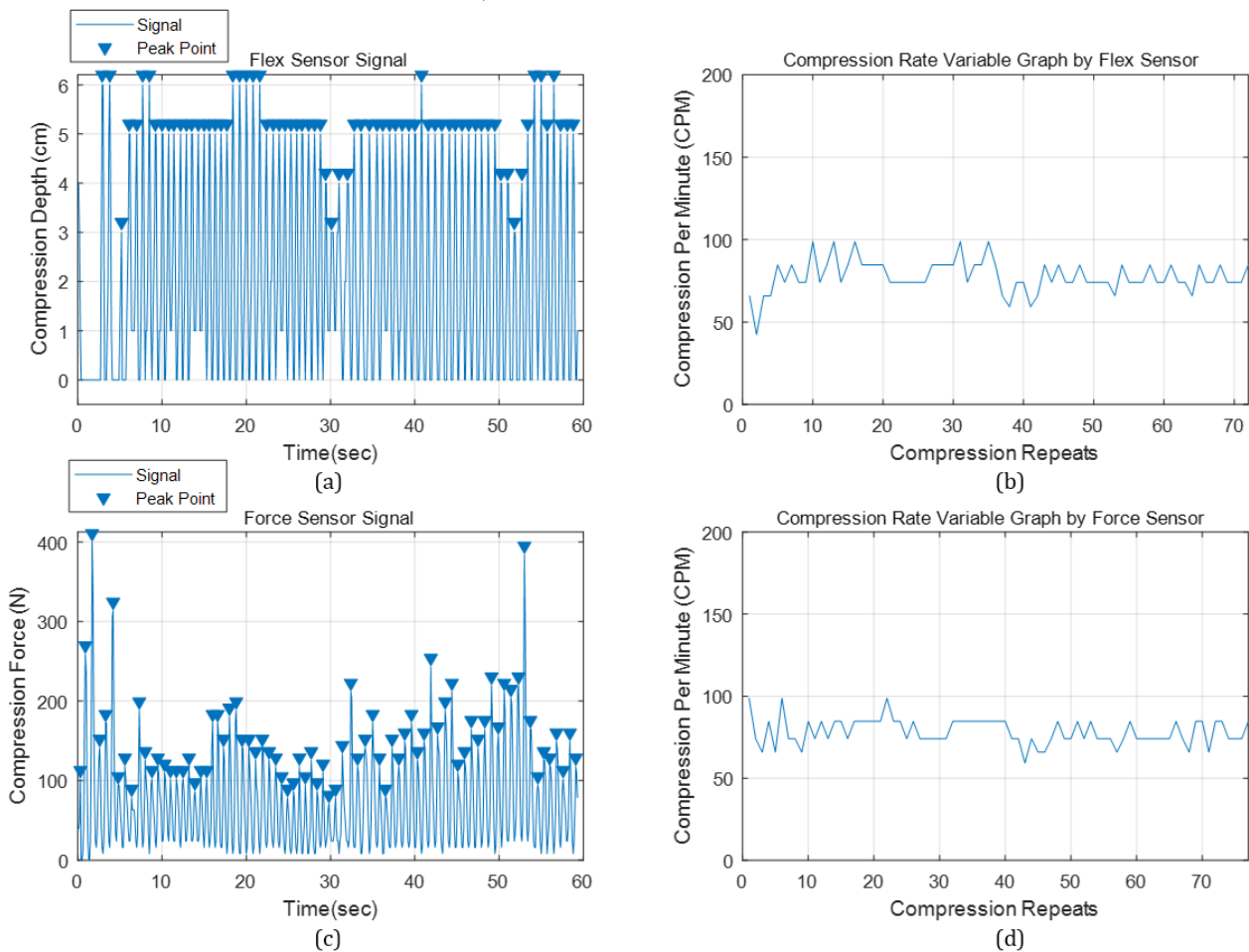


Figure 12. CPR Practice With Trained Person.

### 3.2. Observing of Data Obtained from Untrained Persons

Three persons not working in the emergency service, untrained in CPR, participated in this practice. Participants were expected to perform CPR for 60 seconds, and the designed GUI interface recorded the practices. Images from the practices of untrained persons performing CPR are shown in Figure 13.



Figure 13. Cpr Practice With Untrained Persons.

Figure 14 shows the results of the analysis of CPR performed by an untrained person. This person was able to continue CPR for 60 seconds. In Figure 14 (b) and (d), when the compression rate variable graphs are examined, it is seen that the speed change in the data obtained from both sensors is very unstable and varies between 25 CPM and 75 CPM.

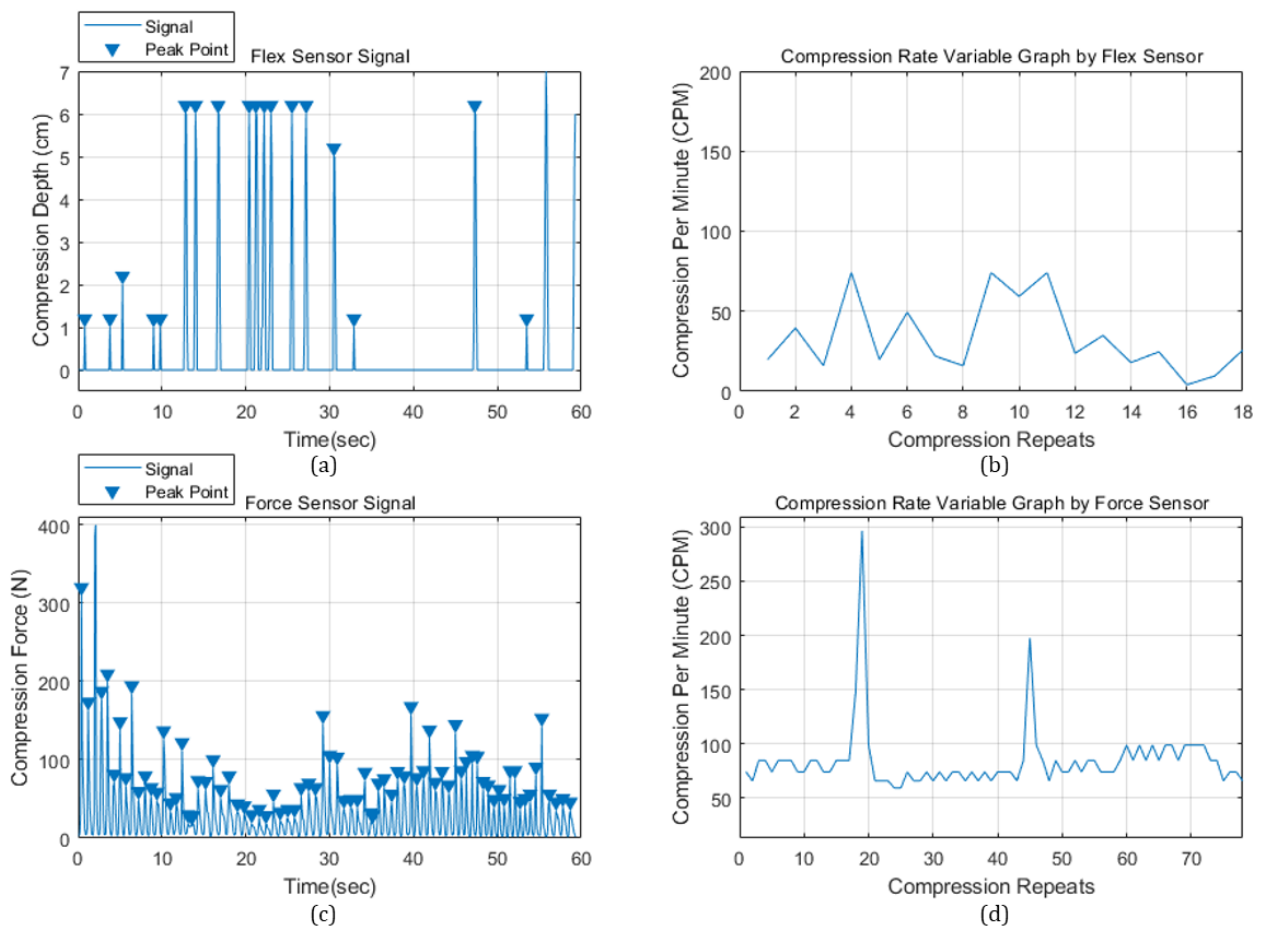


Figure 14. CPR Practice With Untrained Persons.

### 3.3. Comparison with Similar Studies

Some parameters indicate the correct application of cardiac massage. These are compression depth, compression force, and CPM. Since CPR application is a repetitive compression process, these parameters should be similar in each repetition for correct and high-quality CPR. The best way to observe this is with the compression rate variable graph. Looking at this graph, the evaluation of CPR application can be handled more holistically, and correct interpretations can be made. In Table 1, a comparison is given to show the difference between our work from other test systems. As seen here, the compression rate graph is presented only in our work. Also, our work is the only test system that simultaneously provides compression depth, compression force, and CPM information. Apart from our work, test devices that receive compression depth information do not receive force information using force sensors.

**Table 1.** A Table Showing The State-Of-The-Art Test Systems And Our Test System.

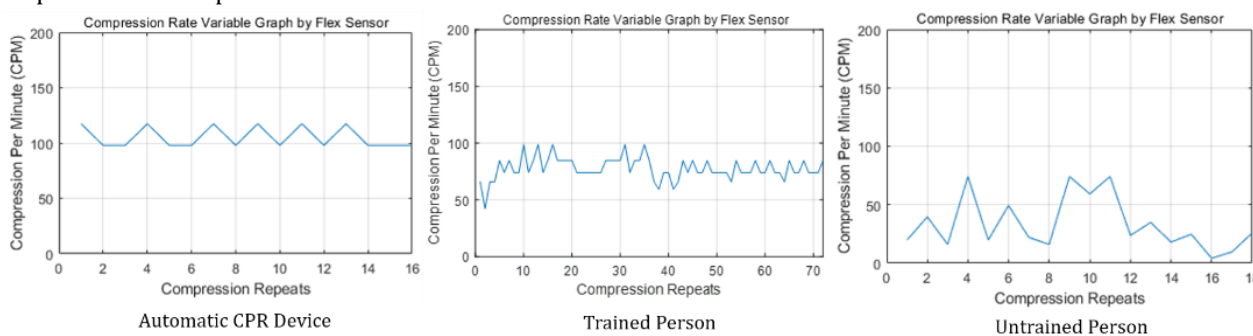
CPR Test Systems	Sensor Type	Indicator	Compression Depth	Compression Force	CPM	Compression Rate Variable Graphs
Our work	Flex, Force	Matlab GUI	√	√	√	√
CPREzy (Berkom et al., 2008)	Not known	Led lights	√	X	X	X
BASICBilly+	Optical-based	Mobile application	√	X	√	X
PocketCPR (Pozner et al., 2011)	Accelerometer	Led lights, sound	√	X	√	X
TrueCPR (Majer et al., 2019)	Triaxial Induction Magnetic Field	Graphic display, sound	√	X	√	X
Test System (İnal et al., 2021)	Load Cell	WebSocket	X	√	√	X

### 4. Conclusions and Recommendations

Rapid intervention to the patient is critical in cases such as cardiac arrest. The devices used must be portable to be able to intervene at the scene. Therefore, the realized device is relatively small and portable. Installation is also quite easy. As a result of its fastening with belts, the total weight and size of the device have been reduced. Effectively, 100 to 110 CPM and a depth of 5 cm per compression were achieved.

With the test system, both the accuracy of the operation of the device and the accuracy of the heart massage of the people who applied manually could be monitored and recorded. Many different compression depths, compression force, and compression rate variables were recorded in practical applications created with automatic CPR devices, personnel trained in CPR applications, and the person who does not know about CPR applications.

According to the experimental application data obtained from the test system, it is seen that the copression rate variable graphs of the data obtained from the automatic CPR device are stable (Figure 15). The data obtained from the trained personnel is more variable than the automatic CPR device, and the data obtained from the untrained persons is much more variable than the trained persons. Thus, the importance of automatic CPR devices in CPR has proven to be important.



**Figure 15.** Comparison Of Compression Rate Variable Graphs For Three Different Applications.

This test system, which enables the comparison of CPR practices of trained and untrained persons, can be used in the education and evaluation of cardiac massage practices in the first aid training courses in secondary education, associate degree, undergraduate, and vocational education.

## Acknowledgement

By Karabuk University Scientific Research Projects Coordination Unit thank you for the support given to this work with project number FYL-2020-2265.

## Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

## References

- Araç, S. , Zengin, Y. , İçer, M. , Gündüz, E. , Dursun, R. , Durgun, H. , Üstündağ, M. , Orak, M. , Kuyumcu, M. & Güloğlu, C., 2021. Acil Serviste Kardiyopulmoner Resüsitasyon Yapılan Hastaların Değerlendirilmesi; Retrospektif Çalışma. *Abant Tıp Dergisi*, 10 (1), 140–151.
- Berkom, P., Noordergraaf, G., Scheffer, G., Noordergraaf, A., 2008. Does use of the CPREzy™ involve more work than CPR without feedback?. *Resuscitation*, 78, 66–70.
- Carl, B., & Brook, S., 1985. United States patent. *Geothermics*, 14(4), 595–599.
- Çolak, İ. ve Bayındır R., 2005. PIC16F877 ile DA Motor Hız Kontrolü, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (2), 277–285.
- Ikeno, F., 2003. Improved survival with a novel chest compression device during a porcine model of cardiac arrest. *Circulation*, 108 (17), 381–383.
- Ikram, U. H., Jai, P. U., Sharda, U., Douglas, W. T., Jonathan J. S., ve Arno, L. Z., 2008. Chest compression quality and rescuer fatigue with increased compression to ventilation ratio during single rescuer pediatric CPR. *Resuscitation*, 79, 82–89.
- İnal, M., Yıldız, U., Öğütçü, S., Pekdemir, M., Ünlüer, T., Çelikhası, C., Ayüz, E., Işık, E., 2021. Tıp Eğitiminde CPR Mankenlerinin Yapay Zeka Sınıflandırıcı ile Dijital Dönüşümü. *Veri Bilimi Dergisi*, 4(3), 81–88.
- Majer, J., Jaguszewski, M.J., Frass, M., Leskiewicz, M., Smereka, J., Ladny, J.R., Robak, O., Szarpak, L., 2019. Does the use of cardiopulmonary resuscitation feedback devices improve the quality of chest compressions performed by doctors? A prospective, randomized, cross-over simulation study. *Cardiology Journal*, 26, 5, 529–535.
- Matheny, L., 1982. *Emergency First Aid for Cardiopulmonary Arrest*. *Nursing*, 12 (6), 34–45.
- Noordergraaf, G., Drinkwaard, B., Berkom, P., Hemert, H., Venema, A., Scheffer, G., Noordergraaf, A., 2006. The quality of chest compressions by trained personnel: The effect of feedback, via the CPREzy, in a randomized controlled trial using a manikin model. *Resuscitation*, 69, 241–252.
- Polat, F., <https://sorgundh.saglik.gov.tr/TR-604918/cpr-yasam-destegi-egitimi.html>, Last access date, 13.01.2022.
- Pozner MD, C.N., Almozlino, A., Elmer, J., Poole, S., McNamara RN, D., Barash MD, D., 2011. Cardiopulmonary resuscitation feedback improves the quality of chest compression provided by hospital health care professionals. *American Journal of Emergency Medicine*, 29, 618–625.
- Remino, C., Baronio, M., Pellegrini, N., Aggogeri, F., & Adamini, R., 2018. Automatic and manual devices for cardiopulmonary resuscitation: A review. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(1), 1–14.
- Rubertsson, S., & Karlsten, R., 2005. Increased cortical cerebral blood flow with LUCAS; a new device for mechanical chest compressions compared to standard external compressions during experimental cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*, 65(3), 357–363.
- Steen, S., Liao, Q., Pierre, L., Paskevicius, A., & Sjöberg, T., 2002. Evaluation of LUCAS, a new device for automatic mechanical compression and active decompression resuscitation. *Resuscitation*, 55(3), 285–299.
- Yeong-Tak, S., and Youngjoon C., 2011. The development of feedback monitoring device for CPR. 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS, Massachusetts USA, 3294–3297.
- 3B Scientific., BASICBily+. User Instructions. [https://www.3bscientific.com/product-manual/8000951\\_EN.pdf](https://www.3bscientific.com/product-manual/8000951_EN.pdf), Last access date, 20.11.2022.



## MODELING OF IOT-BASED ADDITIVE MANUFACTURING MACHINE'S DIGITAL TWIN FOR ERROR DETECTION

Burhan DUMAN<sup>1\*</sup>, Ahmet Ali SÜZEN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Computer Eng., Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Digital Twin,  
Internet of Things,  
Modeling,  
Additive Manufacturing.

### Abstract

Additive Manufacturing technology is one of the technologies that is changing the manufacturing industry. It has revealed some advantages over traditional manufacturing methods with this technology. With the advancement of information technologies, new approaches focusing on cost and improvement have begun to be adopted in the manufacturing industry. One such method is digital twin technology. A digital twin is frequently referred to as a digital replication of a physical system. Digital twins provide data and models to support the operation of design and manufacturing processes, as well as troubleshooting, diagnostics, and problem-solving. Various sensors are required to monitor the status of physical systems and transfer data to digital systems. Some of these Internet of Things-compatible sensors are already in production machines, but others can be added later. In the study, an Internet of Things-based system was proposed for the creation of digital twins using a virtual environment, and a digital twin simulation was created in order to bring the benefits of digitalization to production systems. The digital twin is modeled in the Matlab Simulink environment to perform binary classification to detect abnormal physical conditions that have the potential to disrupt the operation of the additive manufacturing machine and affect the quality of the manufacturing part. By generating a digital twin from real machine data, the proposed system will be able to detect errors.

## NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI EKLEMELİ İMALAT MAKINESİNİN HATA TESPİTİNE YÖNELİK DİJİTAL İKİZİNİN MODELLENMESİ

### Keywords

Dijital İkiz,  
Nesnelerin İnterneti,  
Modelleme,  
Eklemeli İmalat.

### Öz

Eklemeli İmalat teknolojisi, imalat sanayine farklı bir yön veren teknolojilerdendir. Bu teknoloji ile geleneksel imalat yöntemlerine göre bazı avantajlar ortaya koymuştur. Bilişim teknolojilerinin imkanlarının artmasıyla birlikte imalat sanayinde iyileştirme ve maliyet odaklı yeni yaklaşımlar benimsenmeye başlanmıştır. Dijital ikiz teknolojisi de böyle bir yaklaşımdır. Dijital ikiz, genellikle fiziksel bir sistemin dijital kopyası olarak adlandırılır. Dijital ikizler, tasarım ve üretim süreçlerinin işleyişi, sorun giderme, teşhis ve problem çözme için bilgi ve modeller sağlar. Fiziksel sistemlerdeki durumların izlenerek dijital sistemlere veri aktarımı için çeşitli sensörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Nesnelerin internetine uygun bu sensörlerden bazıları imalat makinelerinde olmakla birlikte bazıları da sonradan ilave edilebilmektedir. Çalışmada, dijitalleşmenin avantajlarını üretim sistemlerine kazandırmak amacıyla, sanal ortam kullanılarak dijital ikiz oluşturulması için Nesnelerin İnterneti tabanlı bir sistem önerilmiş ve dijital ikiz simülasyonu yapılmıştır. Dijital ikiz Matlab Simulink ortamında, eklemeli imalat makinesinin işleyişini aksatacak ve imalat parçasının kalitesini etkileyebilecek potansiyele sahip normal dışı fiziksel şartları tespit etmek için ikili sınıflandırma yapacak şekilde modellenmiştir. Önerilen sistem, gerçek makine verilerinden bir dijital ikiz oluşturularak hataları tespit edebilecektir.

### Alıntı / Cite

Duman, B., Süzen, A.A., (2023). Modeling of Iot-Based Additive Manufacturing Machine's Digital Twin for Error Detection, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 486-497.

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

B. Duman, 0000-0001-5614-1556  
A. A. Süzen, 0000-0002-5871-1652

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	16.02.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	31.03.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	10.04.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.06.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: burhanduman@isparta.edu.tr, +90-246-214-6814

## MODELING OF IOT-BASED ADDITIVE MANUFACTURING MACHINE'S DIGITAL TWIN FOR ERROR DETECTION

Burhan Duman<sup>1†</sup>, Ahmet Ali Süzen<sup>1</sup>

Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, Isparta, Türkiye

### Highlights

- Digital twin for fused deposition modeling-based additive manufacturing machine
- Simulation with digital twin from representative media data
- Real-time prediction/detection of errors that may occur in the process with the internet of things and digital twin

### Graphical Abstract

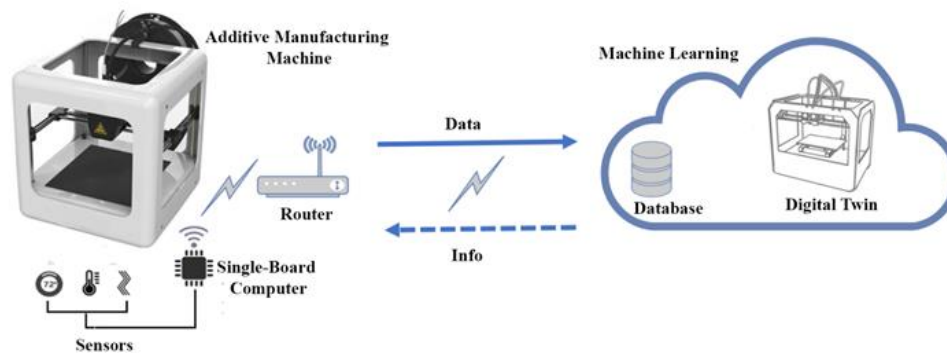


Figure. General Schematic of The Proposed System

### Purpose and Scope

In manufacturing processes, where tests in real environments are costly and difficult, tests can be performed with real data in a virtual environment by creating a digital twin from the data obtained from the physical object or system. In this way, business processes are made economical and facilitated. The study, it is aimed to demonstrate a way to create real applications by making digital twin modeling and to prove its applicability.

### Design/methodology/approach

In this study, based on additive manufacturing systems, a digital twin model with machine learning that can detect possible errors/malfunctions in the operation of the system has been proposed. Throughout the proposed system; AM machine consists of a single board computer and a cloud environment. It is designed that there are sensors to measure various environment variables in the physical AM machine and that there is a single board computer that provides the connection to the internet and control, apart from the embedded system that operates the machine. In the cloud environment, there is a data-based digital twin of the system, together with the structural database where the data will be recorded for analysis, diagnosis, and simulation. In Matlab Simulink software, the digital twin simulation was created with artificial data in the form of time series. In practice, the data coming from the real environment will be given as input to the previously trained classification model and it will be possible to classify it without error or error.

### Findings

A digital twin simulation of a fused deposition modeling-based additive manufacturing machine has been carried out and its applicability has been demonstrated, using IoT devices for remote monitoring via sensors on the additive manufacturing machine or to be added.

### Originality

In similar studies, modeling of the manufactured part using a personal computer and industrial data collection devices and thermal modeling for direct energy fusion were made. This study is different from other studies in terms of simulating the process for the additive manufacturing machine and demonstrating its applicability.

<sup>†</sup> Corresponding author: burhanduman@isparta.edu.tr, +90-246-214-6814

## 1. Introduction

Industry 4.0, which emerged as a new industrial revolution in Germany in 2011, is becoming widespread in the academic field, especially in the manufacturing sector (Qin et al., 2017). The main components of Industry 4.0 in practice are the internet of things, cyber-physical systems, cloud computing, big data, artificial intelligence, additive manufacturing technology, and smart factories (Pamuk & Soysal, 2018). The development of Industry 4.0, known as digital technology, plays an important role in increasing quality, efficiency, and profitability in the manufacturing sector by making factories smarter. Additive manufacturing (AM), an important pillar of digital technology, is a production method that changes the manufacturing phenomenon (Mohammed et al., 2020). Additive manufacturing is a general name for manufacturing technologies that add material layer by layer to create desired physical parts. Due to the absence of material reduction processes in additive manufacturing technology, eliminates the design, production, maintenance, and other application requirements for machining tools (Standardization, 2015). This technology, which initially emerged as Rapid prototyping (RP) systems, has evolved into direct production with the development and various types of AM processes have been developed. Although there are many varieties, the most prominent AM technologies are stereolithography (SLA), 3D printing (3DP), selective laser sintering (SLS), laminated object fabrication, and melt deposition modeling (FDM) (Miljanovic et al., 2020).

Most physical assets in our lives have gained the ability to communicate over the internet with Industry 4.0. Internet of Things technology, which is one of the sub-components of Industry 4.0, has enabled this situation. With the internet of things technology, machines, systems, and people have been in communication with each other. Thus, it became possible to control, monitor, and collect data from remote objects. Significant benefits are provided by storing the collected data in cloud environments, making various analytics, and evaluating it with artificial intelligence methods.

Thanks to the Internet of Things, the necessary data is provided at a level that reflects almost all of the physical features in the environment, thus paving the way for creating a very close-to-reality digital twin model. It stands out that digital twins are mainly used in the fields of engineering and manufacturing with the Internet of Things. In cases where testing in real environments is costly and difficult, these difficulties can be overcome by performing tests on a digital twin with data obtained from the physical object or system. Thus, the digital twin has the potential to offer significant opportunities in terms of facilitating business processes together with the internet of things (Anonim, 2021; Cruz et al., 2021).

Another technology in Industry 4.0 sub-fields is the concept of the digital twin. It was first used by NASA to describe a digital copy of physical systems in space for diagnosis and outcome prediction. A digital twin refers to a virtual copy of a physical system. It uses direct sensing through sensors and indirect sensing through latent variable analysis to provide a near real-time virtual peer of the physical system. The digital twin consists of a large amount of historical status and performance data. It is anticipated to play an important role in Industry 4.0 as it allows the user to monitor, simulate, optimize and control the entire production system in a virtual environment (Chhetri et al., 2019).

In AM processes which are increasingly used in critical sectors, process monitoring, and quality control to ensure the quality of the parts to be manufactured are becoming increasingly important. In additive manufacturing, process tracking is carried out by using sensors with various online and offline methods. Rao et al., (2015) carried out a study that included a statistical method to detect error modes and initially detect process anomalies on an FDM machine equipped with a heterogeneous array of sensors including thermocouples, accelerometers, infrared (IR) temperature sensors, and real-time miniature video borescope. In a study involving an analytical method, the effect of FDM processing parameters such as nozzle temperature, fabrication temperature, and printing speed on the interfacial bond strength of TPU/ABS was quantitatively made with the Intermolecular diffusion theory (Yin et al., 2018). In order to detect undesired process/product changes caused by cyber-physical attacks, a data-driven feature extraction approach based on an LSTM autoencoder was developed and case studies were conducted using an FDM platform equipped with two accelerometers (Shi et al., 2022).

Along with these methods, the use of digital twins is becoming more and more common in AM processes due to the advantages such as real-time data communication between the physical system and the digital system, as well as monitoring, diagnosis, control, and estimation of product properties. Although digital twin research for Additive Manufacturing has focused mainly on metal 3D printers (Corradini & Silvestri, 2022), there are many studies on FDM technology.

Liu et al performed the performance evaluation approach with a digital twin to predict the material properties and structural success of the part in real-time during manufacturing with the FDM machine. In a similar study by

Chhetri et al., digital twin modeling was performed based on an additive manufacturing device with FDM technology. In this study, the modeling of the part manufactured using a personal computer and industrial data collection device was made. The 4R frame was proposed by Osho et al., and as a first step, the representation frame stage of a Digital Twin of the FDM 3D printer was created. Temperature and position data from the 3D printing process were collected and presented as data.

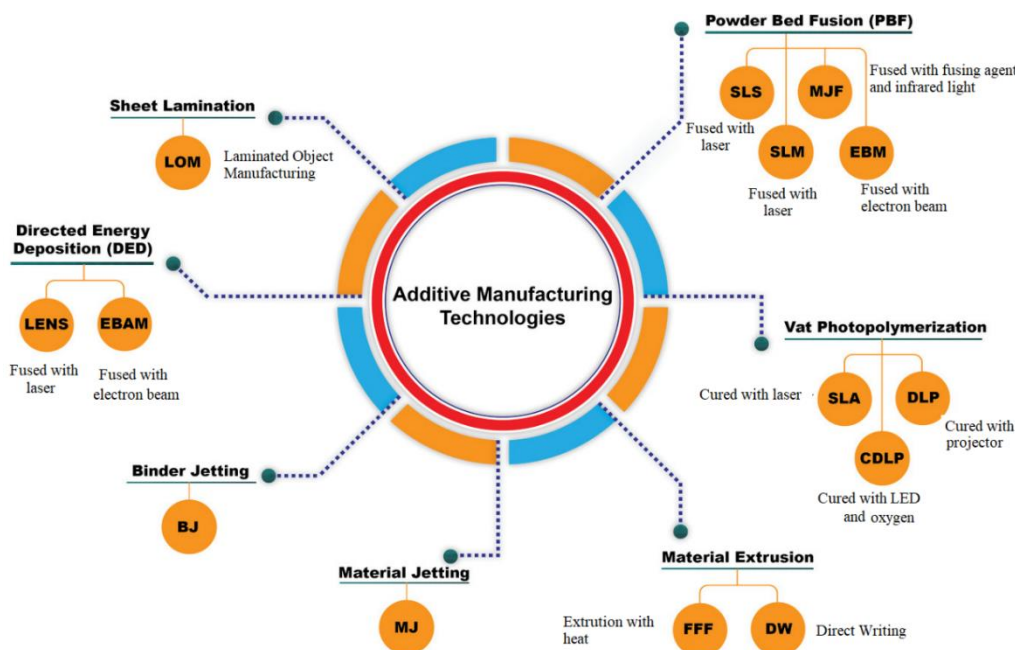
The studies focused on the structural properties of the manufactured part and product success. Data is presented for a Digital Twin of the FDM 3D printer, and modeling the DT of the printer with the data is not studied.

In this study, a simulation has been developed for a FDM machine in the additive manufacturing process, which has opened a new era in manufacturing, by creating a digital twin from the sensor data on the machine using the internet of things method. Thus, a way to create real applications and a preliminary study of applicability were made.

## 2. Theoretical Background

### 2.1. Additive Manufacturing

Additive manufacturing is a group of processes that produce a part by adding sequential layers of material on top of each other. As shown in Figure 1, additive manufacturing technologies In 2010, the American Society for Testing and Materials (ASTM) group "ASTM F42-Additive Manufacturing" divided the additive manufacturing processes into seven categories (ASTM, 2020). These categories are binder sputtering, directed energy deposition, material extrusion, material sputtering, powder bed fusion, sheet lamination, and cube photopolymerization (Di Angelo et al., 2020).



**Figure 1.** Classification of Additive Manufacturing Technologies (Rafiee et al., 2020)

Each of the additive manufacturing techniques has its range of applications, limitations, and benefits in manufacturing parts and producing prototype models (Rengier et al., 2010). Binder jetting can carry out the construction process from any material in powder form. Here, the printing of 3D parts is done layer by layer with equipment very similar to inkjet printers. In the construction process, the powders are connected by spraying adhesive from a multi-nozzle nozzle, and a new layer of powder is spread with a roller. Depending on the material used and the application, different additional processes such as infiltration and sintering can be performed (Chen, 2016). With the directed energy deposition technology, the desired 3D metal parts are manufactured by a metal deposition process using wire instead of powder as raw material (Karakılınc et al., 2019). The material extrusion process is a filament-based system that extrudes molten plastic, which feeds material into the heated extrusion head and cures it layer by layer to form a solid part (Çelebi, 2019). Material jet technology has ink jet processes similar to bond jets. In this technology (Polyjet-Multijet modeling), parts are produced with a photopolymer accumulating spray head. Besides the spray head technology, almost every layer is solidified by ultraviolet rays (Yap et al., 2017). In the powder feed fusion technique, a building material in powder form that can be fused when



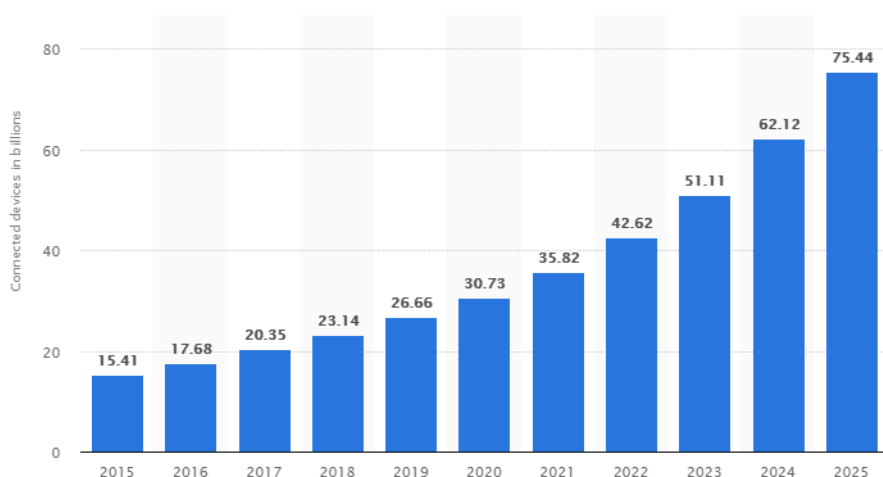
heated is spread in a thin and smooth layer, and selected areas on the surface are scanned with a laser beam or electron beam. With the heat generated at the points where the beam hits the surface, the powder material is partially melted or sintered and fuses with the other powder grains it is in contact with (Duman & Kayacan, 2016). Layer lamination technology is a process in which foil-like paper material is combined layer by layer with an adhesive. In the photopolymerization technique, technologies using liquid materials are named according to the availability of the light energy source and the material. The curing process of the liquid material in a chamber with a laser beam is called Stereolithography (SLA), and the curing process with a lamp-style light source is called Digital Light Processing (DLP).

## 2.2. Internet of Things (IoT)

The rapid development of information technology, and smart devices, the concept of the IoT has completely entered our lives and has become widespread with the widespread use of the Internet. The IoT can be defined as the communication of objects with technological hardware competence and the internet with each other or with other systems (Duman & Özsoy, 2019). Devices that have a unique identity, can connect to the network and produce data are expressed as objects in the Internet of Things. Thus, objects can be accessed and controlled from anywhere in the internet environment (Wiki, 2020).

The concept of the IoT dates back to 1991. At that time, images of a coffee machine were published on the internet and remained in use until 2001, thanks to the technology developed at Cambridge University and a camera system. It was first used by Kevin Ashton in 1999 at a meeting where Radio Frequency Identification (RFID) technology was used for a company (Ashton, 2009). In 2005, reports on the work of the International Telecommunication Union (ITU) were published and information was given about the usage areas and developing technologies of the IoT. In 2009, IBM's CEO, Samuel J. Palmisano, proposed the concept of Smart Planet for the first time and then came to the fore. The use of IoT technology has increased even more since the 2010s. With these developments, IoT is characterized as the third-wave world industry after computers and the Internet (Türkay, 2018).

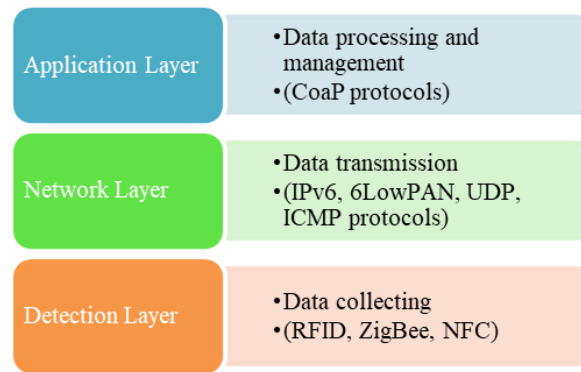
The IoT, which is a growing field, is also predicted numerically in the published reports. According to Statista (Statista, 2016), it is predicted that the number of connected devices within the scope of the IoT worldwide will reach approximately 75 billion in 2025 and approximately 30 billion in 2020 (Figure 2). According to the Verified Market Research report, it is estimated that the share of the IoT market in the world economy will be approximately 1.3 trillion dollars in 2026 (Fernandes, 2020).



**Figure 2.** Change In The Number of Internet-Connected Devices Worldwide (2015-2025) (Statista, 2016)

The working infrastructure of this large communication network, to which billions of devices are connected, consists of layers, including various protocols. According to most researchers, the IoT architecture basically has three layers. However, due to the developments in IoT, more layered architectures are also suggested in some studies. The three-tier architecture is a basic architecture and provides the basic requirements of IoT. It has been proposed in the early stages of IoT. It has three layers: detection, network, and application (Figure 3). The detection layer is also referred to as the sensor layer. It is in this layer that environment variables are detected and data is collected. Protocols such as RFID, ZigBee, and NFC are used. The network layer is basically the layer where data transmission and data processing take place. The data coming from the detection layer is processed and transmitted to the upper layer by wired or wireless connection. Protocols such as IPv6, LowPAN, UDP, and ICMP are used in this layer. Application layer; It is the layer where the data can be used and the results can be observed.

CoaP protocol is used in the application layer (Burhan et al., 2018; Çavdar & Öztürk, 2018).



**Figure 3.** Three-Layer IoT Architecture

The IoT technology, which has very common usage areas such as Industry, Informatics, Agriculture, Health, Energy, Construction, Transportation, and Security (Asghari et al., 2019; Babayiğit & Büyükpatpat, 2019; Ventura et al., 2019), various applications are realized in these areas and significant benefits are provided. In applications, the data produced by the objects are stored in local storage environments through the network or by transferring to cloud data storage environments with an internet connection and evaluated within the scope of cloud computing/big data.

As the amount of data of various types generated from smart devices in the IoT increases, cloud systems will play an important role in dealing with large amounts of data. For this purpose, cloud computing/big data requirement arises to manage the big data needs of the services offered by cloud systems (Ioturkiye, 2020). It is a collection of services offered to the user based on cloud computing. These services are SaaS (Software as a Service), PaaS (Platform as a Service), and IaaS (Infrastructure as a Service). In cloud computing, analysis, reporting, retrospective monitoring, optimization, and simulation are carried out with software, various processes can be triggered according to conditions, and messages can be sent to end users over the internet. Solutions and data in cloud computing can be accessed by mobile devices and computers regardless of location (Sparkmeasure, 2020).

### 2.3. Digital Twin

The concept of the Digital Twin was first introduced in the Manufacturing industry by Michael Grieves of the University of Michigan in 2002. It is based on the idea that the digital information structure of a physical system can be created as a stand-alone entity (Grieves & Vickers, 2017). The data obtained from the physical system will be a copy of the information related to that physical system throughout the system's entire lifecycle. A digital twin uses real data about a physical object, product, or system as input, creates insights into the behavior of the object, product, or system from these inputs, and also monitors the status of these systems.

The Digital Twin generally consists of three components. The first is the physical system in the real environment. The second is the sensor/sensors that will convert the states in the physical system into data and enable them to be transferred to the digital environment simultaneously. Third, it is a digital medium in which the data obtained from the physical system will be transferred and stored. The second component includes not only the sensors but also the devices that will enable the sensors to communicate and adapt to the digital environment. In this case, we come across the concept of the IoT's. All data from physical systems are included in a cloud-based system. Thus, the virtual Digital Twin of the real system is created (Aynacı, 2020). There are two approaches to creating digital twins: model-based and data-driven.

By creating a digital twin of the physical system, benefits such as monitoring the instantaneous state of operating conditions, testing scenarios for different error conditions, simulation of error data, supervised learning by training the classification and prediction model, and clustering with unsupervised learning from error-free sensor data are provided (He et al., 2019).

By creating a classification and estimation model with the digital twin, operations such as error detection, predictive maintenance, and detection of abnormal situations can be performed regarding the system or product. A representative digital twin is created with the data obtained from the sensors. Analyzes can also be made on the data. Training data is prepared by preprocessing the data for developing a classification/prediction model. The developed model is trained. If the performance of the model is not at the desired level after the training,

improvements are made to the model. The final version of the model is mounted in the working environment (Figure 4). The model can be updated with the new data to be obtained.

The developed models can be installed in different working environments. These environments can be edge devices as well as cloud-based systems. Digital twins can be built in cloud systems such as Google Cloud, Microsoft Azure, Aws IoT, and IBM Watson.



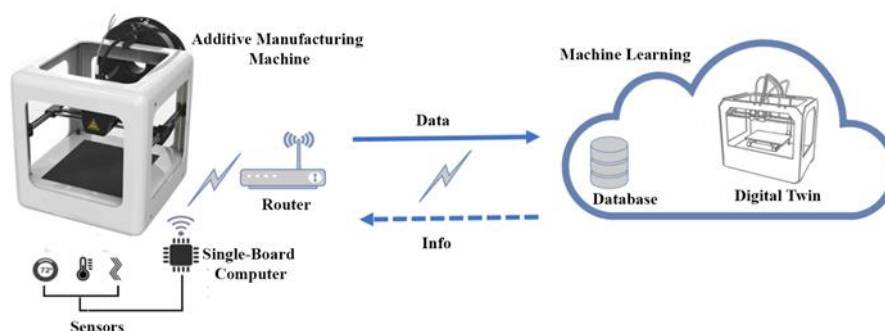
**Figure 4.** Data-Driven Modeling With Digital Twin (Mathworks, 2021)

There are uses for digital twins in industries such as aerospace, defense, healthcare, automotive, manufacturing, and energy. Siemens, General Electric, NASA, and organizations such as Tesla, Philips, IBM, and Microsoft are implementing and developing digital twins. Digital twins are being built to optimize systems consisting of gas turbines, wind turbines, engines, aircraft, vehicles, and medical devices, monitor system health, and provide solutions (Bibow et al., 2020; Entes, 2021; GE Company, 2021.; Glaessgen & Stargel, 2012; Medvedofsky et al., 2018; Siemens Healthineers, 2018).

### 3. Development of Digital Twin Application

Unexpected malfunctions/errors occurring during operation in industrial systems may cause work accidents, as well as a faulty product, may be obtained, and these situations may lead to financial losses for companies. Early detection or prediction of a malfunction, or a faulty product, can prevent future problems and damages. For these reasons, condition monitoring, predictive maintenance, fault detection, and diagnosis have an important place in the industry (Li et al., 2017). In this study, based on additive manufacturing systems, a digital twin model with machine learning that can detect possible errors/malfunctions in the operation of the system has been proposed.

The proposed system consists of an additive manufacturing machine, a single board computer, and a cloud environment. It is designed so that there are sensors for temperature, humidity, pressure, and vibration measurement on the physical AM machine. Apart from the embedded system that operates the AM machine, there is a single board computer that provides internet connection and control. In the cloud environment, there is a data-based digital twin of the system, together with the structural database where the data will be recorded for analysis, diagnosis, and simulation. The simulation of the digital twin was performed in Matlab R2021a software. The general schematic representation of the system is given in Figure 5.



**Figure 5.** General Schematic of The Proposed System

The data received from the sensors are processed into the database as time series in the cloud environment. The classification model, previously trained with data such as temperature and vibration, accepts data from the real environment as input and evaluates the output without error. If the output status is desired, it can be sent to the controller on the machine from the cloud environment to intervene to stop the manufacturing process. In addition, the qualification of the manufactured part will be evaluated by analyzing the historical data kept in the cloud environment. Since the system also includes the cloud environment, the manufacturing process can be monitored instantly via the cloud via mobile or computer.

### 3.1. Digital Twin Simulation with Matlab Simulink

A model can be defined using data from objects connected to the internet with Matlab. A data-based digital twin model was set and a simulation was carried out for faulty error detection with the Simulink module.

First, the data set to be used in the machine learning model was taken from (Huang & Baddour, 2018) and (Mehmood, 2021), combined (Figure 6), and preprocessed. The data is divided into two parts training data and test data. In the Matlab Classification Learner plugin, the classification model support vector machine(SVM) was selected as it is seen in the literature that it gives high accuracy and low error rate in binary classification, which is one of the machine learning algorithms and the learning process was carried out with the training data. The model is saved in the Matlab environment.

	1	2	3	4	5	6
	Date	Temperature	Humidity	Pressure	Vibration	class
11366	21-May-2019 17:04:00	79.0062	25.1173	970.3678	0.2849	Faulty
11367	21-May-2019 17:04:00	79.0131	25.1472	970.3972	0.2839	Faulty
11368	21-May-2019 17:04:00	78.9994	25.1715	970.3917	0.2809	Faulty
11369	21-May-2019 05:14:00	77.8107	28.9520	971.5006	-0.0035	Healty
11370	21-May-2019 05:14:00	77.8153	28.9160	971.4977	-0.0025	Healty
11371	21-May-2019 05:14:00	77.8175	28.9459	971.5032	-0.0022	Healty
11372	21-May-2019 05:14:00	77.8232	28.9818	971.4653	-0.0029	Healty
11373	21-May-2019 05:14:00	77.8300	29.0057	971.5009	-0.0025	Healty
11374	21-May-2019 05:14:00	77.8368	29.0236	971.4972	-0.0015	Healty
11375	21-May-2019 05:14:00	77.8437	29.0175	971.5031	-8.8406e-04	Healty
11376	21-May-2019 05:14:00	77.8323	28.9997	971.4932	-0.0015	Healty

Figure 6. Partial View of The Data Prepared for The Model

After the training phase of the machine learning model, a digital twin block diagram was created in the Simulink module (Figure 7). Adjustments have been made to the port and model for the block diagram. The input port is arranged for 4 input variables (temperature, humidity, pressure, and vibration). The trained model is also introduced in the classification block.

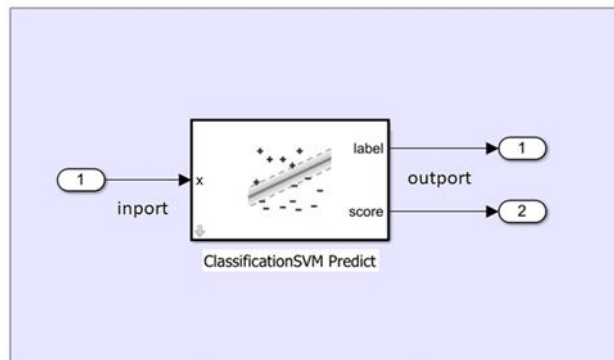


Figure 7. Block Diagram of The Digital Twin Model

In order to run the simulation, at the first stage of the process, the data divided as test data was turned into a time series and defined to the input port. The simulation was run by setting the time interval to 0-500. During this time, the test data was given as input to the classification model and the fault-free status classification at the output was taken from the output port 1 in Figure 7. The screenshot of the output data taken from the Matlab data plotter tool is given in Figure 8.

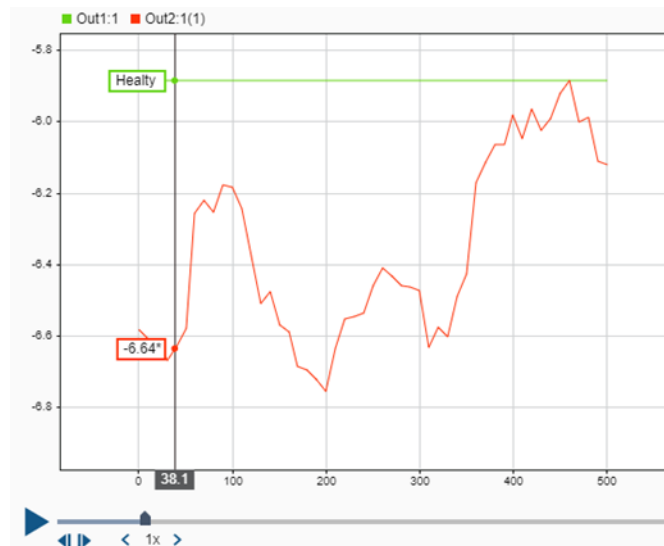


Figure 8. Model Output Ports Label (Out1) And Score (Out2) Data Graph

The final stage of digital twin modeling is deployment. The machine learning model developed with data-based modeling is mounted in different environments in order to perform the error classification task. One of these environments is edge devices and the other is the cloud environment. These environments are preferred in line with the requirements of the working system and the available possibilities. Placement of the developed model in these environments is ensured by making appropriate code conversions. For this purpose, C code was generated using the code generation tool in the Simulink module. The code generator tool can generate code in different languages for alternative hardware. A part of the generated code is given in Figure 9.

```
#include "diagnosimmodel.h"
#define NumBitsPerChar
/* External inputs (root inport signals with default storage) */
ExtU rtU;
/* External outputs (root outports fed by signals with default storage) */
ExtY rtY;
/* Real-time model */
static RT_MODEL rtM_;
RT_MODEL *const rtM = &rtM_;
.....
static void rt_InitInfAndNaN(size_t realSize);
static boolean_T rtIsInf(real_T value);
static boolean_T rtIsInff(real32_T value);
static boolean_T rtIsNaN(real_T value);
static boolean_T rtIsNaNF(real32_T value);
.....
static void rt_InitInfAndNaN(size_t realSize)
{
    (void) (realSize);
    rtNaN = rtGetNaN();
    rtNaNF = rtGetNaNF();
    rtInf = rtGetInf();
    rtInff = rtGetInff();
    rtMinusInf = rtGetMinusInf();
    rtMinusInff = rtGetMinusInff();
}
/* Test if value is infinite */
static boolean_T rtIsInf(real_T value)
{
    return (boolean_T)((value==rtInf || value==rtMinusInf) ? 1U : 0U);
}
/* Test if single-precision value is infinite */
static boolean_T rtIsInff(real32_T value)
{
    return (boolean_T)(((value)==rtInff || (value)==rtMinusInff) ? 1U : 0U);
}
/* Test if value is not a number */
```

Figure 9. C Code Fragment Generated for Model Insertion

#### 4. Conclusion

In the study, an internet-based digital twin model is proposed. In the proposed method, a digital twin simulation of an FDM-based additive manufacturing machine is presented, using IoT devices for remote monitoring via sensors on or to be added to the additive manufacturing machine. Based on the sensor data from the machine, a virtual copy is created that represents the physical state of the system or its physical twin. The digital twin is modeled to detect abnormal physical conditions that have the potential to disrupt machine operation and affect the quality of the manufacturing part. The lack of an additive manufacturing machine equipped with sensors and connected to the internet in the real environment constitutes the limitation of the study.

As a result, the digital twin model simulation was carried out on an additive manufacturing machine as a case study. In the simulation, the representative media data sent by the single board computer that will make the objects connected to the internet and provide control is used as input to the digital twin. In the digital twin simulation, error situations that may occur in the operation of the machine are predicted with the analysis of the data. If the proposed system is implemented in real life, it will be possible to detect unusual errors in the manufacturing process of the additive manufacturing machine and intervene in the machine with the digital twin. In future studies, it is thought that the proposed system will be made with real devices and hardware.

#### Acknowledgment

The abstract of this manuscript was presented as an abstract at the “5th International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry”.

#### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

#### References

- Anonim. (2021). Nesnelerin internetinde dijital ikizlerin yükselişi. <https://www.endustri40.com/nesnelerin-internetinde-dijital-ikizlerin-yukselisi/>
- Asghari, P., Rahmani, A. M., & Javadi, H. H. S. (2019). Internet of Things applications: A systematic review. *Computer Networks*, 148, 241–261.
- Ashton, K. (2009). That ‘internet of things’ thing. *RFID Journal*, 22(7), 97–114.
- ASTM. (2020). Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies,. Retrieved September 3, 2020, from <https://www.astm.org/f2792-12.html>
- Aynacı, İ. (2020). Dijital İkiz Ve Sağlık Uygulamaları. *İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(1), 70–79.
- Babayiğit, B., & Büyükpatpat, B. (2019). Design and implementation of IoT-based irrigation system. 2019 4th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), 38–41.
- Bibow, P., Dalibor, M., Hopmann, C., Mainz, B., Rumpe, B., Schmalzing, D., Schmitz, M., & Wortmann, A. (2020). Model-driven development of a digital twin for injection molding. *Advanced Information Systems Engineering: 32nd International Conference, CAISE 2020, Grenoble, France, June 8–12, 2020, Proceedings*, 85–100.
- Burhan, M., Rehman, R. A., Khan, B., & Kim, B.-S. (2018). IoT elements, layered architectures, and security issues: A comprehensive survey. *Sensors*, 18(9), 2796.
- Çavdar, T., & Öztürk, E. (2018). A novel architecture design for the internet of things. *Sakarya University Journal of Science*, 22(1), 39–48.
- Çelebi, A. (2019). Investigation of fused deposition modeling processing parameters of 3D PLA specimens by an experimental design methodology. *Materials Testing*, 61(5), 405–410.
- Chen, H. (2016). A process modelling and parameters optimization and recommendation system for binder jetting additive manufacturing process. McGill University (Canada).
- Chhetri, S. R., Faezi, S., Canedo, A., & Faruque, M. A. Al. (2019). QUILT: Quality inference from living digital twins in IoT-enabled manufacturing systems. *Proceedings of the International Conference on Internet of Things Design and Implementation*, 237–248.
- Cruz, M., Parés, C., & Quintela, P. (2021). *Progress in Industrial Mathematics: Success Stories: The Industry and the Academia Points of View*. Springer.
- Corradini, F., & Silvestri, M. (2022). Design and testing of a digital twin for monitoring and quality assessment of material extrusion process. *Additive Manufacturing*, 51, 102633.
- Di Angelo, L., Di Stefano, P., Dolatnezhadsomarin, A., Guardiani, E., & Khorram, E. (2020). A reliable build orientation optimization method in additive manufacturing: The application to FDM technology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108, 263–276.
- Duman, B., & Özsoy, K. (2019). Endüstri 4.0 perspektifinde akıllı tarım. 4th International Congress on 3d Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry, 540–555.
- Duman, B., & Kayacan, M. C. (2016). Seçmeli Lazer Sinterleme Tezgâhı İçin İmalat Yazılımı Geliştirilmesi. *Uluslararası Teknolojik*

- Bilimler Dergisi, 8(3), 27–45.
- Entes. (2021). Dijital İkiz (Digital Twin) Nedir? Endüstri 4.0 ve Dijital İkizlerin Önemi. Retrieved September 1, 2021, from <https://www.ent.es.com.tr/dijital-ikiz-digital-twin-nedir-endustri-4-0-ve-dijital-ikizlerin-onemi/>
- Fernandes, E. (2020). Internet of Things (IoT) Market Size And Forecast. Retrieved July 14, 2020, from <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/global-internet-of-things-iot-market-size-and-forecast-to-2026>
- GE Company. (2021). GE Digital Twin: Analytic engine for the digital power plant. [https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download\\_assets/Digital-Twin-for-the-digital-power-plant.pdf](https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download_assets/Digital-Twin-for-the-digital-power-plant.pdf)
- Glaessgen, E., & Stargel, D. (2012). The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles. 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 14th AIAA, 1818.
- Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches*, 85–113.
- He, R., Chen, G., Dong, C., Sun, S., & Shen, X. (2019). Data-driven digital twin technology for optimized control in process systems. *ISA Transactions*, 95, 221–234.
- Huang, H., & Baddour, N. (2018). Bearing vibration data collected under time-varying rotational speed conditions. *Data in Brief*, 21, 1745–1749.
- İoturkiye. (2020). IoT ve Bulut Bilişim, Verilerin Geleceği Mi? Retrieved April 2, 2020, from <https://ioturkiye.com/2020/04/iot-ve-bulut-bilisim-verilerin-gelecegi-mi>
- Karakılınç, U., Yalçın, B., & Ergene, B. (2019). Toz Yataklı/Beslemeli Eklemeli İmalatta Kullanılan Partiküllerin Uygunluk Araştırması ve Partikül İmalat Yöntemleri. *Politeknik Dergisi*, 22(4), 801–810.
- Li, Z., Wang, Y., & Wang, K.-S. (2017). Intelligent predictive maintenance for fault diagnosis and prognosis in machine centers: Industry 4.0 scenario. *Advances in Manufacturing*, 5, 377–387.
- Liu, X., Kan, C., & Ye, Z. (2022). Real-time multiscale prediction of structural performance in material extrusion additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 49, 102503.
- Mathworks. (2021). Mathworks. <https://www.mathworks.com/>
- Medvedofsky, D., Mor-Avi, V., Amzulescu, M., Fernandez-Golfin, C., Hinojar, R., Monaghan, M. J., Otani, K., Reiken, J., Takeuchi, M., & Tsang, W. (2018). Three-dimensional echocardiographic quantification of the left-heart chambers using an automated adaptive analytics algorithm: multicentre validation study. *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging*, 19(1), 47–58.
- Mehmood, F. (2021). BME280-Sensor-Data. Retrieved September 2, 2021, from <https://www.kaggle.com/faisalawan/bme280sensordata>
- Miljanovic, D., Seyedmahmoudian, M., Stojcevski, A., & Horan, B. (2020). Design and fabrication of implants for mandibular and craniofacial defects using different medical-additive manufacturing technologies: a review. *Annals of Biomedical Engineering*, 48, 2285–2300.
- Mohammed, A., Elshaer, A., Sareh, P., Elsayed, M., & Hassanin, H. (2020). Additive manufacturing technologies for drug delivery applications. *International Journal of Pharmaceutics*, 580, 119245.
- Osho, J., Hyre, A., Pantelidakis, M., Ledford, A., Harris, G., Liu, J., & Mykoniatas, K. (2022). Four Rs Framework for the development of a digital twin: The implementation of Representation with a FDM manufacturing machine. *Journal of Manufacturing Systems*, 63, 370–380.
- Pamuk, N. S., & Soysal, M. (2018). Yeni sanayi devrimi endüstri 4.0 üzerine bir inceleme. *Verimlilik Dergisi*, 1, 41–66.
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2017). A framework of energy consumption modelling for additive manufacturing using internet of things. *Procedia CIRP*, 63, 307–312.
- Rao, P. K., Liu, J., Roberson, D., Kong, Z., & Williams, C. (2015). Online real-time quality monitoring in additive manufacturing processes using heterogeneous sensors. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 137(6), 061007.
- Rafiee, M., Farahani, R. D., & Therriault, D. (2020). Multi-material 3D and 4D printing: a survey. *Advanced Science*, 7(12), 1902307.
- Rengier, F., Mehndiratta, A., Von Tengg-Koblogk, H., Zechmann, C. M., Unterhinninghofen, R., Kauczor, H.-U., & Giesel, F. L. (2010). 3D printing based on imaging data: review of medical applications. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 5, 335–341.
- Siemens Healthineers. (2018). Exploring the possibilities offered by digital twins in medical technology. Retrieved April 24, 2018, from [https://static.healthcare.siemens.com/siemens\\_hwemhwem\\_sxxa\\_websitescontextroot/wcm/idc/groups/public/@global/@press/documents/download/mda4/nzm4/~edisp/exploring-the-possibilities-offered-by-digital-twins-in-medical-technology-05899262.pdf](https://static.healthcare.siemens.com/siemens_hwemhwem_sxxa_websitescontextroot/wcm/idc/groups/public/@global/@press/documents/download/mda4/nzm4/~edisp/exploring-the-possibilities-offered-by-digital-twins-in-medical-technology-05899262.pdf)
- Shi, Z., Mamun, A. A., Kan, C., Tian, W., & Liu, C. (2022). An LSTM-autoencoder based online side channel monitoring approach for cyber-physical attack detection in additive manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1–17.
- Sparkmeasure. (2020). Nesnelerin İnterneti'nin Temelleri. Retrieved July 9, 2020, from <https://www.sparkmeasure.com/b-136-nesnelerin-interneti%60nin-temel.html>
- Standardization, I. O. for. (2015). Additive Manufacturing: General: Principles: Terminology. ISO.
- Statista. (2016). IoT number of connected devices worldwide. Retrieved November 27, 2016, from <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/#:~:text=The total installed base of,fivefold increase in ten years.>
- Türkay, B. (2018). Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulamalarının Günümüzdeki Yeri. Retrieved June 22, 2018, from <https://medium.com/@Barturkay/nesnelerin-interneti-iot-uygulamalarinin-gunumuzdeki-yeri-736cd99e37d9>
- Ventura, K., Kabasakal, İ., Keskin, F. D., & Soyuer, H. (2019). Pazar ve Müşteri Yönlü IoT (Internet of Things-Nesnelerin İnterneti) Uygulamalarının İş Yazılımları Kapsamında Analizi. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 14(56), 507–521.
- Wiki. (2020). Nesnelerin İnterneti. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Nesnelerin\\_interneti](https://tr.wikipedia.org/wiki/Nesnelerin_interneti)
- Yap, Y. L., Wang, C., Sing, S. L., Dikshit, V., Yeong, W. Y., & Wei, J. (2017). Material jetting additive manufacturing: An experimental study using designed metrological benchmarks. *Precision Engineering*, 50, 275–285.

Yin, J., Lu, C., Fu, J., Huang, Y., & Zheng, Y. (2018). Interfacial bonding during multi-material fused deposition modeling (FDM) process due to inter-molecular diffusion. *Materials & Design*, 150, 104-112.





## ERGONOMİK RİSK ANALİZİ YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ: GIDA SEKTÖRÜNE YÖNELİK BİR UYGULAMA

Bayram ÇETİN<sup>1\*</sup>, Esra OĞUZ KILIÇ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Kırklareli, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Ergonomi, KİSR, Ergonomik Risk Analizi, Peynir Üretiminde REBA, Çalışma Ortamı.</i>	<p>Bu çalışmada bir süt fabrikasının beyaz peynir üretim bölümünde çalışan işçilerin REBA (Hızlı tüm vücut değerlendirme) yöntemine göre ergonomik açıdan risk analizi yapılmış ve değerlendirilmiştir. Bu yöntem kas iskelet sistemi rahatsızlıkları (KİSR) riskini daha az maliyetle ve kolayca değerlendirebilmek için önerilmiştir. Çalışma ortamındaki eksiklikler ve çalışanların duruşlarının uygun olmaması, çalışanların performanslarının düşmesine ve KİSR'na neden olmaktadır. Bu hastalıkların ortaya çıkmasını engellemek için uygun olmayan duruş ve ekipmanların değerlendirilmesi amacıyla ergonomik analizler yapılmaktadır. Ayrıca REBA tercih edilmesinin diğer sebebi, duruş esnasında vücudun bütün bölümlerini değerlendirmeye imkân sağlamasıdır. Yapılan bu çalışmada çok yüksek riskli olan duruş, cendere bezi çekme- teleme süzme işleminde tespit edilmiştir. Naylon çıkartma ve teneke kapatma işlemlerinde risk seviyesi yüksek, depo tanktan çiğ süt alımı, pastörizasyon ve teleme kırma işlemi yapan çalışanların risk seviyeleri düşük, geriye kalan tüm aşamalarda risk orta seviyededir. Çalışanlara ergonomik duruşlar ve yük taşıma, kaldırma ile ilgili eğitim verilmelidir. İşyerindeki ekipmanlar daha ergonomik olanlarla değiştirilmelidir.</p>

## EXAMINATION OF ERGONOMIC RISK ANALYSIS METHODS: AN APPLICATION TO THE FOOD INDUSTRY

Keywords	Abstract
<i>Ergonomics, MSD, Ergonomic Risk Analysis, REBA In Cheese Production, Working Environment.</i>	<p>In this study, ergonomic risk analysis of the workers working in the white cheese production department of a dairy factory was made and evaluated according to the REBA (rapid entire body assesment) method. This method has been proposed to evaluate the risk of musculoskeletal disorders (MSD) with less cost and easily. The deficiencies in the working environment and the inappropriate posture of the employees cause the performance of the employees to decrease and to MSD. In order to prevent the emergence of these diseases, ergonomic analyzes are carried out in order to evaluate inappropriate postures and equipment. In addition, another reason why REBA is preferred is that it allows to evaluate all parts of the body during posture. In this study, the posture, which is very high risk, was determined in the process of drawing cloth and curd straining. The risk level is high in nylon extraction and can closing operations, the risk level of employees who take raw milk from the storage tank, pasteurization and curd crushing is low, and the risk is medium in the remaining stages. Employees should be trained in ergonomic postures. Equipment in the workplace should be replaced with more ergonomic ones.</p>

### Alıntı / Cite

Oğuz Kılıç, E., Çetin, B., (2023). Ergonomik Risk Analizi Yöntemlerinin İncelenmesi: Gıda Sektörüne Yönelik Bir Uygulama, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 498-518.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
E. Oğuz Kılıç, 0000-0002-7264-7095	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> 17.03.2022
B. Çetin, 0000-0003-1321-7746	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b> 26.12.2022
	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b> 27.12.2022
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b> 28.06.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: bayram.cetin@klu.edu.tr, +90-288-214-0514

## EXAMINATION OF ERGONOMIC RISK ANALYSIS METHODS: AN APPLICATION TO THE FOOD INDUSTRY

Bayram ÇETİN<sup>1†</sup>, Esra OĞUZ KILIÇ<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Kırklareli University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Occupational Health and Safety, Kırklareli, Turkey

### Highlights

- Since food production processes use intensive human labor, it is very important to examine working postures from an ergonomic point of view.
- In general, workers complain of Musculoskeletal Disorders (MSDs) and REBA is the most appropriate method to determine the risk of MSDs.
- In the risk analysis of white cheese production using the REBA method, the highest REBA score was determined during the drawing cloth pulling-chilling filtering process.
- Food production processes should be designed or improved by conducting ergonomic risk analysis with appropriate methods.

### Graphical Abstract

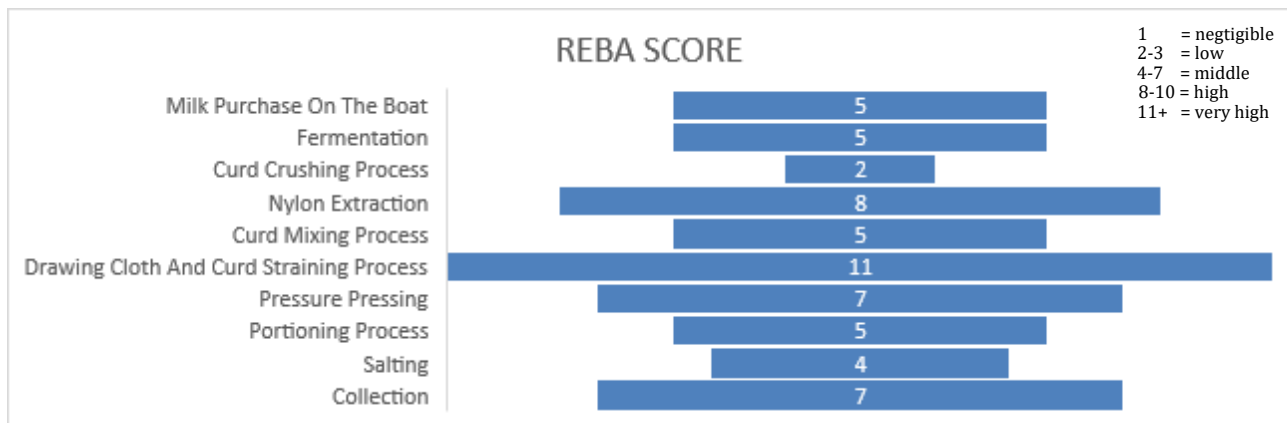


Figure. White Cheese Production Process REBA Scores

### Purpose and Scope

In this study, ergonomic risk analysis of the employees in the white cheese production process was carried out with the REBA method. In line with the analyzes made, it was aimed to organize the working environment, to minimize the musculoskeletal disorders that the workers complain about the most, to reduce the occupational accidents and occupational risks, and to increase the productivity and comfort.

### Design/methodology/approach

In this study, Rapid Entire Body Assessment (REBA), an observation based method of ergonomic risk analysis, was used. This method provides the opportunity to evaluate all parts of the body during the postures of the employees and the total risk level can be expressed quantitatively. If necessary, precautions are taken after applying ergonomic analysis methods in food sectors, ergonomics science will be a pioneer in preventing musculoskeletal disorders and increasing work efficiency.

### Findings

The detailed analysis findings obtained by the REBA method in this study are shown in the graphic above.

### Practical implications

It is emphasized that public or private sector food enterprises should design their production processes by conducting ergonomic risk analysis. Thus, it is thought that the quality of life and productivity of employees will increase.

### Originality

This study is unique in that it is the first ergonomic risk analysis conducted with REBA method in the white cheese production process in the dairy sector in Turkey. It is thought that it can lead to future studies in different food sectors and production processes.

<sup>†</sup> Corresponding author: bayram.cetin@klu.edu.tr, +90-288-214-0514

## 1. Giriş (Introduction)

Gıda sektöründe üretim bölümü, günümüzde halen insan emeğinin yoğun olarak kullanıldığı bir yerdir. Özellikle teknolojik imkanların gelişmesiyle, insan emeğine dayanan ihtiyaç azalsa da bazı üretim süreçlerinde en önemli üretim faktörünün insan emeği olduğunu söylemek mümkündür. Bu yüzden çalışma duruşlarının ergonomik bakımdan incelemeye alınması büyük önem arz etmektedir.

İnsan gücüne ihtiyaç olan üretim sektörlerinde, özellikle de ülkemizde ergonomik risk analizi çalışmalarının yetersiz olduğu görülmektedir. Genel olarak baktığımızda, çalışanların en çok kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarından (KİSR) yakındığı görülmektedir. Endüstrinin hızla gelişimi, iş kazaları ve meslek hastalıklarına karşı iş görenlerin sağlık ve güvenlik sorununu ortaya çıkarmıştır. Bu da beraberinde ergonominin önemini arttırmıştır. Ergonomi, işyerlerinin çalışana uygun olacak şekilde tasarlanmasını sağlayan bir bilimdir. Ergonominin amacı işyerini, makine ve çevre koşullarını çalışanın antropometrik yapısına göre belirlemek, gereken önlemleri almak, çalışanların çevreyle, makine ve genel olarak işe uyumunu sağlayıp verimini yükseltmektir. Kas iskelet sistemi rahatsızlıkları arasında en çok rastlanan rahatsızlık bel ağrısıdır. Bununla beraber bu alanda birçok hastalık söz konusudur. Tekrarlayan hareketler ve vücuttaki zorlanmalar ile birikimli travmalar mesleki KİSR'nın meydana gelmesinde en önemli iki faktördür (Bilir, 2007). Bu rahatsızlıkların önüne geçebilmek için tüm dünyada, özellikle ülkemizde ergonomi bilimi üzerinde durmak gerekir.

Ergonomi, birçok işletmede iş kazası ve meslek hastalıklarının önlenmesi amacı ile olası risk faktörlerinin ortadan tamamen kaldırılıp ya da azalmasına odaklanan, İş Sağlığı ve Güvenliği kavramının önemli bir bileşeni olarak dikkate alınmaktadır. Ergonomi, işletmelerde İş Sağlığı ve Güvenliği politikalarının vazgeçilmez bir parçası olarak yerini almalı ve çalışma şartlarının iyileştirilip geliştirilmesi için bu politikaların işletmelerin stratejik hedefleri ile de entegre edilmesi gerekmektedir (Sakalar, 2018).

Çalışma duruşlarının analizi için birçok ergonomik risk yöntemi geliştirilmiştir. Gözleme dayanan yöntemler, direkt ölçüm ekipmanlarının kullanıldığı yöntemler ve kişisel anket yöntemleri olmak üzere 3 ana başlık altında bu yöntemler toplanabilir. Kişisel anket yöntemleri, KİSR oluşma riskinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılan sübjektif yöntemlerdir. Kişisel anket yöntemleri olarak kontrol listeleri ve anketler kullanılır. Bu yöntemlerden literatürde çokça anlatılanlardan KİS Anketi, Alman KİS Rahatsızlık Anketi, Cornell KİSR Taraması, Vücut Rahatsızlık Haritası, Hissedilen Çaba Derecesi (RPE), ve RPE'ye dayanan İsveç Mesleki Yorgunluk Envanteri (SOFI) belirtilebilir. Çalışanların duruşlarını ve hareketlerini değerlendirebilmek için birçok direkt ölçüm yöntemleri vardır. Bu ölçümler için sırasıyla kas faaliyetleri, açı sapmaları, güçler ve vücut hareketleri hakkında ayrıntılı gerçek sayısal bilgiler veren elektromiyografi, açılçer, biyomekanik analiz ekipmanları ve optik araçlar kullanılmaktadır. Sistematik gözleme dayalı yöntemler ise KİSR oluşum riskini sistematik olarak kaydedip, aynı zamanda nicel değerlendirmeler yapmak için yapılan gözlemsel yöntemlerdir (Özel ve Çetik, 2010). Gözleme dayalı yöntemler, basit gözleme dayalı yöntemler (NIOSH, MAC, RULA, OCRA, QEC, REBA, OWAS, KIM) ve gelişmiş gözleme dayalı yöntemler (3D Match, Ergo-Man, Sammie Cad, 3DSSPP, RAMSİS Model, SANTOS, ANYBODY, HumanCAD, LifeMod)den oluşmaktadır (Atasoy Mert, 2014).

Genellikle ergonomik risk analizi yapılan sektörlerde, çalışma sırasında sıklıkla tekrarlanan statik ve dinamik duruşlar ve özellikle üst ekstremitte duruşları göz önüne alınarak REBA, RULA (Rapid Upper Limb Assessment) ve OCRA (Occupational Repetitive Actions Index) yöntemleri uygulanmaktadır. OCRA ve RULA yöntemlerinde üst vücut hareketlerinin ergonomik incelemesi yapılmaktadır. Özellikle el, bilek, dirsek ve omuz gibi temel üst vücut elemanlarının çalışma duruşları ve hareketleri OCRA indeksi ve RULA ile analiz edilmektedir. Bu çalışmada çalışanlar üst ve alt vücut bölümlerine baskı uyguladıklarından, analiz için REBA metodu uygun görülmüştür.

REBA analiz yöntemi, Hignett ve McAtamney isimli ergonomistler tarafından dizayn edilmiştir. Bu analiz 1995'te Avustralya Ergonomi Derneğinin Konferansında anlatılmış ve 2000 yılında yayımlanmıştır. REBA analizi, bir işin kritik olan her görevi için, her bölgeye puan vererek vücut duruş faktörlerini değerlendirme işlemidir. REBA analizi işle ilgili kas iskelet sistemi bozuklukları risk durumunu ergonomik veya pahalı ekipmanlara ihtiyaç duyulmadan kolay bir şekilde değerlendirebilmek için bir araç olarak önerilmiştir (Kahraman, 2012).

İşyerlerinin ergonomik olarak düzenlenmesi hem çalışan sağlığı, hem de verimlilik ve motivasyon açısından önemlidir. Bu nedenle ergonomik düzenlemeler, hem çalışanın performansını artırması ve rahat bir işyerinde çalışması, hem de iş verimini artırması konusunda oldukça fayda sağlayacaktır. Yapılan bu çalışmanın amacı, çalışma sırasındaki duruşların incelenip, uygun olmayan duruşların yol açtığı KİSR'nın riskini önceden tahmin edip, bu hastalıkları en aza indirmek ve duruşlarda iyileşmeler sağlamaktır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde, literatür taraması ve vücudun işle ilgili bozuk duruşlarını ve risklerini tahmin

etmek için kullanılabilen Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi (REBA) yönteminin nasıl uygulanacağı anlatılmıştır. İkinci bölümde, gıda sektörünün süt ve süt ürünleri alanından, beyaz peynir üretimi yapan fabrikanın çalışanları üzerinde uygulama ve sonuçları anlatılmıştır. Literatürde, gıda sektörü üzerine yapılmış ergonomik risk analizleri yok denecek kadar azdır. Ayrıca bu çalışma ülkemizde peynir üretim prosesine ergonomik risk analiz yöntemlerinden REBA metodunun uygulandığı ilk çalışma olmuştur.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Günümüzde, birçok sektörde insan gücüne olan gereksinim azalmıştır, fakat bazı üretim alanlarında hala yoğun bir insan gücü ile çalışmalarının yapıldığını görmekteyiz. İnsan gücü ile devam eden sistemlerde, ergonomik düzeltmeler yapılmadığı takdirde çalışanlarda işe bağlı KİSR'nda artış gözlemlenecektir. Çalışma ortamlarındaki ergonomik riskleri analiz etmek amacıyla birçok yöntem tavsiye edilmektedir. Bu analiz yöntemlerinin birçoğu farklı özelliklere sahiptir ve geneli, çalışırken çalışanın duruşunu değerlendirmek veya yaptığı işin unsurlarını ele almak üzere dizayn edilmiştir (Kahraman, 2012).

Sa vd. (2006), dış bilimi hizmetlerinde duruş zorluklarını değerlendirilmek için, dış hekimliği öğrencilerinin duruşlarını ve iş pozisyonlarını REBA ve RULA analiz yöntemlerini karşılaştırarak risk analizi yapmışlardır. Yapılan çalışmada REBA skoru 7.1 ve RULA skoru 5.5 olarak belirlenmiş, orta derecede risk görüldüğü için ufak düzeltmelere ihtiyaç duyulduğu ifade edilmiştir. Araştırmacılar sonuç olarak dış bilimi hizmetinde çalışanların işlerinin büyük bir bölümünde vücutlarının üst kısımlarını kullanarak çalıştıkları için RULA yöntemi ile daha sağlıklı analiz sonuçlarına ulaşılacağı görüşüne varmışlardır.

OSHA (2012), Dökümhanelerde Kas İskelet Yaralanmalarının Önlenmesine Yönelik Çözümler yayınında Çalışanların ergonomi ile ilgili konularda, aktif katılımlarının ergonomik bir değerlendirme sonucunda yapılan iş değişikliklerini kabul etmelerine yardımcı olacağını ve hem iş içinde hem de iş dışında ergonomik ilkelerin daha iyi anlaşılmasını sağlayacağı vurgulanmıştır. Yayında, birçok dökümhane çalışanlarının KİSR risklerini en aza indirmenin ergonomik çözümler olduğu ve tesislerin ergonomik çözümleri uyguladıkları sonucuna varılmıştır. Bu çözümler, yeni ekipman satın almayı veya mevcut olan ekipmanı değiştirmeyi, iş uygulamalarında değişiklikler yapmayı ve üretim sürecine yardımcı olacak yeni araçlar satın almayı içermektedir. Bu değişikliklerin dökümhane işlerinin fiziksel taleplerini azalttığını gereksiz hareketleri ortadan kaldırdığını ve yaralanma oranlarını bununla ilişkili işçi tazminat maliyetlerini azalttığı, böylelikle iş verimini ve üretimin arttığı kanaatine varılmıştır.

Esen ve Fiğlalı (2013), kas iskelet sistemi rahatsızlıklarında, çalışma duruşlarının önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bu yüzden, vücudun uygun olmayan duruşlarının meydana getirdiği risk düzeyinin ve alınacak tedbirlerin ivedilik derecelerinin belirlenmesi gerektiği, aynı zamanda tek bir uygun pozisyon olmadığının unutulmaması gerektiğini savunmuşlardır.

Sağiroğlu vd. (2015), bir kompresör işletmesinde, 10 iş istasyonunda REBA yöntemi kullanarak risk analizi yapmışlardır. Ulaştıkları REBA skorları 6-7 olarak tespit edilmiş ve yapılan iyileştirmeler sonucu skorlar düşürülmüştür. Çalışmalarındaki en büyük kazancın, uygulamaya alınan iyileştirme faaliyetlerinin olduğunu belirtmişlerdir.

Ünver Okan ve Kaya (2015), Trabzon Of fidanlığında yaptıkları çalışmalarında REBA yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda risk seviyesi 7 bulunmuş ve işçilerin Orta seviyede risk altında olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmalarındaki bulgular ile bu çalışmadaki bulgular genel itibari ile benzerdir.

Yine aynı yıl Atıcı vd. (2015), bir kablo donanımları fabrikasında yaptıkları bir çalışmada, REBA yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarında; kablo demetleme ve konveyör hattında montaj işlemini ele almışlardır. Çalışanların duruşlarının ergonomik yönden uygunsuz olduğunu, risk seviyesinin en yüksek kablo döşeme aşamasında tespit etmişlerdir. REBA skorları tüm aşamalarda 'yüksek' olarak bulunmuştur. Çalışmalarında ulaştıkları risk skorları, yapılan bu çalışmaya göre risk seviyeleri daha yüksektir.

Çoker (2017), İzmir'de bir tekstil firmasında yaptığı çalışmasında REBA yöntemini kullanarak ergonomik risk analizi yapmıştır. Analiz sonucunda firmanın bölüm ve kısımlarının 2-12 arası değişen REBA skorlarına sahip olduğunu tespit etmiştir. Çalışmasında KİSR riski, REBA yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmasında, ulaştığı REBA skorları yapılan bu çalışmada ulaşılan sonuçlara yakındır. Bir mobilya işletmesinin montaj kısmında ergonomik risk analizi çalışmalarında, REBA metodunu kullanmış, bu metodun, vücudun bütün bölümlerini analiz ettiği ve pratik bir metot olduğundan tercih edildiği belirtilmiştir (Çiçek vd., 2018).

Ergonomik analiz çalışmalarına ilişkin literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır (Doğru Yenigün, 2006; Koçak, 2007; Karabacak, 2016; Erçelik, 2017; Arslan, 2018; ve Zorlutuna, 2021). Gıda sektöründe, ergonomik risk analizleri ile ilgili Sevimli vd. (2018), ve Berber (2020)'in yaptığı çalışmalar olmasına rağmen, bu çalışma süt sektöründe, peynir üretimi ile ilgili yapılan ilk çalışma olma özelliğine sahip olmakla birlikte, sektörde yapılacak yeni çalışmalara referans olması beklenmektedir.

Genel itibari ile literatüre bakıldığında birçok sektörde KİSR riskinin, REBA analiz yöntemi ile hesaplanabileceği kanaatine varılmıştır. REBA yöntemi haricinde uygunsuz duruşları, analiz etmek için birçok yöntem mevcuttur. Önemli olan, yapılan çalışmaya en uygun olan yöntemi belirlemektir. Bu çalışmada uzmanlar tarafından sıkça tercih edilen REBA yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemi seçerken özellikle sonucunun nicel olmasına ve kolay uygulanabilir olmasına dikkat edilmiştir.

Gıda sektörlerinde daha fazla araştırmalar yapılırsa ve işletmelerde ergonomik analizler yapıldıktan sonra gereken düzenlemeler uygulanırsa, ergonomi bilimi kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının önüne geçilmesine ve verimliliğin artırılmasına katkısı olacaktır.

Bu çalışma ile peynir üretiminde ergonomik yönden uygun olmayan duruşları belirlemek, KİSR'na yakalanma riskini azaltmak, bu duruşların çalışanın verimine etkisini ölçmek ve iş görenler için daha ergonomik bir çalışma ortamı oluşturmak amaçlanmıştır. Ergonomik açıdan uygun çalışma duruşları, çalışanların performansını/verimini artırma yönünden büyük önem arz etmektedir.

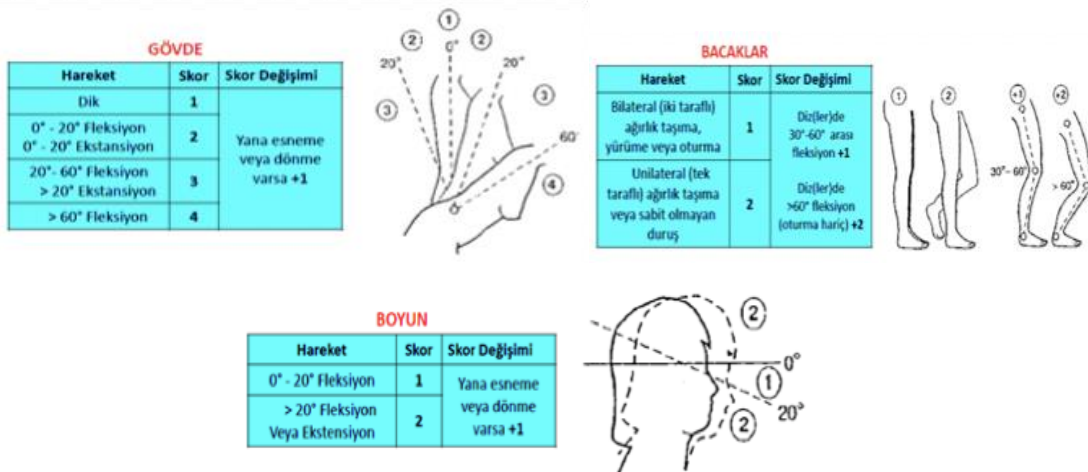
### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada, ergonomik risk analizi yöntemlerinden, basit gözleme dayalı yöntemlerden biri olan ve en çok tercih edilen REBA (Hızlı tüm vücut değerlendirmesi) analiz yöntemi seçilmiştir. Çünkü peynir üretiminde çalışanların iş esnasında genel olarak tüm vücutlarını kullandıkları ve çalışmalarının tekrarlı olduğu gözlemlenmiştir. OCRA ve RULA analiz yöntemlerinin ise, sadece üst vücut kısımlarının kullanıldığı işlerin analizinde uygulanması daha uygundur.

REBA yönteminde çalışanların duruşu ve vücudun bölümlerine ayrı ayrı puanlar verilerek değerlendirme yapılmaktadır. Yöntemin uygulanması için Kırklareli ilinde faaliyet gösteren bir süt fabrikasında, beyaz peynir üretimi yapan personellerin yaptığı işlerin fotoğrafı çekilmiştir. Fabrikanın üretim bölümünde, toplam 14 kişi çalışmaktadır. Analizi yapılan bireyler rastgele seçilmiş olup, 10 farklı görev duruşunun ayrı ayrı REBA yöntemiyle analizi yapılmış ve tablolarda hesaplamalar gösterilmiştir. Ulaşılan skora göre duruş yorumlanıp, alınması gereken önlemin hız seviyesi belirlenmiştir.

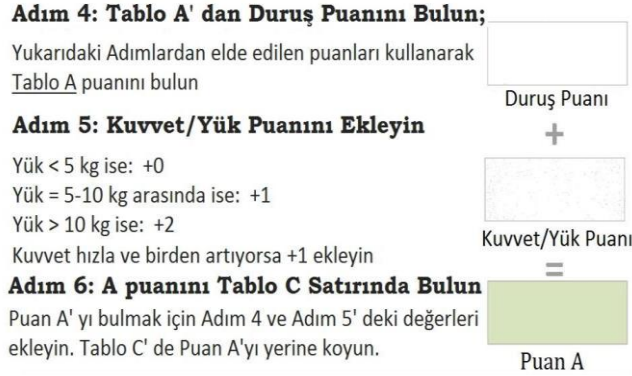
#### 3.1. Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi Yöntemi (Rapid Entire Body Assessment Method)

Analizi yapılmak istenen duruş ya da faaliyetin sebep olduğu toplam risk seviyesi, REBA analizinde nicel şekilde ifade edilir. Nicel olarak ifade edilebilen bu risk seviyesi, analizi yapılan duruştaki özel faaliyet/hareket ve pozisyonların ayrı ayrı ortaya çıkaracakları risk ve tehlikeli durumları belirlemeye yardımcı olur. Belirtilen her faaliyet veya duruş alt ve üst vücut için açılara ayrılmıştır. Toplam skor boyun, gövde ile alt ve üst uzuvların pozisyonlarının birleşimi ile hesaplanmaktadır (Kocabaş, 2009). REBA analiz yöntemini uygularken ilk önce boyun, gövde ve bacak puanlarını kapsayan Tablo A değeri hesaplanmalıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Boyun, Gövde ve Bacak Puanları (Neck, Torso and Leg Scores) (Atıcı vd., 2015)

Tablo 1'den elde edeceğimiz skora "Kuvvet/Yük" puanı eklenir, Şekil 2'de görüldüğü gibi "A Puanı" değeri bulunmuş olur.

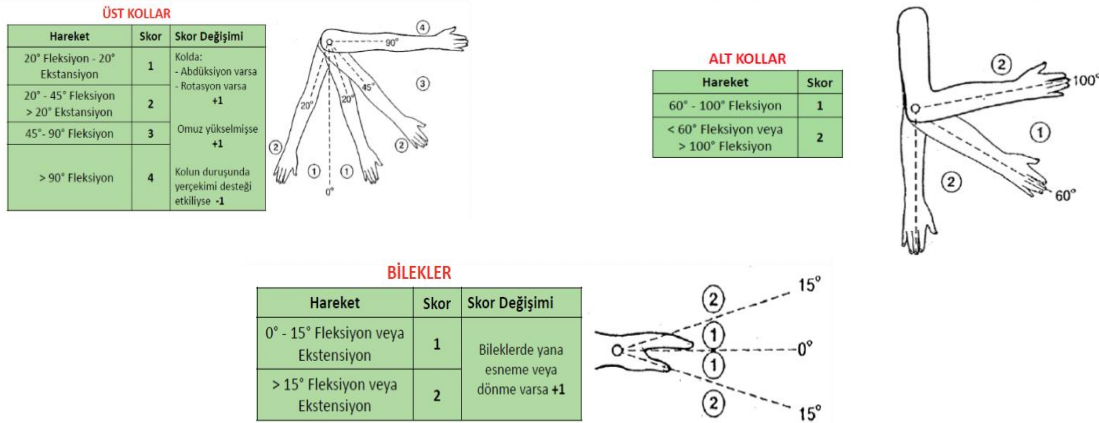


Şekil 2. Puan A Değerini Bulma (Score Finding The A Value) (Ayan, 2015)

Tablo 1. REBA A Tablosu (REBA A Table) (Atıcı vd., 2015)

		BOYUN											
		1				2				3			
		BACAĞLAR				BACAĞLAR				BACAĞLAR			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
GÖVDE PUANI	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	4	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	5	6	7	6	7	8	9	7	8	9	9

2. basamak, Tablo B değeri hesaplanmasının "Kol ve El Bileği Çözümlemeleri" ile yapılmasıdır (Şekil 3).



Şekil 3. Kol ve El Bileği Puanları (Arm and Wrist Points) (Atıcı vd., 2015)

Tablo 2'den B değerine ulaşılır. Bu değere, kavramanın zorluk derecesine göre "Kavrayış Puanı" eklenmelidir (Tablo 3).

**Tablo 2.** REBA B Tablosu (REBA B Table) (Atıcı vd., 2015)

		ALT KOL PUANI					
		1			2		
		BİLEK PUANI			BİLEK PUANI		
		1	2	3	1	2	3
ÜST KOL PUANI	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

**Tablo 3.** Ekipmanı Kavrama Değerleri (Equipment Grasp Values) (Atıcı vd., 2015)

Derece	Açıklama	Skor
İyi	Çalışma yaparken güvenli bir tutma kolu varsa, orta şiddet ile kavrama gücü	0
Uygun	Ekipmanı tutma şekli uygun ama ideal değil ya da vücudun başka bir bölgesi ile ekipmanı kavrama mümkünse	1
Kötü	Ekipmanın tutuşu uygun değil ama mümkünse	2
Uygun değil	Ekipmanın tutuşu zor ve güvenli değil, tutma kolu yoksa Vücudun herhangi bir bölgesi ile tutma uygun değilse	3

3. basamak olarak; Tablo C değeri, A ile B tablolarının değerlerinin Tablo C'deki kesişimleridir. Bu Tablo C değerine, yapılan hareketin sıklık ve hangi şartlarda yerine getirildiği anlamına gelen "Faaliyet/Aktivite Puanı" da eklenecektir.

**Adım 13: Faaliyet Puanı**

- +1 Bir veya daha fazla vücut parç.
- +1 Kona aralıklarla tekrarlanan fi.
- +1 Duruşta kayıtdağer değişikli.

**Şekil 4.** Tablo C Skorunun bulunması (Finding Table C Score) (Ayan, 2015)

REBA C tablosunda, toplam Tablo A skoru işaretlenir, daha sonra Tablo B skoru işaretlenir. Bu puanların kesiştiği puan değeri C skorunu verecektir (Şekil 4). C skoruna ek olarak aktivite değeri Tablo 4'e göre eklendiğinde, ulaşılan sonuç REBA skoru olacaktır. Bu skora göre risk düzeyi aşağıdaki gibi değerlendirmeye alınır;

- 1:** İhmal edilebilir, önlem gerekmez.  
**2-3:** Risk düzeyi düşük, ihtiyaç olursa iyileştirme yapılmalıdır.  
**4-7:** Risk düzeyi orta, daha çok inceleme ve yakın zamanda düzeltmeler yapılmalıdır.  
**8-10:** Risk düzeyi yüksek, acil düzeltmeler yapılmalıdır.  
**11+:** Risk seviyesi çok yüksek, hemen düzeltmeler yapılmalıdır.

**Tablo 4.** Aktivite/skor değeri (Activity/score Value)

Aktivite (Etkinlik)	Skor
Vücudun bir ya da birden çok bölgesi sabitse	<u>+1</u>
Yapılan iş kısa aralıklarla tekrar ediliyorsa	<u>+1</u>
Çalışma, duruşta hızlı ve büyük bir değişikliğe sebep oluyor ise ya da sabit olmayan bir zeminde çalışma yapılıyorsa	<u>+1</u>

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

Bu çalışma bir süt fabrikasının beyaz peynir üretim bölümünde çalışan 14 çalışan üzerine yapılmış olup, toplam 10 görev ele alınmıştır. Çalışma sonucunda yüksek riskli ve çok yüksek riskli duruşlar belirlenip, düzeltilmesi için tavsiyelerde bulunulmuştur. Ergonomik açıdan uygun çalışma duruşları, çalışanların verimini artırma yönünden önem arz etmektedir.

##### 4.1. Tekneye Süt Alımı (Milk Purchase On The Boat)

Pastörize edilen süt daha sonra  $35 \pm 3$  °C'ye soğutulup, Şekil 5'te görüldüğü gibi mayalama için cendere bezi ve naylon serilmiş temiz tenekelere alınmaktadır. Bu aşamada personel yaklaşık 10 dakika iki kolunu kullanarak boruyu tutmakta ve aynı işi tüm tekneler için tekrar etmektedir.



**Şekil 5.** Tekneye Süt Alım İşlemi (Milk Intake To The Boat Process)

Teknelere süt alımı yapan çalışanın incelenmesi sonucunda A Grubu puanı hesaplaması için;

- Gövdesinin 0-20 derece arasında eğilerek çalışma yaptığı gözlemlenmiştir. Bunun için gövde puanı 2,
- Boyunda 0-20 derece öne eğilerek çalıştığı gözlemlendiğinden boyun puanı 1,
- Bacakları incelendiğinde resimde (Şekil 5) görüldüğü gibi dengesiz durduğundan puan 2 olarak belirlenmiştir. Ayrıca dizlerinde 30-60 derece arasında bükülme olduğundan puanına +1 puan daha eklendiğinde toplam puanı 3,
- Yük/kuvvet puanı da 5 kg'dan küçük olduğundan 0 belirlenmiştir.

Tablo 1'den A Grubu puan toplamı 4 bulunmuştur. B Grubu puanı hesaplaması;

- Üst kolların hareketi resimde görüldüğü gibi 20 derecelik gerilme olduğundan puanı 1,
- Alt kolu ile yük kavradığından 60-100 derece arasında bir bükülme yaptığından puanı 1,
- Bileğini 15 dereceden daha büyük bir açı ile büküğünden puanı 2, aynı zamanda yana döndürüp boruyu tuttuğu için +1 puan daha eklenip toplam puanı 3,
- El tutuşu uygun değil, ama mümkün olduğundan kavrama puanı 2,
- Yapılan aktivitenin skor değeri; bir ya da birden çok vücut bölgesi sabit (hortumu 1 dakikadan daha uzun süre tutma) olduğundan 1 puan eklenir.

Tablo C den, Tablo A ve Tablo B skorlarının kesişimleri, Tablo C değerini verecektir. Buna aktivite skoru da eklenince Tablo 5'te görüldüğü gibi REBA skoru ortaya çıkacaktır.



**Tablo 5.** Teknelere Süt Alım İşlemi Yapılırken Risk Seviyesi (Risk Level During Milk Intake On Boats)

Grup A		Tablo A değeri	Tablo B değeri	Grup B	
Gövde	2	4	2	1	Üst Kol
Boyun	1			1	Alt Kol
Bacaklar	3			3	Bilek
Yük/ Kuvvet		0	2		Kavrama
<b>A Skoru</b>		4	4		<b>B Skoru</b>
	<b>C Skoru</b>	4			
	Aktivite Skoru	+1			
	<b>REBA Skoru</b>	<b>5</b>			

Yapılan analiz sonucunda, teknelere süt alım işlemi yapılırken REBA skoru 5 bulunmuştur. REBA skoru 4-7 arası olduğundan, risk seviyesi orta, önlem alınması gereklidir. Öneri olarak tekneler, biraz daha gövde hizasına kadar gelecek şekilde yükseltilebilir. Çalışana, bacak duruşunu düzeltmesi ve bileklerini döndürmemesi gerektiği duruş eğitimi ile iletilmelidir.

#### 4.2. Mayalama (Fermentation)

Üretim müdürü tarafından maya testi yapılarak, maya miktarı tespit edildikten sonra Şekil 6'da görüldüğü gibi sürahi yardımıyla, tekneler ayrı ayrı mayalanmaktadır. Pıhtı oluşması için beklenilir.



**Şekil 6.** Mayalama İşlemi (Fermentation Process)

Mayalama işlemi yapan çalışanın duruşu incelendiğinde A grubu puan hesaplaması;

- Gövdesi ile 0-20 derecelik açı arasında eğilerek çalışma yaptığından gövde puanı 2,
- Çalışanın boynuna bakılırsa, 20 dereceden daha büyük bir açı ile öne doğru bükülme yaptığından puanı 2,
- Bacakları incelediğimizde, tek bacak üzerine yüklenmiş ve dengesiz duruş yaparak çalışma yapıldığından puanı 2, aynı zamanda 30-60 derece arasında bir açı ile dizinde bükülme olduğundan +1 puan daha eklenmelidir. Böylece bacak puanı toplamı 3,
- Elindeki maya sürahisi 5 kg'dan küçük olduğu için yük/kuvvet puanı 0 olacaktır.

Buna göre Tablo A değeri gövde, boyun ve bacak puanları birleşiminden 5 bulunmuştur. Yük/kuvvet puanı 0 olduğundan A skoru 5 olacaktır. B grubu puan hesaplaması;

- Üst kolu ile geriye 0-20 derecelik açı ile esneme yaparak çalışma yaptığından puanı 1,
- Alt kolu ile 60-100 derecelik bir açı ile bükme yaptığından puanı 1,
- Bileği ile sürahiyi 15 dereceden daha büyük bir açıyla döndürüp tuttuğundan puanı 2'dir. Ayrıca bileğini döndürdüğünden +1 puan daha eklenmelidir. Böylece bilek puanı 3,
- Sürahide iyi bir tutma kolu ve sürahiyi orta şiddette kavradığından derecesi iyidir ve kavrama değeri 0'dır.

Buna göre Tablo B'den, B skoru 2 bulunmuştur. Tablo C'de, A skoru ile B skoru birleşiminden C skoru 4 bulunmuştur. Aktivite skor değeri, 20 adet tekneyi tekrarlayarak mayalama işlemi yaptığından yani; kısa aralıklarla tekrar eden bir iş olduğundan (yürüme dışında), Tablo C skoruna ek olarak 1 puan eklenecektir.

**Tablo 6.** Mayalama İşlemi Yapılırken Risk Seviyesi (Risk Level When Fermentation)

Grup A		Tablo A değeri	Tablo B değeri	Grup B	
Gövde	2	5	2	1	Üst Kol
Boyun	2			1	Alt Kol
Bacaklar	3			3	Bilek
Yük/ Kuvvet		0	0		Kavrama
<b>A Skoru</b>		5	2		<b>B Skoru</b>
	<b>C Skoru</b>	4			
	Aktivite Skoru	+1			
	<b>REBA Skoru</b>	<u>5</u>			

Yapılan analiz sonucunda, REBA skoru 5 bulunmuştur (Tablo 6). Skor 4-7 arası olduğundan risk seviyesi ortadır. Tedbir almak gerekir. Tavsiye olarak duruşlarla ilgili bir eğitim düzenlenmelidir.

### 4.3. Teleme Kıрма İşlemi (Curd Crushing Process)

Teleme kırma zamanına karar vermek ustalık gerektiren bir aşamadır. Zamanı gelen teleme, temizlik planına göre hijyenik bir ekipmanla Şekil 7'de görüldüğü gibi insan gücü kullanılarak kırılmaktadır.



**Şekil 7.** Teleme Kıрма İşlemi (Curd Crushing Process)

Teleme kırma işlemi yapan çalışanın duruşu incelendiğinde A grubu hesaplaması için;

- Gövdesi dik olarak çalışma yaptığından gövde puanı 1,
- Çalışanın boynuna bakılırsa 0-20 derece arası bir açı ile bükülme yaptığından puanı 1,
- Bacakları incelediğimizde iki bacak üzerine yük bindiğinden puanı 1,
- Elindeki teleme kırma aleti 5 kg'dan küçük olduğu için yük/kuvvet puanı 0 olacaktır.

Buna göre Tablo A değeri gövde, boyun ve bacak puanları birleşiminden 1 bulunmuştur. Yük/kuvvet puanı 0 olduğundan A skoru 1 olacaktır. B grubu puan hesaplaması;

- Üst kolu öne doğru 20 dereceden daha büyük bir açı ile esneme yaparak çalışma yaptığından puanı 2,
- Alt kolu ile 60-100 derecelik bir açı ile bükme yaptığından puanı 1,
- Aleti 0-15 derece arasında bir açı ile tuttuğundan bilek puanı 1'dir. Ayrıca bileğini yana döndürdüğünden +1 puan daha eklenmelidir. Böylece bilek puanı 2,

Buna göre Tablo B'den, B skoru 2 bulunmuştur. El tutuşu uygun ama ideal olmadığından kavrama değeri 1'dir.

B skoruna, kavrama değeri de eklendiğinde B skoru 3 olacaktır. Tablo C'de, A skoru ile B skoru birleşiminden C skoru 1 bulunmuştur. Aktivite/etkinlik skor değeri; bir veya birden çok vücut bölgesi sabit durduğundan +1 puan Tablo C skoruna eklenecektir.

**Tablo 7.** Teleme Kırma İşlemi Yaparken Risk Seviyesi (Risk Level When Curd Crushing Process)

Grup A		Tablo A değeri	Tablo B değeri	Grup B	
Gövde	1	1	2	1	Üst Kol
Boyun	1			1	Alt Kol
Bacaklar	1			3	Bilek
Yük/ Kuvvet		0	1		Kavrama
<b>A Skoru</b>		1	3		<b>B Skoru</b>
	<b>C Skoru</b>	1			
	Aktivite Skoru	+1			
	<b>REBA Skoru</b>	<u>2</u>			

Yapılan analiz sonucunda, teleme kırma işini yapan çalışanın REBA skoru (Tablo 7), 2-3 arası olduğundan risk seviyesi düşüktür. Önlem almak gerekli olabilir.

#### 4.4. Naylon Çıkarma (Nylon Extraction)

Teleme, istenen şekilde çöktükten sonra naylonlar iki kol yardımı ile tüm vücudunu kullanarak var olan tüm gücüyle Şekil 8'de görüldüğü gibi çekilerek çıkarılır. Kullanılan naylonlar tek kullanımlıktır.



**Şekil 8.** Naylon Çıkarma İşlemi (Nylon Subtraction)

Naylon çıkarma işini yapan çalışanın duruşu incelendiğinde A grubu hesaplaması için;

- Gövdesi, 0-20 derece arası bir açı ile öne doğru bükülme olduğundan puanı 2,
- Çalışanın boynuna bakılırsa 0-20 derece arası bir açı ile öne doğru bükülme yaptığından puanı 1,
- Bacakları incelediğimizde, iki bacak üzerinde çalışma yaptığından puanı 1,
- Eli ile çektiği naylon 5 kg'dan küçük olduğu için yük/kuvvet puanı 0 olacaktır.

Buna göre Tablo A değeri gövde, boyun ve bacak puanları birleşiminden 2 bulunmuştur. Yük/kuvvet puanı 0 olduğundan A skoru 4 olacaktır. B grubu puan hesaplaması;

- Üst kolu öne doğru 0-20 derece arası bir açı ile bükme yaparak çalışma yaptığından puanı 2, omuzları yukarı kalkık olduğu için 1 puan ekleme olacaktır. Toplam puan 3 olacaktır.
- Alt kolu ile 100 derece üstünde bir açı ile bükme yaptığından puanı 2,
- Naylonu 15 dereceden daha büyük bir açı ile tuttuğundan, bilek puanı 2'dir. Ayrıca bileğini döndürdüğünden +1 puan daha eklenmelidir. Böylece bilek puanı 3'tür.

Buna göre Tablo B'den B skoru 5 bulunmuştur. El tutuşu uygun değil ama mümkün olduğu için kavrama değeri 2'dir. B skoruna, kavrama değeri de eklendiğinde, B skoru 7 olacaktır. Tablo C'de, A skoru ile B skoru

birleşiminden C skoru 7 bulunmuştur. Aktivite/etkinlik skor değeri, kısa aralıklarla dörtten fazla naylon çıkarma işlemini yaptığından +1 puan, Tablo C skoruna eklenecektir.

**Tablo 8.** Naylon Çıkarma İşlemi Yaparken Risk Seviyesi (Risk Level When Subtracting Nylon)

Grup A		Tablo A değeri	Tablo B değeri	Grup B	
Gövde	2	4	5	3	Üst Kol
Boyun	1			2	Alt Kol
Bacaklar	1			3	Bilek
Yük/Kuvvet		0	2		Kavrama
<b>A Skoru</b>		4	7		<b>B Skoru</b>
	<b>C Skoru</b>	7			
	Aktivite Skoru	+1			
	<b>REBA Skoru</b>	<b>8</b>			

Tablo 8’de görüldüğü gibi naylon çıkarma işini yapan çalışanın REBA skoru 8 bulunmuştur. Skor 8-10 arası olduğundan risk seviyesi yüksektir. Kısa zaman içinde önlem alınmalıdır. İşçi, çalışırken bileklerini döndürmeden ve omuzlarını kaldırmadan çalışırsa bilek ve kol puanı düşecektir. Böylece REBA skoru da düşecektir.

#### 4.5. Teleme Karıştırma İşlemi (Curd Mixing Process)

Oluşan pıhtılar istenilen sertliğe ulaşmaya kadar personel tarafından bir ekipman ile Şekil 9’da görüldüğü gibi boyun, gövde ve belinden eğilerek, tekrarlı kol hareketi ile karıştırılma yapılmaktadır. Karıştırma işlemi yapılırken personelin eldiven ve kolluk takmasına dikkat edilmektedir. Teleme karıştırma işlemi yapan çalışanın durumu incelenecek olursa, A grubu hesaplaması için;



**Şekil 9.** Teleme Karıştırma İşlemi (Curd Mixing Process)

- Gövdesi, 20-60 derece arası bir açı ile öne doğru bükülme olduğundan puanı 3,
- Çalışanın boynuna bakılırsa 20 dereceden daha büyük bir açı ile öne doğru bükülme yaptığından puanı 2,
- Bacakları incelediğimizde iki bacak üzerinde çalışma yaptığından puanı 1,
- Elindeki teleme karıştırma aleti 5 kg’dan küçük olduğu için yük/kuvvet puanı 0 olacaktır.

Buna göre Tablo A değeri gövde, boyun ve bacak puanları birleşiminden 4 bulunmuştur. Yük/kuvvet puanı 0 olduğundan A skoru 4 olacaktır. B grubu puan hesaplaması;

- Üst kolu öne doğru 20 dereceden daha büyük bir açı ile esneme yaparak çalışma yaptığından puanı 2,
- Alt kolu ile 60-100 derece arası bir açı ile bükme yaptığından puanı 1,
- Aleti 15 dereceden daha yüksek bir açı ile tuttuğundan bilek puanı 2’dir. Ayrıca bileğini yana döndürdüğünden +1 puan daha eklenmelidir. Böylece bilek puanı 3’tür.

**Tablo 9.** Teleme Karıştırma İşlemi Yaparken Risk Seviyesi (Risk Level When Curd Mixing Process)

Grup A		Tablo A değeri	Tablo B değeri	Grup B	
Gövde	3	4	3	2	Üst Kol
Boyun	2			1	Alt Kol
Bacaklar	1			3	Bilek
Yük/ Kuvvet		0	0		Kavrama
<b>A Skoru</b>		4	3		<b>B Skoru</b>
	<b>C Skoru</b>	4			
	Aktivite Skoru	+1			
	<b>REBA Skoru</b>	<u>5</u>			

Buna göre Tablo B'den, B skoru 3 bulunmuştur. Ekipmanda iyi bir tutma kolu var ve orta şiddette kavrama gücü olduğundan derecesi iyidir ve Kavrama değeri 0'dır. B skoruna, kavrama değeri de eklendiğinde B skoru 3 olacaktır. Tablo C'de, A skoru ile B skoru birleşiminden C skoru 4 bulunmuştur. Aktivite/etkinlik skor değeri, bir veya birden çok vücut bölgesi sabit durduğundan +1 puan Tablo C skoruna eklenecektir.

Tablo 9'da görüldüğü gibi teleme karıştırma işi yapan çalışanın duruşu analiz edildiğinde, REBA skoru 5 çıkmıştır. REBA skoru 4-7 arası çıktığı için risk seviyesi ortadır. Tedbir alınmalıdır.

#### 4.6. Cendere Bezi Çekme-Teleme Süzme İşlemi (Drawing Cloth and Curd Straining Process)

Temizlik planına uygun olarak temizlenmiş uzun ve kısa baskılar tekneye yerleştirilip, peynir altı suyunun bir kısmı teknelerin vanaları açılarak boşaltılır ve PAS depolama tankına verilir. Burada kreması çekilerek, lor peyniri haline getirilir. Boşaltma sırasında telemenin de peynir altı suyu ile beraber oluklara kaçmamasına dikkat edilir. Peynir altı suyu istenilen kadar uzaklaştırıldıktan sonra Şekil 10'da görüldüğü gibi teleme yüzeyi bir kol ile düzeltilip, diğer kol ile yavaş yavaş cendere bezi çekilir. Bu aşamada da yine personellerin tüm vücutlarını aktif kullandıkları görülmüştür. En son cendere bezleri karşılıklı kenarlardan şişlenir ve baskı uygulanır.

**Şekil 10.** Cendere Bezi Çekme ve Teleme Süzme İşlemi (Drawing Cloth and Curd Straining Process)

Cendere bezi çekme, teleme süzme işlemi yapan bir çalışan incelenecek olursa, A grubu hesaplaması için;

- Gövdesi ile 60 dereceden daha büyük bir açı ile öne bükülme yaptığından puanı 4'tür.
- Boynu ile 0-20 arası bir açıyla bükme olduğundan puanı 1'dir.
- İki bacağı üzerine yük bindiğinden puanı 1 olacaktır, aynı zamanda 30-60 derece arasında dizlerinde bükme yaptığından +1 puan daha eklenmelidir. Böylece bacak puanı 2 olacaktır.
- Tekneler 1400 kg süt almaktalar. Cendere bezi çekilirken 10 kg'dan daha ağır bir yük çektiklerinden yük/kuvvet puanı 2 olacaktır.

Buna göre Tablo A değeri gövde, boyun ve bacak puanlarının bileşimlerinden skoru 5 bulunmuştur. Yük/kuvvet puanı 2 olduğundan A skoru  $5+2=7$  olacaktır. B Grubu puan hesaplaması;

- Üst kolu ile 20-45 arası bir açı ile bükme yaptığından dolayı puanı 2'dir. Ayrıca omzu yukarı kalkık olduğu için +1 puan daha eklenmelidir. Böylece toplam puanı 3,
- Alt kolu ile 60 dereceden daha küçük bir açıyla bükülme yaptığından puanı 2,
- Bilekleri ile 15 dereceden daha büyük açıyla büküp cendere bezini çekmektedir. Bunun için bilek puanı 2 olacaktır.

**Tablo 10.** Cendere Bezi Çekme, Teleme Süzme İşlemi (Drawing Cloth and Curd Straining Process)

Grup A		Tablo A değeri	Tablo B değeri	Grup B	
Gövde	4	5	5		Üst Kol
Boyun	1				Alt Kol
Bacaklar	2				Bilek
Yük/ Kuvvet		2	3		Kavrama
<b>A Skoru</b>		7	8		<b>B Skoru</b>
	<b>C Skoru</b>	10			
	Aktivite Skoru	+1			
	<b>REBA Skoru</b>	<b>11</b>			

Buna göre Tablo B'den, B skoru 5 bulunmuştur. Zor ve güvenli olmayan tutuş, tutma kolu olmadığı için uygun olmadığından kavrama değeri 3 olacaktır. B skoruna kavrama değeri eklendiğinde, B skoru 8 olacaktır. Tablo C'de, A skoru ile B skoru bileşimlerinden C skoru 10 bulunmuştur. Aktivite skor değeri; kısa aralıklarla tekrar eden iş olduğu için (20 teknenin hepsine aynı işlem yapılmaktadır) C skoruna +1 puan daha eklendiği zaman Tablo 10'da görüldüğü gibi REBA skoru 11 olacaktır.

Cendere bezi çekme, teleme süzme işlemi sırasında gövde ile 60 dereceden daha büyük bir açıyla eğim yapıldığından, risk seviyesi çok yüksek çıkmıştır. Skor 11 üzeri bulunduğu için hemen önlem almak gerekir. Süt teknesinin ayakları yükseltilirse, gövdesi ile eğim azaltılmış olur. Cendere bezini çekmek için insan gücü yerine, otomatik teleme süzme tamburu kullanılabilir, mümkün değilse daha çok personel ile çekme işlemi yapılırsa, yük/kuvvet değeri düşer ve REBA skoru da düşecektir.

#### 4.7. Baskı (Presleme) İşlemi (Pressure (Pressing) Process)

Yapılan birinci baskıdan sonra cendere bezleri açılır, bez düzeltilir ve ikinci baskı Şekil 11'de görüldüğü gibi ağırlığı 5-10 kg arası olan tenekelerle gövdeleri eğilerek baskı işlemi yapılmaktadır. Bu aşamada personeller bellerine ve kollarına baskı uygulamaktalar.



**Şekil 11.** Baskı (Presleme) İşlemi (Pressure (pressing) Process)

Beyaz peynir üretiminde, baskılama (presleme) işlemi yapan çalışanın duruşu analiz edildiğinde Grup A hesaplaması için;

- Gövdesi 20-60 derece arasında bir açıyla öne bükülme yaptığından puanı 3,

- Boynu ile esneme yaptığından puanı 2'dir. Aynı zamanda yana dönme olduğundan +1 puan daha eklenir böylece toplam puan 3 olacaktır.
- İki bacağı üzerine yük bindiğinden ve bacaklarda bükülme olmadığından puanı 1,
- Presleme 5-10 kg aralığında tenekeler ile yapıldığından yük/kuvvet puanı 1 olacaktır.

Buna göre Tablo A değeri, bu puanların bileşiminden 5 bulunmuştur. Buna yük/kuvvet puanı da eklenince A skoru 6 olacaktır. B grubu puan hesaplaması için;

- Üst kolu ile 20-45 derece arasında bir açıyla bükülme yaptığından puanı 2,
- Alt koluyla 60 dereceden daha küçük bir açı ile bükülme yaptığından puanı 2,
- Bilekleri ile 15 dereceden daha büyük bir açı ile bükülme yaptığından puanı 2'dir. Ayrıca yana dönme olduğu için +1 puan daha eklenmelidir. Böylece puanı 3 olacaktır.

Buna göre Tablo B'den, B skoru 3 bulunmuştur. Ekipmanda, iyi bir tutma kolu bulunmakta ve çalışan orta şiddette kavradığından derecesi iyi, değeri 0'dır. B skoruna kavrama değerini eklediğimizde B skoru 3 olacaktır. Tablo C'de, A skoru ile B skoru bileşiminden C skoru 6 bulunmuştur. Aktivite skor değeri, yapılan çalışma duruşta hızlı ve büyük değişikliğe neden olduğu için +1 puan, C skoruna eklenmelidir.

**Tablo 11.** Baskı (Presleme) İşlemi Yaparken Risk Seviyesi (Risk Level When Printing/Pressing Process)

Grup A		Tablo A değeri	Tablo B değeri	Grup B	
Gövde	3	5	3	2	Üst Kol
Boyun	3			2	Alt Kol
Bacaklar	1			3	Bilek
Yük/ Kuvvet		1	0		Kavrama
<b>A Skoru</b>		6	3		<b>B Skoru</b>
	<b>C Skoru</b>	6			
	Aktivite Skoru	+1			
	<b>REBA Skoru</b>	7			

Baskı (presleme) işlemi yapan çalışanların, gövde ve kollarını çok kullandıkları gözlemlenmiştir. Yukarıda yapılan analiz sonucuna göre REBA skoru 7 bulunmuştur (Tablo 11). REBA skoru 4-7 arası olduğundan, risk seviyesi ortadır. Önlem almak gerekir. Teknelerin ayakları yükseltirse, gövdeleri ile çok eğilmelerine gerek kalmayacaktır. Böylece A skoru düşürülecektir. A skoru düşürülürse, REBA skoru da düşecektir.

#### 4.8. Porsiyonlama İşlemi (Portioning Process)

İkinci baskı işlemi bittikten sonra asitlik takibi yapılır ve pH 6-6,3 oluncaya kadar beklemeye alınır daha sonra kesim işlemine geçilmektedir. Şekil 12'de görüldüğü gibi temizliğinden emin olunan kesim cetveli ve bıçaklar yardımıyla personel belinden tam bükme yapıp, kolunu uzatarak kesim yapmaktadır.



**Şekil 12.** Porsiyonlama İşlemi (Portioning Process)

**Tablo 12.** Porsiyonlama İşlemi Yaparken Risk Seviyesi (Risk Level When Portioning Process)

Grup A		Tablo A değeri	Tablo B değeri	Grup B	
Gövde	4	3	3	2	Üst Kol
Boyun	1			2	Alt Kol
Bacaklar	1			2	Bilek
Yük/ Kuvvet		0	2		Kavrama
<b>A Skoru</b>		3	5		<b>B Skoru</b>
	<b>C Skoru</b>	4			
	Aktivite Skoru	+1			
	<b>REBA Skoru</b>	<u>5</u>			

Porsiyonlama işlemi yapan çalışanın duruşu incelendiğinde A grubu puan hesaplaması için;

- Gövdesi ile 60 dereceden daha büyük bir açı ile bükülme yaptığından puan 4,
- Boynu ile 0-20 derece arası bir açı ile bükülme yaptığından puanı 1,
- Bacaklarına bakılırsa iki bacak üzerine yük bindiğinden puanı 1,
- Porsiyonlama yapılan el aleti (bıçak) 5 kg'dan küçük olduğu için yük/kuvvet puanı 0'dır.

Buna göre Tablo A değeri, bu puanların bileşiminden 3 bulunmuştur. Buna yük/kuvvet puanı da eklenirse A skoru 3 olacaktır. B grubu hesaplaması için;

- Üst kolu ile 20-45 derece arası bir açı ile bükülme/esneme yaptığından puanı 2,
- Alt kolu ile 60 dereceden daha küçük bir açı ile bükülme yaptığından puanı 2,
- Bileği ile el aletini (bıçağı) 0-15 derece arasında bir açıyla tuttuğundan puanı 1 olacaktır. Aynı zamanda bileğini yana döndürüp, kesim yaptığı için +1 puan daha eklenecektir. Böylece bilek puanı, toplam 2 olacaktır.

Buna göre Tablo B den, B skoru bu puanların bileşiminden 3 olacaktır. Kavrama değeri, el tutuşu uygun olmamasına rağmen mümkün olduğundan 2'dir ve derecesi kötüdür. B skoruna, kavrama değeri de eklenirse toplam puan 5 olacaktır. Tablo C'de, A skoru ile B skoru bileşiminden C skoru 4 bulunmuştur. Aktivite/etkinlik skor değeri, bir veya birden çok vücut bölgesi sabit durduğundan +1 puan, Tablo C skoruna eklenecektir.



Porsiyonlama işlemi yapan çalışanın duruşu ergonomik açıdan analiz edildiğinde, REBA skoru 5 bulunmuştur. Skor 4-7 arası olduğundan, risk seviyesi ortadır. Önlem almak gerekir. Tavsiye olarak çalışan gövdesini daha az bükerse gövde puanı düşecektir. Bunun için süt teknesinin ayakları yükseltilebilir veya daha uzun saplı bir ekipman/alet kullanılırsa, çalışan çok eğilmeyecektir. Çalışma ortamındaki ekipmanların ergonomik olmaması risk seviyesini yükseltmekte, kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına davetiye çıkarmaktadır. Ergonomik dizayn ve doğru duruş ile ilgili eğitimler verilmelidir.

#### 4.9. Tuzlama (Salting)

Kesim işleminden sonra, cendere bezleri çıkarılır ve Şekil 13'te görüldüğü gibi tuzlama aşamasında çalışanlar kollarını aktif kullanıp, gövdelerini eğerek işlemi gerçekleştirmektedirler. Tuzlama işlemi yapan çalışanın duruşu incelendiğinde, A grubu puan hesaplaması için:



Şekil 13. Tuzlama İşlemi (Salting Process)

- Gövdesi ile 0-20 derece arası bir açı ile öne bükülme yapıp tuzlama işlemi yaptığından puan 2,
- Boynu ile 0-20 derece arasında bir açı ile bükme yaptığından puanı 1,
- İki bacak üzerine yüklendiğinden puan 1 olacaktır. Ayrıca dizlerinde 30-60 derece arasında bükülme yaptığından +1 puan daha eklenecektir. Toplam bacak puanı 2 olacaktır.

Elinde taşıdığı tuz 5 kg'dan küçük olduğu için Yük/kuvvet skoru 0'dır. Buna göre Tablo A değeri, bu değerlerin birleşiminden 3 bulunmuştur. Yük/kuvvet puanı da A puanına eklenince toplam skor değişmeyecektir (3+0=3).

B grubu puan hesaplaması için:

- Üst kolları 0-20 derece arası bir açı ile bükme yaparak tuzlama işlemi yaptığından puan 1,
- Alt kolları ile tuzlama yaparken sürekli 60-100 derece arası bir açı ile tekrarlı bükülme söz konusu olduğundan puan 1,
- Tuzu avucuna alırken bileğini 15 dereceden daha büyük bir açı ile içe doğru bükme yaptığından bilek puanı 2 olacaktır.

Tablo 13. Tuzlama İşlemi Yapılırken Risk Seviyesi (Risk Level Salting Process)

Grup A		Tablo A değeri	Tablo B değeri	Grup B	
Gövde	2	3	2	1	Üst Kol
Boyun	1			1	Alt Kol
Bacaklar	2			2	Bilek
Yük/ Kuvvet		0	1		Kavrama
<b>A Skoru</b>		3	3		<b>B Skoru</b>
	<b>C Skoru</b>	3			
	Aktivite Skoru	+1			
	<b>REBA Skoru</b>	<b>4</b>			

Buna göre Tablo B'den, B değeri bu puanların birleşiminden 2 bulunmuştur. El tutuşu uygun ama ideal olmadığı için kavrama değeri 1 ve derecesi uygundur. Buna göre B değerine kavrama skoru da eklenince, toplam B skoru 3 olacaktır. Tablo C'de, A skoru ile B skoru birleşiminden C değeri 3 bulunacaktır. Aktivite skor değeri, kısa aralıklarla tekrar eden iş olduğundan +1 puan C skoruna eklenecektir.

Tuzlama işlemi yapılırken, çalışan kollarını tekrarlı hareketlerle çalıştırmaktadır. Analiz sonucunda REBA skoru 4 bulunmuştur (Tablo 13). Skor 4-7 arası olduğundan risk seviyesi ortadır. Önlem almak gereklidir. Tekrarlı yapılan işlerde, çalışanlar arasında değişiklik yapılmalıdır. Duruşlarla ilgili eğitim verilmelidir.

#### 4.10. Toplama (Collection)

Bir süre tuzda bekletilen peynirler Şekil 14'te görüldüğü gibi her iki kollarını kullanıp yine gövde ve bellerini eğerek çalışmaktalar.



Şekil 14. Toplama İşlemi (Collection Process)

Toplama işlemi yapan çalışanın duruşu incelendiğinde, A grubu puan hesaplaması için:

- Gövdesi ile 60 dereceden daha büyük açıyla öne bükülme yapıp toplama işlemi yaptığından puan 4,
- Boyunu ile 0-20 derece arasında bir açı ile bükme yaptığından puanı 1,
- İki bacak üzerine yüklendiğinden puan 1 olacaktır. Ayrıca dizlerinde 30-60 derece arasında bükülme yaptığından +1 puan daha eklenecektir. Toplam bacak puanı 2,
- Eline aldığı peynir 5 kg'dan küçük olduğu için Yük/kuvvet skoru 0'dır.

Buna göre Tablo A değeri, bu değerlerin birleşiminden 5 bulunmuştur. Yük/kuvvet puanı da A puanına eklenince toplam skor değişmeyecektir (5+0=5).

B grubu puan hesaplaması için:

- Üst kolları 20-45 derece arası bir açı ile bükme yaparak toplama işlemi yaptığından puan 2,
- Alt kolları ile 60 dereceden küçük bir açıyla bükülme söz konusu olduğundan puan 2,
- Peyniri avucuna alırken bileğini 15 dereceden daha büyük bir açı ile içe doğru bükme yaptığından bilek puanı 2 olacaktır. Aynı zamanda bileklerini döndürüp peyniri avucuna aldığından +1 puan eklenecektir. Böylece toplam bilek puanı 3 olacaktır.

Tablo 14. Peynir Toplanırken Risk Seviyesi (Risk Level When Collecting Cheese)

Grup A		Tablo A değeri	Tablo B değeri	Grup B	
Gövde	4	5	4	2	Üst Kol
Boyun	1			2	Alt Kol
Bacaklar	2			3	Bilek
Yük/ Kuvvet		0	1		Kavrama
<b>A Skoru</b>		5	5		<b>B Skoru</b>
	<b>C Skoru</b>	6			
	Aktivite Skoru	+1			
	<b>REBA Skoru</b>	7			

Buna göre Tablo B'den, B değeri bu puanların birleşiminden 4 bulunmuştur. El tutuşu uygun ama ideal olmadığı için kavrama değeri 1 ve derecesi uygundur. Buna göre Tablo B değerine kavrama skoru da eklenince, toplam B skoru 5 olacaktır. Tablo C'de, A skoru ile B skoru birleşiminden, C değeri 6 bulunacaktır. Aktivite skor değeri, kısa aralıklarla tekrar eden iş olduğundan +1 puan C skoruna eklenecektir. Tablo 14'te görüldüğü gibi REBA skoru 7 olarak bulunmuştur.

Toplama işlemi yapan çalışanın duruşu analiz edildiğinde, eğilerek peyniri toplamaya çalıştığı görülmüştür. REBA skoru 7 bulunmuştur. Skor 4-7 arası olduğundan risk seviyesi ortadır. Önlem almak gereklidir. Tavsiye olarak tekne boyu alçak olduğundan, gövdesini daha az bükmesi için elleri kullanmak yerine bir ekipman ile peynir toplatılabilir. Böylelikle gövde puanı aşağı inecektir. Kullanılan ekipmanlar daha ergonomik olan ekipmanlar ile değiştirilmelidir.

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

Bu çalışmada Kırklareli ilinde bulunan bir süt fabrikasının beyaz peynir üretim bölümünde çalışan personellerin, çalışma duruşlarının ergonomik risk analizi yapılmış ve REBA yöntemine göre değerlendirilmiştir. Beyaz peynir üretiminin 10 prosesinde detaylı inceleme yapılmıştır. Her personelin çalışma esnasındaki duruşlarının ergonomik analiz sonuçları Tablo 15'te verilmiştir.

**Tablo 15.** Üretim Bölümünde Çalışan Personellerin Duruşlarının Analiz Sonuçları  
(Results of the Analysis of the Stoppages of the Personnel Working in the Production Department)

Yapılan İşlem	REBA Skoru	Risk Seviyesi	Önlem
Depo tanktan süt alımı	3	Düşük	Gerekli olabilir
Pastörizasyon	3	Düşük	Gerekli olabilir
Holderde bekletme	5	Orta	Gerekli
Teknelere süt alımı	5	Orta	Gerekli
Mayalama	5	Orta	Gerekli
Teleme kırma	2	Düşük	Gerekli olabilir
Naylon çıkartma	8	Yüksek	Kısa zamanda önlem alınmalı
Teleme karıştırma	5	Orta	Gerekli
Cendere bezi çekme- teleme süzme	11	Çok yüksek	Hemen gerekli
Baskı (presleme)	7	Orta	Gerekli
Porsiyonlama	5	Orta	Gerekli
Salamura verme	6	Orta	Gerekli
Cendere bezi çıkartma	6	Orta	Gerekli
Tuzlama	4	Orta	Gerekli
Toplama	7	Orta	Gerekli
Tekneye dolum	4	Orta	Gerekli
Teneke salamurası süzme	6	Orta	Gerekli
Teneke kapatma	8	Yüksek	Kısa zamanda önlem alınmalı
Soğuk depoya taşıma	5	Orta	Gerekli

Yapılan analiz sonucunda, çalışmanın depo tanktan çiğ süt alımı, pastörizasyon ve teleme kırma işlemlerinde risk seviyesi düşük bulunmuştur, ancak önlem almak gerekli olabilir. Naylon çıkartma ve teneke kapatma işlemlerinde risk seviyesi yüksek bulunmuştur. Kısa zamanda önlem alınmalıdır. Cendere bezi çekme, teleme süzme işlemi yapan çalışanların risk seviyesi çok yüksek olarak tespit edilmiş olup, hemen önlem almak gereklidir. Geriye kalan tüm işlemlerin iş görenlerinin risk seviyeleri orta olarak bulunmuştur. Cendere bezi çekme, teleme süzme işleminde çalışanlar bu işi yaparken zorlandıklarından, kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına yakalanma riskleri yüksektir. Cendere bezi yerine, otomatik süzme tamburları kullanılırsa risk ortadan kaldırılmış olur.

İyileştirme önerileri olarak, çalışanların ergonomi konusunda eğitim almaları gerekmektedir. Yük kaldırma ve

taşıma iş ekipmanlarının doğru kullanımı, işyerindeki risk faktörleri ve KİSR ile ilgili düzenli aralıklarla eğitimleri sağlanmalıdır. Çalışırken nasıl bir duruş yapmaları gerektiğini bilirlerse, risk seviyeleri düşecek olup, KİSR'na yakalanma riski azalacaktır.

Çalışma ortamında bulunan süt teknelerinin boyu yerden yükseltirirse, çalışanlar daha az eğileceklerinden risk seviyeleri düşecektir. Kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının önüne geçmek için çalışanlara, fiziksel egzersiz yapmaları için imkan tanınmalıdır. Tekrarlı hareketlerin fazla olduğu aşamalarda, işçiler arasında görev değişikliği yapılırsa, tekrarlı hareketler azaltılmış olur.

Sonuç olarak, çalışma ortamındaki görevlerin değerlendirilmesi, önlemler alınması ve bu önlemlerin sürekliliği kontrol edilmelidir. Çalışanların korunması için daha çok çaba gösterilmeli ve işyeri tasarımı gözden geçirilmelidir. Çalışanlar da kendi sağlıklarını düşünüp, KİSR rahatsızlıkları ile ilgili riskler hakkında daha çok eğitim alıp, bilinçlenmeleri gerekmektedir. İnsan gücüne ihtiyaç duyulan tüm sektörlerde, çalışmaya uygun olacak ergonomik risk analiz yöntemi belirlenip, uygulanması sağlanmalıdır.

İnsanların işe uyumlarının sağlanması ve hangi makine-ekipmanın kullanılması gerektiğine karar verilmesi, ergonomik kurallara göre belirlenmelidir. İşyerlerinde, ergonomik kurallara uyulmadığında, iş görenlerin hem iş güvenliği, hem sağlıkları tehlikeye girecektir. Aynı zamanda iş görenlerde performans düşmesi ile beraber verimlilik düşecektir. Ergonomik iyileştirmeler, çalışan performansını ve motivasyonunu yükseltecek, bu da beraberinde verimliliği arttıracaktır.

Beyaz peynir üretim bölümündeki iş görenlerin, ergonomik açıdan REBA yöntemine göre genellikle orta derece riskli olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, REBA yöntemiyle analiz yapılan duruşların risk seviyeleri, literatürde yapılan çalışmalarla benzer sonucu vermektedir.

Ergonomik risk analizi, özellikle işçi sağlığı açısından ülkemizde son yıllarda artan iş kazaları ve Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıklarının artması ile beraber önem kazanmıştır. Ergonomik risk analizi yöntemleri ile, iş görenlerin sağlığını tehdit eden tehlikeler, çalışma ortamındaki eksiklikler ve hatalar çok daha rahat tespit edilebilmektedir. Böylece iş görenler, kendilerini tehlikelere karşı nasıl koruyabileceklerini ergonomi sayesinde bileceklerdir. Ayrıca ergonomik analizler sayesinde işyerinin tasarımı da risk analizleri yöntemlerinden faydalanılarak yapılabilir. Aynı zamanda bu çalışma, gıda sektörünün diğer alanlarında da yapılacak çalışmalara da ışık tutacaktır.

### **Teşekkür (Acknowledgement)**

Bu çalışma için kapılarını açan Algündüz firması yetkililerine, görev yapan mühendis ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

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

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

### **Kaynaklar (References)**

- Arslan, E., (2018). Yoğun Bakımda Çalışan Hemşirelerde Ergonomik Risk Analizine Göre Tekrarlı Hareketlerin Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıklarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Atasoy Mert, E. (2014). Ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması ve bir çanta imalat atölyesinde uygulanması. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, *ÇSGB*, Ankara.
- Atıcı, H., Gönen, D. ve Oral, A. (2015). Çalışanlarda Zorlanmaya Neden Olan Duruşların REBA Yöntemi ile Ergonomik Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), ÖS: Ergonomi, s. 239-244.
- Ayan, B. (2015). Montaj Hattında Ergonomik Risk Unsurlarının İncelenmesi: Otomotiv Sektörüne Yönelik Bir Uygulama. Uzmanlık Tezi, *ÇSGB, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi*, Ankara.
- Berber, N., (2020). REBA, BAUA, NIOSH ve SNOOK Tabloları Yöntemleriyle Ergonomik Risk Analizi İncelemesi: Gıda Sektörüne Yönelik Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, *Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bilir, N. (2007). Mesleki Kas İskelet Sistemi Hastalıkları. *İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, Sayı: 34, 10-13.
- Çiçek, E., Kazanç, N. ve Kahya, E. (2018). Bir Mobilya İşletmesinin Montaj Hattında Ergonomik Risk Analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Sayı: 6, s. 67-82.
- Çoker, İ. (2019). Bir İmalat İşletmesinde Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıklarına Yönelik Ergonomik Risk Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Doğru Yenigün, N., (2006). Bir Montaj Masasında İş Akışının Ergonomik Analizi ve İyileştirme Önerileri. Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa.

- Erçelik, Z., (2017). Ergonomik Risk Analizinin Lastik İmalat Fabrikasında Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.
- Esen, H., ve Fiğlalı, N. (2013). Çalışma Duruşu Analiz Yöntemleri ve Çalışma Duruşunun Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıklarına Etkileri, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt:17, Sayı:1, s. 41-51.
- Kahraman, M.F. (2012). Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri ile Önceliklendirilmesi ve Bütünleşik Bir Model Önerisi. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi*, Ankara.
- Karabacak, N., (2016). Diş Hekimlerinin Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Kocabaş, M. (2009). Ağır ve Tehlikeli İşlerde Çalışan İş Görenlerde Zorlanmaya Neden Olan Çalışma Duruşlarının Analizi. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Koçak, G., (2007). Gemi Makineleri İşletmesinde Ergonomik Analiz. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- OSHA (2012). Solutions for the Prevention of Musculoskeletal Injuries in Foundries. Occupational Safety and Health Administration U.S. Department of Labor, USA.
- Özel, E., ve Çetik, O. (2010). Mesleki Görevlerin Ergonomik Analizinde Kullanılan Araçlar ve Bir Uygulama Örneği, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, s. 41-56.
- Sa. F., Nascimento M.A., Melo A.C., Santos J.C., and Adissi P.J. (2006). Comparison of Methods RULA and REBA for Evaluation of Postural Stress in Odontological Services. *Third International Conference on Production Research-Americas'Region*.
- Sakalar, E. (2018). Montaj Hattında Ergonomik Risk Faktörlerinin REBA Metodu ile İncelenmesi: Otomotiv Yan Sanayi Sektörüne Yönelik Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, *İzmir Ekonomi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Sağiroğlu, H., Coşkun, B., ve Erginel, N. (2015). REBA ile Bir Üretim Hattındaki İş İstasyonlarının Ergonomik Risk Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 339-345.
- Sevimli, M., Ulusu, H.A., ve Gündüz, T. (2018). Pirinç Paketleme İşinde Çalışanların Çalışma Koşullarının Ergonomik Risk Analizleri ile Geliştirilmesi, *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), s.38-54.
- Ünver Okan, S., ve Kaya, A. (2015). Orman Fidanlıklarında Fidan Repikaj İşlerinde Çalışma Duruşlarının REBA Yöntemi ile Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), s. 157-163.
- Zorlutuna, A. (2021). İnşaat sektöründeki Ergonomik Risklerin Değerlendirilmesi ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği Anabilim Dalı*, İstanbul.



## ÇALDIRAN FAY ZONU VE CIVARINDAKİ COULOMB STRESS TRANSFERİ VE DEPREM TEHLİKESİ ANALİZİ

Hamdi ALKAN<sup>1\*</sup>, Serkan ÖZTÜRK<sup>2</sup>, İsmail AKKAYA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye

<sup>2</sup> Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Çaldıran Fay Zonu, B-Değeri, Deprem Olasılığı, Tekrarlama Zamanı, Coulomb Gerilme Değişimi.</i>	<p>Çaldıran fay zonu (CFZ) bir çok yıkıcı deprem üreten ve deprensellik açısından önemli bir aktif zondur. Bu fay sisteminde, 1976 tarihinde bu yıkıcı depremlerin en sonuncusu (<math>M_s = 7.3</math>) meydana gelmiştir. Dolayısıyla bu fay zonunda sismotektonik <math>b</math>-değeri, deprem olasılığı, tekrarlama zamanı ve Coulomb gerilme değişimi parametrelerine bağlı olarak gelecek deprem potansiyeli ve pozitif/negatif gerilme değişimleri araştırılmıştır. Büyüklüğü 3.6'dan büyük olan depremler, sismotektonik parametrelerle ilgili olarak gerilme transfer yönünü araştırmak için kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, CFZ'nin güneydoğusu boyunca küçük <math>b</math> değerleri elde edilmişken, büyük <math>b</math> değerleri Van Gölünün doğusu civarında hesaplanmıştır. Diğer taraftan, CFZ'nin kuzeydoğusu mevcut stress birikimini temsil etmektedir. Benzer şekilde, 1976 depreminin Coulomb gerilme değişimi bu fay sisteminin kuzeybatısında gerilmelerin farklı derinliklerde biriktiğini göstermektedir. Ayrıca, daha önceki çalışmalarda uzun dönem kayma oranları ve yatay öteleme değerleri dikkate alındığında, 6.0'dan büyük bir deprem için tekrarlama zamanı yaklaşık 302 yıldır. Sonuç olarak, bu karşılaştırmalı analizler bölgede sismik tehlike değerlendirmesinin etkilerini ve olası bir sonraki deprem oluşumunun tahminini açıklamaktadır.</p>

## ANALYSIS OF COULOMB STRESS TRANSFER AND EARTHQUAKE HAZARD IN THE ÇALDIRAN FAULT ZONE AND ITS ADJACENT REGION

Keywords	Abstract
<i>Çaldıran Fault Zone, B-Value, Earthquake Probability, Recurrence Time, Coulomb Stress Variation.</i>	<p>Çaldıran fault zone (CFZ) are significant seismically active zone that generated many destructive earthquakes. In this fault system, the last of these major earthquakes occurred on 1976 (<math>M_s = 7.3</math>). Therefore, based on the seismotectonic <math>b</math>-value, earthquake probability, recurrence times and Coulomb stress changes, we investigate the future earthquake potential and positive/negative stress changes in this fault zone. The events with a magnitude greater than 3.6 are used to investigate stress transfer direction regarding the seismotectonic parameters. The results indicate that the regions having smaller <math>b</math>-values are obtained along with the SE of CFZ, whilst higher <math>b</math>-values are calculated around the east of Lake Van. On the other hand, the northeast of CFZ represents current stress accumulation. Similarly, the Coulomb stress variations of 1976 earthquake show that stress accumulated at different depths in the northwest of this fault system. In addition, considering the long-term slip rates and horizontal offset in previous studies, the recurrence time of earthquakes has approximately 302 years for a magnitude greater than 6.0. Finally, these comprehensive analyses explain the implications of seismic hazard evaluation and forecasting of possible next earthquake occurrences in this region.</p>

### Alıntı / Cite

Alkan, H., Öztürk, S., Akkaya, İ., (2023). Analysis of Coulomb Stress Transfer and Earthquake Hazard in the Çaldıran Fault Zone and its Adjacent Region, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(2), 519-534.

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

H.Alkan, 0000-0003-3912-7503  
S. Öztürk, 0000-0003-1322-5164  
İ. Akkaya, 0000-0002-7682-962X

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	28.10.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	26.12.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	05.01.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.06.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: hamdialkan@yyu.edu.tr, +90-432-444-5065

## ANALYSIS OF COULOMB STRESS TRANSFER AND EARTHQUAKE HAZARD IN THE ÇALDIRAN FAULT ZONE AND ITS ADJACENT REGION

Hamdi ALKAN<sup>1†\*</sup>, Serkan ÖZTÜRK<sup>2</sup>, İsmail AKKAYA<sup>1</sup>

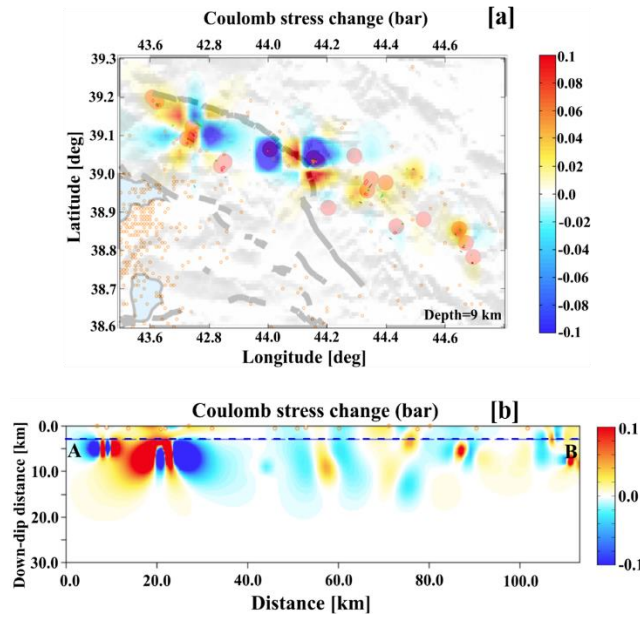
<sup>1</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye

<sup>2</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

### Highlights

- Coulomb stress variations in the Çaldıran fault zone are modeled.
- The small  $b$ -values are observed in the eastern part of Lake Van region.
- The comprehensive analyses show the high seismic hazard potential soon.

### Graphical Abstract



**Figure.** (A) The Same As Figure 7 But At A Depth Of 9 Km (B) The Cross-Section Shown In Figure 7a Is Obtained For A Depth Range Of 0-30 Km.

### Purpose and Scope

The purpose of this study is to investigate the Coulomb stress changes and the earthquake hazard potential.

### Design/methodology/approach

Based on the seismotectonic  $b$ -value, earthquake probability, recurrence times and Coulomb stress changes, the future earthquake potential and positive/negative stress changes are investigated in the Çaldıran fault zone.

### Findings

The regions with small  $b$ -values cover the Çaldıran fault zone, Hasantimur fault, Dorutay fault and Saray fault zone, while high  $b$ -values are detected in the Erciş fault zone. Besides, the high positive Coulomb stress variations using the events that occurred after 2010 are observed in the NW of the Çaldıran fault zone.

### Originality

In this study, we have studied the current earthquake potential in and around the Çaldıran fault zone. For this scope, small earthquakes ( $M_w \leq 4.2$ ) with no focal mechanism solution are selected in the region. After that, fault plane solutions of other events are obtained using SEISAN software. On the other hand, the homogeneous duration magnitude ( $M_d$ ) catalog is used to estimate the parameters of next seismic activity in the region.

<sup>†</sup> Corresponding author: hamdialkan@yyu.edu.tr, +90-432-444-5065

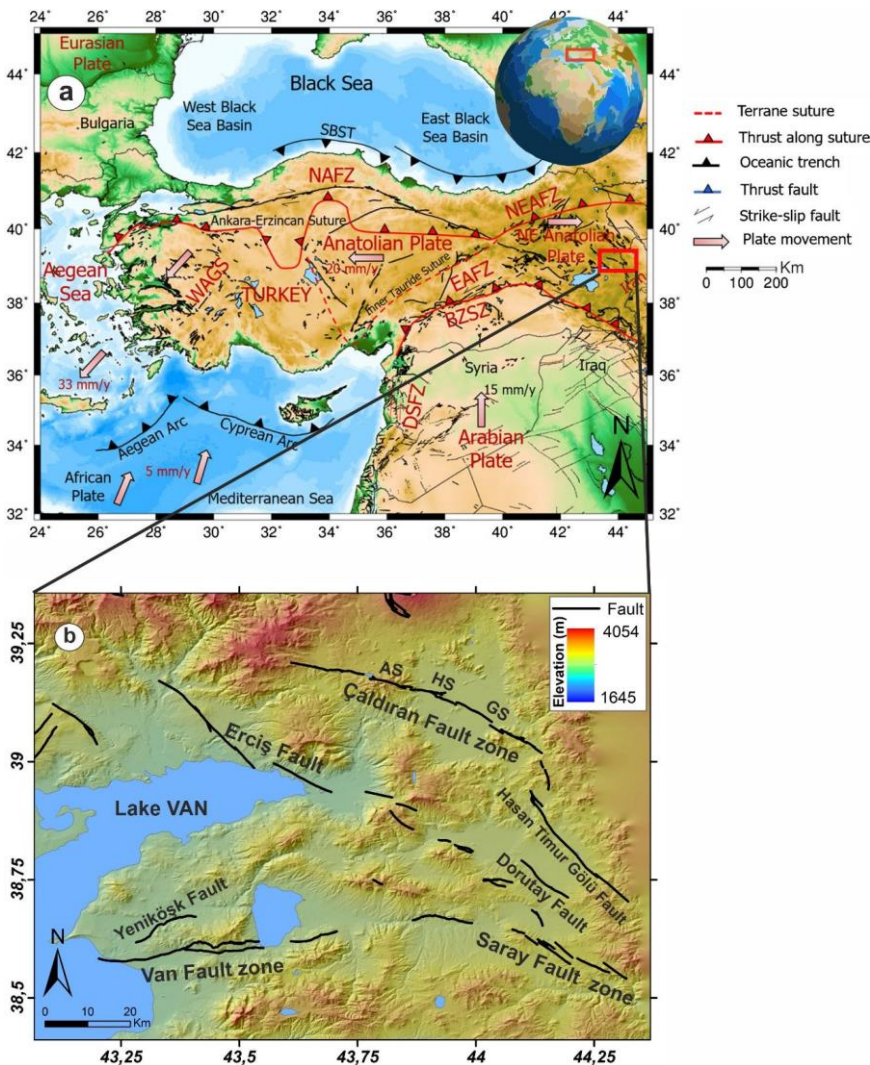
## 1. Introduction

Anatolia is the most seismically active region in the Alpine-Himalayan orogenic system. The tectonic structure of Anatolia is especially due to the relative motion among the Arabian plate, African plate and Eurasian plate (Figure 1). Concerning these relative plate movements, the African oceanic plate moved to the north-northeast direction, started the Early Miocene, and roll-back beneath the western Anatolian along the Aegean-Cyprian arc (Bozkurt, 2001; Reilinger et al., 2006; Ozer et al., 2019). On the other hand, the northward motion of the Arabian plate ( $\sim 15 \text{ mm yr}^{-1}$ ) and southward motion of the Eurasian plate cause a compression mechanism along the Bitlis-Zagros suture (BZS), creating the East Anatolian plateau (EAP) (Delph et al., 2015). This collision started Mid-Miocene time ( $\sim 12 \text{ Ma}$ ) has resulted in the uplift of mountains (up to 2 km) along the suture and caused westward motion and rotation of the Anatolian micro-plate ( $\sim 20 \text{ mm yr}^{-1}$ ), initiated in the Early Pliocene ( $\sim 5 \text{ Ma}$ ), along with the two best-known strike-slip fault systems due to the remarkable seismic activity. The right-lateral North Anatolian fault zone (NAFZ) has a  $24 \pm 2 \text{ mm yr}^{-1}$  motion and the left-lateral East Anatolian fault zone (EAFZ) has a sinistral motion of  $9 \pm 2 \text{ mm yr}^{-1}$ , conjugating near the Karlıova region. On the other hand, the north of the NAFZ is bounded by a Southern Black Sea Thrust Zone, associated with thrusting faults (Yiğitbaş et al., 2004). In the recent tectonic process in the region, the crustal deformation is ongoing and the N-S compressional tectonic regime causes some important thrust/reverse, normal and strike-slip fault mechanisms (McClusky et al., 2000; Bozkurt, 2001; Koçyiğit et al., 2001; Şengör et al., 2003; Tsapanos et al., 2014; Wang et al., 2015; Emre et al., 2018).

The Çaldıran fault zone (CFZ) is the strike-slip fault system in the East Anatolian region (EAR) and is located in the east of the Karlıova triple-junction (KTJ). This fault system has a right-lateral strike-slip mechanism and extends eastward to the North Tabriz fault and westward to Erciş and Tutak faults, considered the southern boundary of the Caucasus block. According to detailed mapping, the CFZ is divided into three individual segments called Gülderen, Hıdırmentes, and Alaçayır sections (Selçuk et al., 2016). The GPS-derived slip rate of this fault system has been studied by different researchers. According to Selçuk et al. (2016), detailed geometry, slip rate and age of the CFZ are insufficient. Djamour et al. (2011) associated this fault zone with the southern boundary of the Lesser Caucasian-Talesh block, moving towards NNE at a velocity of around  $8.3 \text{ yr}^{-1}$ . Also, Copley and Jackson (2006) calculated the GPS-derived slip rate value as  $8 \pm 2 \text{ yr}^{-1}$ . On the other hand, using block modeling, Reilinger et al. (2016) estimated a high slip rate of  $10.1 \pm 1 \text{ yr}^{-1}$  for the CFZ. The CFZ caused many destructive earthquakes in the instrumental and historical periods. According to the earthquake catalog (URL-1) of the Disaster and Emergency Management Authority (AFAD), the region experienced many devastating earthquakes in different years such as 1647, 1664, 1779, 1818 and 1872 around the Tabriz and Van settlements. The last of these devastating earthquakes occurred on 24 November 1976 Çaldıran ( $M_s = 7.3$ ) with an approximately 55 km-long surface rupture (Şaroğlu, 1986; Koçyiğit et al., 2001; Ambraseys, 2009; Utkucu et al., 2013; Selçuk et al., 2016; Emre et al., 2018; Alkan and Akkaya, 2021). This earthquake is one of the biggest earthquakes in the EAR. Quaternary alluvial units consisting of unconsolidated sediments and Pliocene volcanic rocks (trachyte, andesite, and basalts) are common geological units of the Çaldıran fault zone and its surrounding regions (Şaroğlu and Yılmaz, 1986). Thus, in recent years, moderate-size earthquakes continue to occur in the region.

Regarding the previous seismicity, many strong earthquakes were experienced frequently in the region, causing heavy damage in the towns and villages. These destructive events in the past are a view for future large earthquakes. Based on these past events, the main purpose of this study is to explore and understand the different viewpoints for possible future earthquake forecasting and hazard evaluation by performing *b*-value distribution, earthquake probability, recurrence time and Coulomb stress changes in the CFZ. Based on the Coulomb stress analysis at the different depths, we discuss the stress transfer effects of the previous large 1976 Çaldıran earthquake ( $M_s = 7.3$ ) and past earthquakes that occurred along the CFZ between 2010 and 2021 ( $M \geq 3.6$ ), meanwhile, we predict the next potential earthquakes using the homogeneous database for *duration magnitude* ( $M_d$ ) containing the events between 1975 and 2021. In the present study, the Coulomb stress changes of earthquakes that occurred on the CFZ are interpreted with seismotectonic parameters, and the direction of stress transfer is estimated for possible large earthquakes. The combination of these statistical parameters gives significant evidence to forecast earthquakes and detect the time occurrences of future events in real-time for CFZ and its surrounding region.





**Figure 1.** (A) The Main Tectonic Elements In And Around Turkey (Modified From Alkan Et Al., 2021). The Study Region Is Shown In A Red Rectangular Frame. The Arrows Depict The Relative Direction Of Plate Motions And Velocities (Reilinger Et Al., 2006) (B) The Morphology Of The Study Region. The Active Tectonic Faults Have Been Taken From Emre Et Al. (2018). Abbreviations: WAGS: West Anatolian Graben System; SBST: Southern Black Sea Thrust; EAFZ: East Anatolian Fault Zone; NAFZ: North Anatolian Fault Zone; NEAFZ, Northeast Anatolian Fault Zone; BZSZ: Bitlis-Zagros Suture Zone; DSFZ: Dead Sea Fault Zone; AS: Alaçayır Segment; HS: Hıdırmenteş Segment; GS: Gülderen Segment

## 2. Methods

### 2.1. Gutenberg-Richter Relation, Recurrence Time And Earthquake Probability

The power-law relation of earthquake distributions is given by Gutenberg and Richter (1944) and this well-known statistic (G-R) is one of the most frequently used forms in seismology. G-R size-scaling relation explains the magnitude-frequency variations of earthquake distributions and this form is given by a mathematical equation as follows:

$$\log_{10} N(M) = a - bM \tag{1}$$

where  $N(M)$  is the cumulative number of earthquakes during a specific time period with magnitudes larger than or equal to  $M$ , whereas the  $a$ -value and  $b$ -value are positive constants. Variations in  $a$ -value are associated with the time interval of the catalog, the size of the study region and the number of earthquakes. Thus, the  $a$ -value shows important changes depending on the seismicity of different regions.  $b$ -value is estimated from the slope of the G-R relation and this parameter is very important to give the characterization of earthquakes. It is stated that the  $b$ -value is associated with the relative number of earthquakes. Many factors such as the tectonic features, anisotropic structure and stress heterogeneities affect the  $b$ -value changes. A negative relationship can be seen between the  $b$ -value and stress distribution. In addition, crack density, geological complexity, material properties, thermal gradient, fault length, strain circumstances, seismic wave velocity changes and attenuation, and slip distribution

lead to variations in the  $b$ -value (Mogi, 1962; Scholz, 2015). The  $b$ -value is changed between 0.3 and 2.0 for different regions in the world (Utsu, 1971). However, the  $b$ -value is defined as around 1.0 on average (Frohlich and Davis, 1993). Thus, previous studies indicate that the  $b$ -value is one of the most significant parameters for the rheological analysis of the region. Earthquake probabilities of different magnitude sizes can be calculated from the next equation (Ali, 2016):

$$P(M) = 1 - e^{-N(M)*Tr} \quad (2)$$

where  $P(M)$  is the probability that an event occurs in given  $Tr$  years.  $N(M)$  and  $M$  are derived from Equation 1. On the other hand, the recurrence times for different magnitudes can be calculated from the formula (Ali, 2016):

$$Q = 1 / N(M) \quad (3)$$

where  $Q$  is the recurrence time and is defined as the expected time interval for an earthquake with a magnitude greater than or equal to  $M$ . Magnitude completeness ( $Mc$ -value) is the other important parameter in the statistical analysis.  $Mc$ -value is the minimum magnitude and can be estimated from the magnitude-frequency distribution (Wiemer and Wyss, 2000). This magnitude level encompasses 90% of the earthquakes in the catalog. Temporary differences in the  $Mc$ -value can influence the seismicity parameters such as the  $b$ -value. Thus, the maximum earthquake numbers are planned to be used for exact results for the analysis. Therefore, this type of estimation must be considered in the first stage of the analysis. In this study, some of the statistical parameters are calculated by using the *ZMAP* package introduced by Wiemer (2001).

## 2.2. Coulomb Stress Change

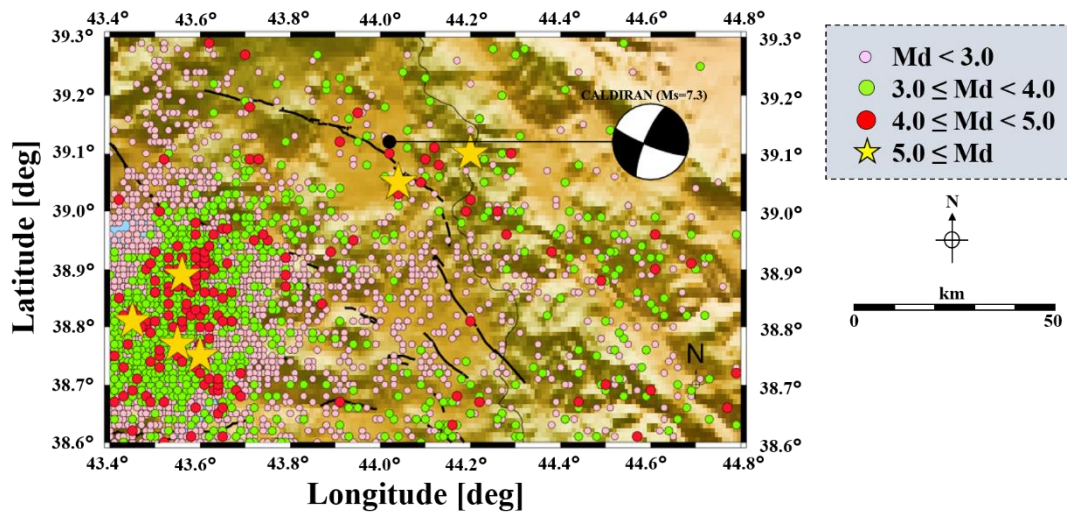
The Coulomb failure stress change ( $\Delta\sigma_{cfs}$ ) for a source fault is given by the difference between the shear stress change ( $\Delta\tau_s$ ) which is positive in the direction of slip and the effective normal stress change ( $\Delta\sigma_n$ ) along the fault plane and the effective coefficient of friction ( $\mu'$ ) changed within 0 to 1, as follows:

$$\Delta\sigma_{cfs} = \Delta\tau_s + \mu' \Delta\sigma_n \quad (4)$$

The effective coefficient of friction is regarded as 0.4 in an elastic half-space and included changes in pore pressure (King et al., 1994). Young's modulus ( $E$ ) is selected as  $8 \times 10^5$  bars and Poisson's ratio ( $\nu$ ) is 0.25 for this study. The Coulomb stress observation between -0.1 and 0.1 (bar) is satisfactory to forecast following earthquake hazards (Yadav et al., 2012). The increased Coulomb stress variation represents the loading stress, pushing the fault toward brittle failure, while the declined Coulomb stress change corresponds to the unloading stress, inhibiting earthquake rupture (Stein et al., 1994). In this study,  $\Delta\sigma_{cfs}$  changes are obtained with the Coulomb 3.4 software (Toda et al., 2011). The source parameters for all earthquakes are used to calculate  $\Delta\sigma_{cfs}$ , showing generally strike-slip fault mechanisms.

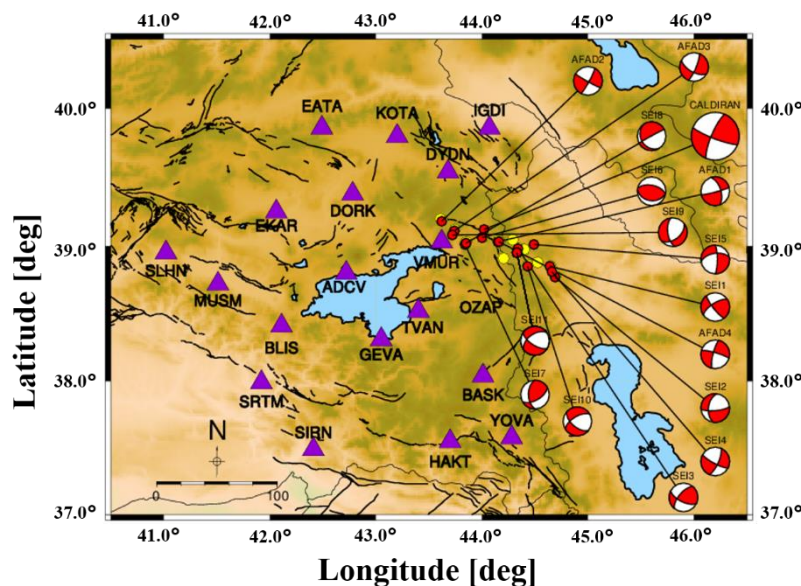
## 3. Data

For the statistical analysis, a part of the homogeneous *duration magnitude* ( $M_d$ ) catalog is obtained from Öztürk (2009) (for details see Bayrak et al., 2009), which is composed of 83 events between 1970 and 2006. The other catalog, which is existed 6086 events, is supplied by Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI) between 2006 and 2022. The part of the earthquake database on the KOERI until 2012 shows that the given magnitude type is  $M_d$ . After 2012, the catalog gradually starts to transform into *local magnitude* ( $M_L$ ). Therefore, instead of converting a 40-year  $M_d$  type to the last 10-year  $M_L$  type, it has been deemed more appropriate to use the data for the last 10 years of empirical  $M_d - M_L$  relations. KOERI provides the *local magnitudes* of the earthquakes for  $M_d$  which is not calculated recently. In this status where  $M_d$  was not determined in the KOERI catalog between 2006 and 2022, unknown  $M_d$  is calculated from  $M_d - M_L$  equations suggested by Bayrak et al. (2009). In this way, the errors in the magnitude conversions are further reduced. For this reason, the  $M_d$  type is used instead of the other magnitude types for more reliable results, and magnitudes in the target catalog are not calculated empirically. The shallow earthquakes (depth  $\leq 70.0$  km) are preferred to make the statistical evaluations. Because Alkan et al. (2020) stated that seismogenic depth changes between 40 and 45 km for the East Anatolian region covering the study region. Finally, an earthquake catalog with a magnitude range of  $1.0 \leq M_d \leq 5.6$  including 6169 earthquakes between July 12, 1975, and December 29, 2021, approximately 46.47 years, is prepared. Epicenter locations of the original catalog consisting of 6169 earthquakes are plotted in Figure 2 by using different symbols for different magnitude levels.



**Figure 2.** Epicenter Distribution Of 6169 Earthquakes From 1975 To 2020. Also, The Çaldıran Earthquake ( $M_S = 7.3$ ) And Its Fault Plane Solution Are Given In The Figure

For the Coulomb failure stress change, source parameters of selected events ( $M \geq 3.6$ ) that occurred along the CFZ between 2010 and 2021 and the 1976 Çaldıran earthquake ( $M_S = 7.3$ ) are given in Table 1. Although the focal mechanism parameters (strike/dip/rake) of some earthquakes (event numbers are 5, 6, 8 and 10) are given by the AFAD, fault plane solutions of other events are obtained using SEISAN software (Ottemöller et al., 2021) with broad-band stations records (Figure 3). In addition, the focal parameters of the 1976 Çaldıran earthquake, which is very important to interpret stress variation in the study region, are taken from the USGS (URL-2). SEISAN is very advantageous computer software and is built on some programs to analyze earthquakes from local and global data. PPFIT (Reasenber and Oppenheimer, 1985) and PINV (Suetsugu, 1998) are integrated into SEISAN software to understand the fault plane mechanism. PPFIT gets the double-couple fault-plane solution using the source model compatible with the study region. PPFIT uses first observing polarities for a suite of earthquakes and gives the inversion results via a two-stage grid search algorithm, which is the weighted sum of first motion polarity discrepancies. The algorithm calculates the uncertainty in the model parameters for the estimated uncertainty interval (Reasenber and Oppenheimer, 1985). On the other hand, PINV (Suetsugu, 1998) gives the best focal mechanism solution depending on P-phase polarities (Ottemöller et al., 2021). Figure 3 demonstrates the focal mechanism solutions and epicenter locations of all events with the spatial distribution of broad-band stations.



**Figure 3.** The Selected Earthquakes Along With The Çaldıran Fault Zone To Investigate Coulomb Stress Changes. The AFAD And SEI On Each Beach Ball Represent AFAD And SEISAN Focal Mechanism Solutions, Respectively. The Yellow Circles Show Earthquakes With No Broad-Band Station Records. The Purple Triangles Represent The Broad-Band Stations Used For The Focal Mechanism Solutions

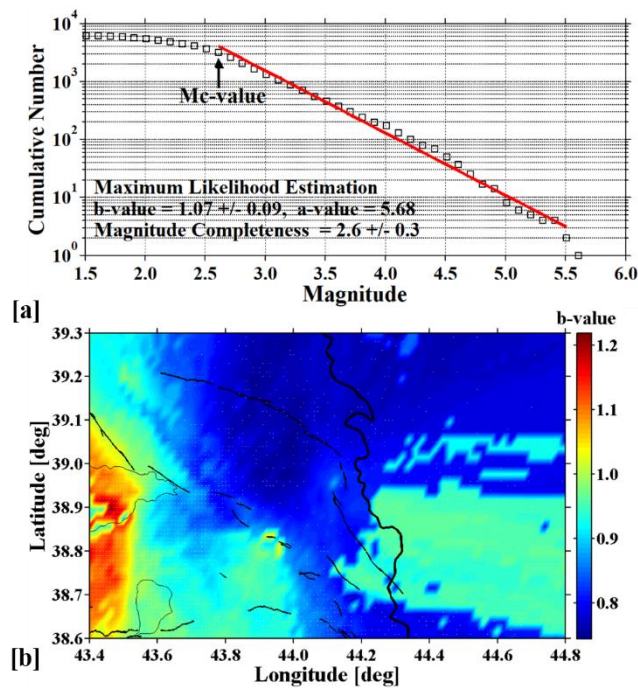
**Table 1.** Focal Parameters Of Earthquakes Obtained From The AFAD (URL-1) And SEISAN Software To Calculate Coulomb Failure Stress Changes In The Study Region

No	Date (dd/mm/yy) (hh:mm:ss)	Depth (km)	Mag	Lat (°N)	Long (°N)	S/D/R (°)	Source
1	22/06/2021 22:43:06	5.24	M <sub>w</sub> =4.2	38.853	44.647	142°/78°/158°	Seisan/FPFIT
2	14/07/2020 09:22:56	7.34	M <sub>i</sub> =3.6	38.779	44.694	85°/75°/-41°	Seisan/FPFIT
3	14/09/2019 15:33:42	11.78	M <sub>w</sub> =4.5	38.984	44.349	220°/64°/29°	Seisan/PINV
4	23/07/2018 11:35:58	2.05	M <sub>w</sub> =3.8	38.816	44.669	118°/78°/-161°	Seisan/FPFIT
5	21/07/2018 06:15:13	7.52	M <sub>w</sub> =4.5	39.038	44.153	75°/85°/-148°	AFAD
6	18/09/2017 09:41:07	4.31	M <sub>w</sub> =4.1	39.186	43.623	119°/86°/-173°	AFAD
7	29/11/2015 06:08:54	7.12	M <sub>w</sub> =3.8	39.017	44.496	0°/78°/-141°	Seisan/FPFIT
8	29/10/2015 09:46:39	4.90	M <sub>w</sub> =4.8	39.119	43.743	119°/61°/-167°	AFAD
9	10/10/2013 03:00:00	9.25	M <sub>i</sub> =3.6	39.061	44.006	97°/34°/86°	Seisan/PINV
10	13/04/2012 00:04:48	4.28	M <sub>i</sub> =4.3	39.030	44.167	286°/81°/-167°	AFAD
11	31/03/2012 12:41:19	4.89	M <sub>i</sub> =3.6	39.018	43.840	60°/58°/134°	Seisan/PINV
12	31/03/2012 10:38:18	4.14	M <sub>i</sub> =3.9	39.029	43.853	147°/25°/-5°	Seisan/PINV
13	09/03/2012 06:14:17	7.0	M <sub>i</sub> =3.9	39.089	43.725	52°/48°/-41°	Seisan/FPFIT
14	06/12/2010 05:16:08	2.4	M <sub>i</sub> =4.1	38.955	44.335	123°/65°/-43°	Seisan/FPFIT
15	06/11/2010 01:05:14	5.0	M <sub>i</sub> =4.1	38.859	44.433	130°/58°/-33°	Seisan/PINV
16	24/11/1976 12:22:18-	36.0	M <sub>s</sub> =7.3	39.121	44.029	111°/81°/167°	USGS

#### 4. Results And Discussion

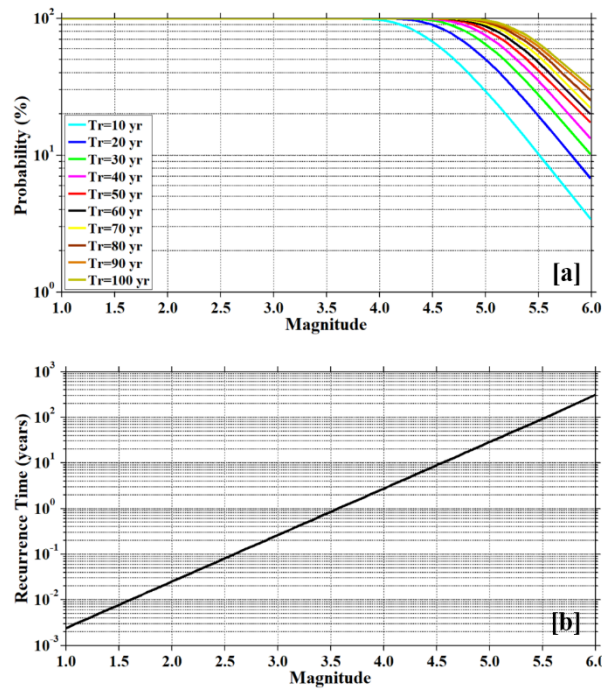
Coulomb stress changes, seismotectonic  $b$ -value, probability and recurrence times are used to understand how earthquakes interact with each other and to predict future seismic hazard. For this purpose, the Coulomb stress variations calculated by the 1976 Çaldıran earthquake and the recent earthquakes are compared at different depth intervals. The obtained stress changes along the CFZ are then contrasted with the  $b$ -value changes, probability and recurrence times of the events.

The  $b$ -value changes, magnitude-frequency distribution, standard deviation,  $a$ -value and  $M_c$ -value are demonstrated in Figure 4. The  $b$ -value is calculated with the maximum likelihood method (Aki, 1965). As indicated in Figure 4a, the average  $M_c$ -value for all catalogs is taken as 2.6 and the  $b$ -value is determined as  $1.07 \pm 0.09$ . As previously mentioned, the  $b$ -values vary between 0.3 and 2.0 on the global scale and tectonic events are presented with a  $b$ -value changing from 0.5 to 1.5 with an average of  $\sim 1.0$ . The regional variation of  $b$ -value is also demonstrated in Figure 4b. The  $b$ -value map is obtained by using a moving window technique with a sample of 1100 earthquakes and prepared by grid cell spacing of  $0.02^\circ$  in longitude and latitude. The regional variation of the  $b$ -value is estimated at 0.75 to 1.21. The regions with the high  $b$ -values ( $> 1.0$ ) are estimated in and around the eastern part of Lake Van including the Erciş fault zone. However, the regions with the low  $b$ -values ( $< 1.0$ ) are observed in all regions including the Çaldıran fault zone consisting of the Alaçayır segment, Hidirmenteş segment and Gülderen segment, Hasantimur fault, Dorutay fault and Saray fault zone. The regions with the small  $b$ -values correspond to great-magnitude earthquakes (Figure 2). Consequently, the  $b$ -value estimation presents the best fit with seismic activity.



**Figure 4.** (A) Magnitude-Frequency Distribution And  $B$ -Value Of G-R Relation.  $B$ -Value, Its Standard Deviation,  $A$ -Value, And  $M_c$ -Value Are Also Supplied In Figure (B) Regional Variations In  $B$ -Value For The Study Region

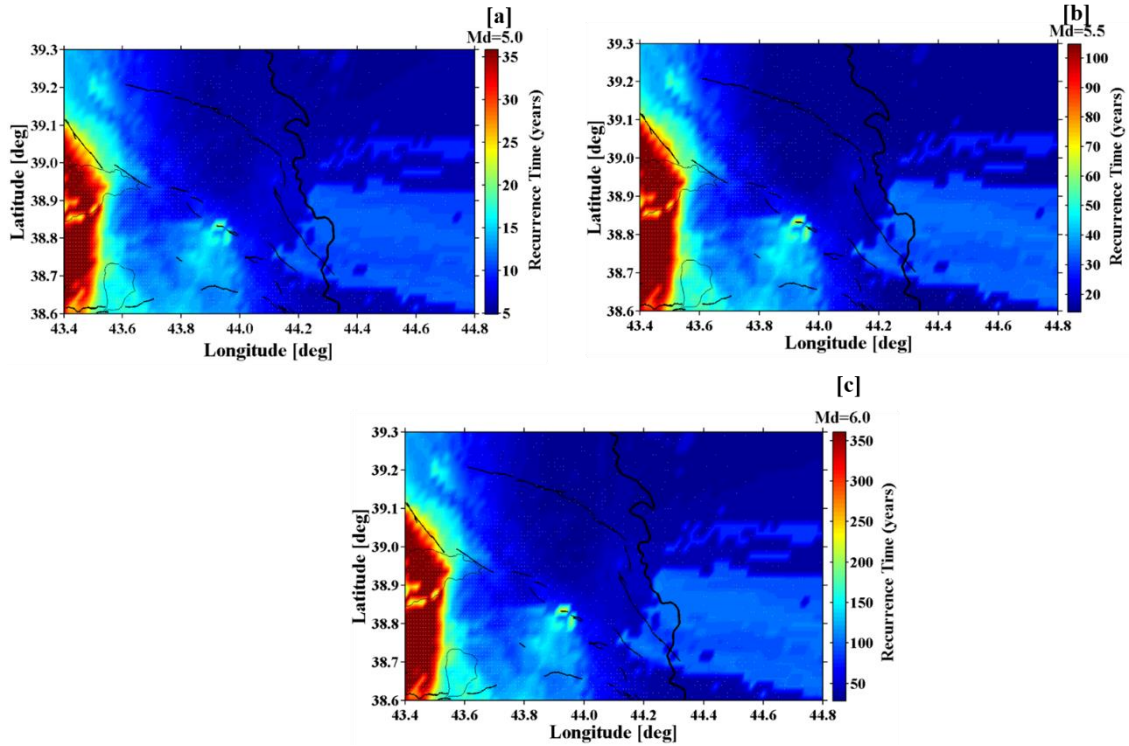
One of the most important applications for statistical behaviors of earthquake occurrence includes the estimation of probabilities and recurrence times. For this purpose, earthquake probabilities and recurrence times of different magnitudes that the catalog includes are drawn in Figure 5. As stated in the data section, the earthquake catalog consists of a magnitude range between 1.0 - 5.6 and the largest magnitude in the earthquake catalog with  $M_d = 5.6$  is the 1976 Çaldıran earthquake. For this reason, the largest earthquake magnitude is chosen as  $M_d = 6.0$  on the magnitude axes. Probabilities of earthquake activity in different magnitudes show comparatively great values changing from 70-100 % for earthquakes of  $1.0 \leq M_d \leq 4.5$  and the values relatively lower than 70 % for earthquakes of  $4.5 \leq M_d$  (Figure 5a). According to Figure 5a, the probabilities of earthquakes with  $M_d = 5.0$  in  $Tr = 10, 20, 50, 70$  and 100 years are estimated as about 30 %, 50 %, 84 %, 92 % and 97 %, respectively. The probabilities of  $M_d = 5.5$  earthquakes in  $Tr = 10, 20, 50, 70$  and 100 years are calculated as about 11 %, 20 %, 44 %, 55 % and 68 %, respectively. Also, the probabilities of  $M_d = 6.0$  earthquake occurrences in  $Tr = 10, 20, 50, 70$  and 100 years are found as about 4 %, 7 %, 18 %, 23 % and 32 %, respectively. Therefore, the probabilities of the other magnitude levels in the other  $Tr$  years can be estimated from Figure 5a. The recurrence times of the earthquakes in different magnitudes are drawn in Figure 5b. Slightly small recurrence times ( $< 1.0$  years) are estimated for the magnitude levels between 1.0 and 3.5. The recurrence times of 1 to 10 years are calculated from 3.5 to 4.5 magnitude intervals. Also, the recurrence times of 10 to 100 years can be anticipated for the magnitude interval between 4.5 and 5.5, while the recurrence times bigger than 100 years can be regarded as magnitudes larger than 5.5. As seen in Figure 5b, the recurrence times of  $M_d = 5.0, 5.5$  and 6.0 earthquakes are estimated as about 29, 90 and 300 years, respectively. Also, the recurrence times of the other magnitude levels can be easily observed in Figure 5b. The results of probabilities and recurrence times suggest that earthquake occurrences changing from 3.0 - 4.5 magnitude levels are more probable than those of the other occurrences in the short term. Thus, these results can supply usable findings to define the statistical behaviors of strong earthquake occurrences in the study region.



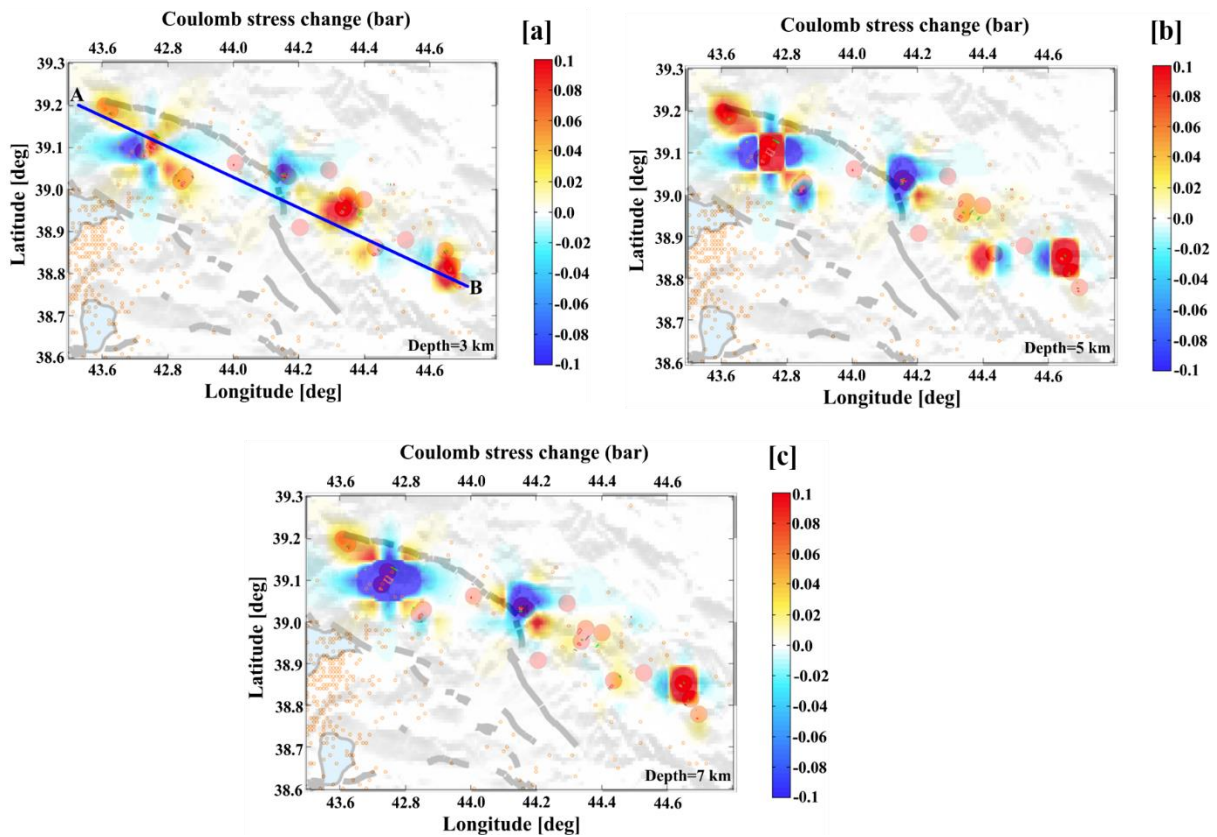
**Figure 5.** (A) Probability Of Earthquakes That A Given Magnitude Will Be Exceeded In Specific Times  $Tr = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$  And  $100$  Years (B) Recurrence Times For Different Magnitude Levels Of The Earthquake Occurrences

Recurrence time change for the events with  $M_d = 5.0, 5.5$  and  $6.0$  are plotted in Figure 6. As given in Figure 6a, recurrence times are estimated as relatively smaller, ranging between 5 and 35 years, for a magnitude level of  $M_d = 5.0$ . Recurrence times changing 25 to 35 years are estimated in and around the eastern part of Lake Van including the Erciş fault. The other regions have small recurrence times ( $\sim 15$  years) for the  $M_d = 5.0$ . Figure 6b depicts the recurrence times of  $M_d = 5.5$  earthquakes, ranging from 20 to 100 years. Also, recurrence times of  $M_d = 6.0$  magnitude are drawn in Figure 6c. Recurrence times for this magnitude size vary generally from 50 to 350 years. As seen from Figures 6a, 6b and 6c, the regions with smaller/greater recurrence times are estimated in nearly the same regions. This means that there is a good relationship between the  $b$ -value and recurrence time. As seen from Figure 6, recurrence times for strong earthquakes with  $M_d = 5.0$  are roughly between 5 and 15 years for a large part of the study region. This result can be promoted by recurrence times with magnitude shown in Figure 5. The detailed analysis of recurrence times for strong earthquake occurrences shows an earthquake potential in the intermediate/long term. Therefore, these earthquake behaviors can promote earthquake hazard in the future.

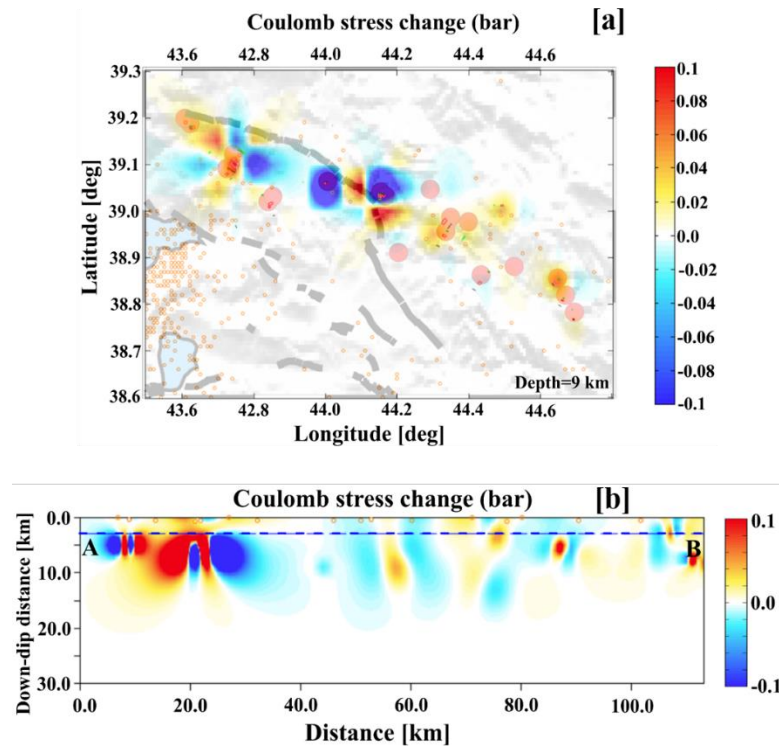
Figures 7 and 8 demonstrate the Coulomb stress variations at a depth of 3, 5, 7 and 9 km around the main rupture of CFZ. The chosen depth ranges to observe stress changes are associated with the hypocenter depths of the selected earthquakes. In the Coulomb stress change maps, the warm colors indicate positive stress values (bar) while the cold colors represent negative stress values (bar). Since the fault mechanism solutions of selected events reflect optimally oriented strike-slip fault mechanisms (Figure 7), the stress variations are calculated into this fault mechanism. In Figures 7 and 8, we observe clustered and small-scale stress variations for each depth level. Especially at shallow depths, the stress changes are positive values towards the North Tabriz fault in the SE direction, whilst it is observed that the stress is positive values at the northwest section of the CFZ at a depth of 5 km. On the other hand, the cross-section “A-B” passes through the hypocentral locations of earthquakes to observe the vertical stress changes as shown in Figure 7a. Along with the “A-B” profile in an NW-SE direction, there is a positive-stress region observed up to 10 km depth in the northwest segment of the CFZ called Alaçayır. However, the stress level towards the southeast is observed at really low values at all depth levels. Besides, it can be observed that the stress is quite low at increasing depths due to the hypocentral distribution of earthquakes.



**Figure 6.** Regional Variations Of The Recurrence Times For Selected Magnitude Levels Including Strong/Large Earthquakes: (A)  $M_d = 5.0$ , (B)  $M_d = 5.5$  And (C)  $M_d = 6.0$



**Figure 7.** Coulomb Stress Changes Are Produced By The Earthquakes Shown In Table 1 Except For The Çaldıran Mainshock At A Depth Of 3 Km (A), 5 Km (B) And 7 Km (C). The Solid Blue Line (A-B) In (A) Shows The Vertical Cross-Section Profile. The Red Circles Demonstrate The Locations Of The Earthquakes (Source Parameters Are Listed In Table 1). The Small Pink Circles Show Earthquakes That Occurred After 2000 In The Study Region (URL-3). Thick Black Lines Represent Active Faults In The Study Region (Modified From Emre Et Al., 2018).



**Figure 8.** (A) The Same As Figure 7 But At A Depth Of 9 Km (B) The Cross-Section Shown In Figure 7a Is Obtained For A Depth Range Of 0-30 Km

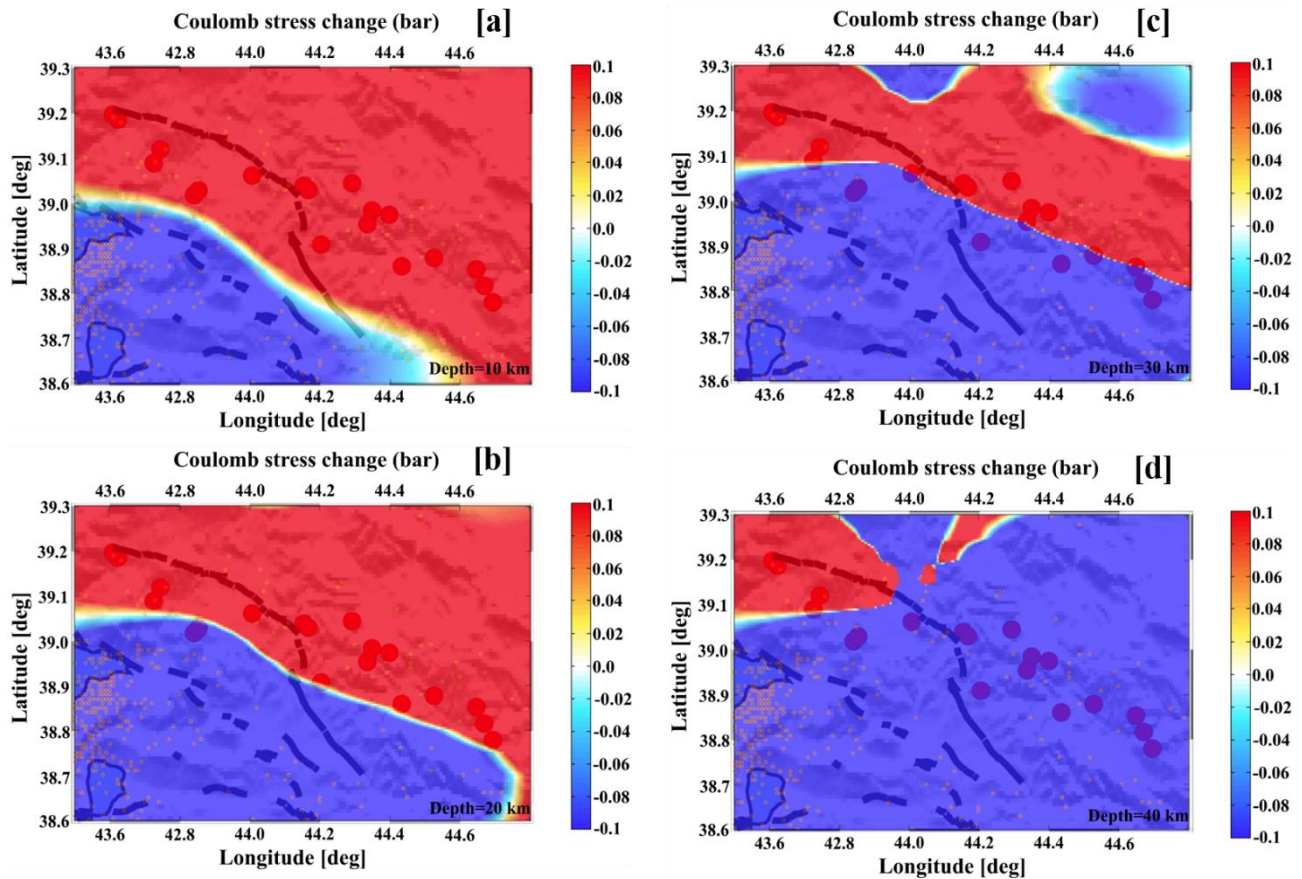
Figure 9 shows the Coulomb stress changes related to the occurrence of the 1976 Çaldıran mainshock ( $M_s = 7.3$ ) for a depth of 10 to 40 km. The focal parameter solution of USGS shows a dextral strike-slip fault with ( $111^\circ$  strike,  $81^\circ$  deep and  $167^\circ$  rake) with 50 - 55 km surface rupture (Selçuk et al., 2016; URL-2). This devastating earthquake created high positive stress values at depths of 10, 20 and 30 km depth in the region. It is demonstrated that the study region is divided into two lobes along the Çaldıran fault zone. Positive-stress values in the north-northwest trend (red) and negative-stress values in the south-southeast trend (blue) can be observed clearly for 10 to 30 km depth intervals. Coulomb stress variation maps (Figures 7 and 8), calculated by using earthquakes that occurred after 2010 (Table 1), demonstrate that there is a higher stress accumulation around the NW segment of the CFZ, Alaçayır segment, despite having shallow focal depths ( $\sim 10$  km). The positive stress region appearing on the Coulomb stress change maps of the 1976 Çaldıran mainshock is also directly related to this vicinity of the Çaldıran fault zone. On the other hand, as shown in Figures 9 and 10, the epicenter locations of the earthquakes selected after 2010 are within the positive stress region calculated from the 1976 mainshock. Concerning the shallow earthquake-generating mechanism of the EAR, the positive stress change region obtained from the 1976 main shock provides the consistency of these study results. However, up to 40 km depth, stress change is accumulated in the northwest direction of CFZ (Alaçayır segment), whilst negative stress values are observed in the Hıdırmentes segment and the Gülderen segment. This high-stress change proves that the stress transfer is along with the Alaçayır segment in the northwest direction. Also, it reduces the likelihood of an earthquake occurring at increasing depths southeast of the CFZ, Hıdırmentes, and Gülderen segments. In this case, finally, the stress transfer of the CFZ may be towards the Erciş fault and Tutak fault in the northwest direction.

There exist numerous analyses including different seismic and tectonic parameters to make comprehensive assessments of the future seismic potential in the East Anatolian region. The general interest in the Van Lake region is quite high after the 2011 Van earthquake. For this reason, many studies are performed to provide regional seismic hazards (Öztürk, 2009; Irmak et al., 2012; Bayrak et al., 2013; Elliot et al., 2013; Tsapanos et al., 2014; Öztürk, 2015). However, although the Çaldıran fault zone is an important mechanism due to seismic potential concerning occurrences of strong earthquakes, the number of previous studies is quite limited.

Irmak et al. (2012) studied the main rupture process of the 2011 Van earthquake ( $M_w = 7.1$ ), extending an N-S direction from Erciş to Van. The focal mechanism solution of the mainshock was accompanied by the main thrust fault in direction of NE-SW. The main shock and secondary structural elements such as left-lateral strike-slip faults and intra-plate tensional cracks were generated by the continental-continental plate collision in the region. Irmak et al. (2012) stated that these secondary structural elements caused very probable great earthquakes, especially in the NE direction beyond the mainshock. Akıncı and Antonioli (2013) investigated the effect of big and possible earthquakes in the Lake Van region. The stress redistribution computation of Akıncı and Antonioli (2013)



demonstrated that the Coulomb stress changes were positive in the Lake Van region and the stress level was enhanced in the northern CFZ. Toker et al. (2021) created off-fault-stress modeling of the crustal depths using the 2011 Van earthquake and aftershocks. They suggested that mainshocks and aftershocks increased the intensity of the stress field in an off-fault region through the upper or brittle crust, the SW-NE direction of the source rupture. Consequently, the results of the Coulomb stress variations in the present study are compatible with those of Irmak et al. (2012), Akıncı and Antonioli (2013) and Toker et al. (2021).

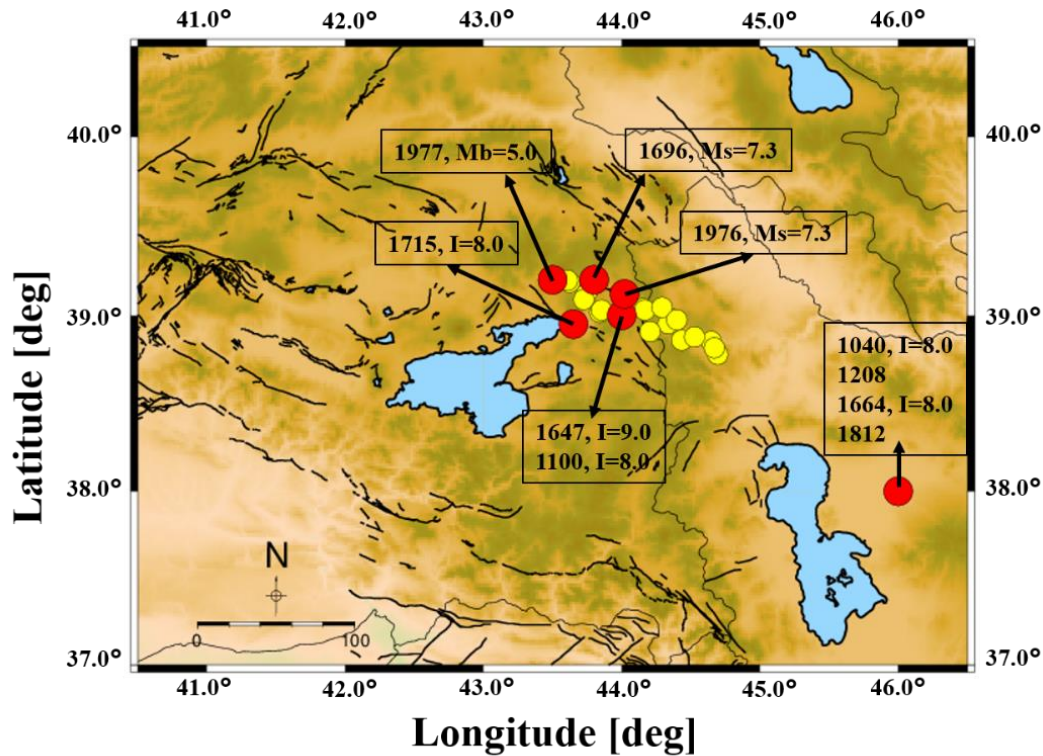


**Figure 9.** Coulomb Stress Changes Are Produced By The 1976 Çaldıran Mainshock ( $M_s = 7.3$ ) At A Depth Of 10 Km (A), 20 Km (B), 30 Km (C) And 40 Km (D). The Red Circles Demonstrate The Locations Of The Selected Earthquakes. The Pink Circles Show Earthquakes That Occurred After 2000 In The Study Region (URL-3). Thick Black Lines Represent Active Faults In The Study Region (Modified From Emre Et Al., 2018).

Öztürk (2018) revealed the current earthquake potential in the Eastern Anatolia region of Turkey. According to the fractal dimension ( $D_c$ ) value,  $b$ -value, and the seismic quiescence  $Z$ -value, the CFZ and its surroundings reflected low  $b$ -values ( $\leq 1.0$ ) and were characterized by high-magnitude earthquakes.  $D_c$ -values were calculated as bigger than 2.2, associated with high-stress values. Also, Öztürk (2017) calculated that the recurrence times of earthquake occurrences for magnitudes greater than 6.0 was approximately 10 years for the EAR which held an earthquake hazard potential. On the other hand, Alkan and Bayrak (2021) investigated tectonic Coulomb stress variations and  $b$ -values distribution of the Lake Van region. In the study of Alkan and Bayrak (2021), the earthquakes that occurred in the Lake Van region were used to calculate the Coulomb stress changes. These local event selections gave the stress change topically and showed negative stress changes towards the SW of the Çaldıran fault zone. These previous results are compatible with the stress change maps of the 1976 Çaldıran earthquake (Figure 9) given the negative stress values towards the south of the Çaldıran fault zone at crustal depths. Besides, Alkan and Bayrak (2021) obtained  $b$ -values smaller than 1.0 around the CFZ. This value was in accord with the higher stress release around the southern part of CFZ.

Utkucu et al. (2013) analyzed Coulomb stress variations concerning the 2011 Van earthquake. They suggested that the 1976 Çaldıran earthquake ( $M_s = 7.3$ ) was a recurrence of the 1696 Çaldıran earthquake ( $M_s = 6.8$ ). Also, the 1976 Çaldıran earthquake caused an increase in stress over the 2011 Van earthquake. They defined four aftershock distribution clusters regarding the 2011 Van earthquake and there was stress transfer towards the CFZ in the direction of NE. Also, Reilinger et al. (2006), Copley and Jackson (2006), and Djamour et al. (2011) calculated the GPS-derived slip rate for the CFZ. According to their findings, the long-term slip rates based on the large

earthquake ( $M \geq 6.0$ ) recurrence time are 231, 343 and 331 years, respectively. According to the results of the present study, the recurrence time of a strong earthquake ( $M \geq 6.0$ ) is approximately 300 years. In addition to that, Figure 10 shows the instrumental and historical periods of seismic activity. In the region, the average return period for an event with a magnitude of  $M_w \geq 7.0$  /  $I = \sim 8.0$  is  $\sim 100$  yr, especially after the 16th century. The destructive earthquakes occurred in the SE-NW direction between the Çaldıran fault zone and the North Tabriz fault zone. This recurrent seismicity is most probably associated with these fault zones. Therefore, the findings of this study about the recurrence times are similar to the findings of Utkucu et al. (2013) and these results can be useful for the earthquake hazard evaluation in the intermediate/long term for the study region.



**Figure 10.** Instrumental And Historical Period Seismicity Of The Study Region. The Symbol "I" Depicts Earthquake Intensity. Large Red Circles Indicate Devastating Earthquakes That Have Occurred In The Region (Utkucu Et Al., 2013; URL-1). Yellow Circles Show The Earthquakes (Source Parameters Are Listed In Table 1) That Occurred After The 1976 Çaldıran Mainshock And Are Used To Calculate The Coulomb Stress Change Along With The CFZ.

The general tectonic compression regime (N-S direction), the existence of fault mechanisms (thrust and strike-slip faults) (Mackenzie et al., 2016), the slip models resolved by InSAR observations (Elliott et al., 2013), recent earthquake activities (2011 Van earthquake ( $M_w = 7.1$ ), 2011 Edremit earthquake ( $M_w = 5.6$ ), 2020 Khoy earthquakes ( $M_w = 5.9$  and  $6.0$ ), and 2020 Saray earthquake ( $M_w = 5.4$ )) and Coulomb stress variations show that the earthquake generation potential of the northern parts of the Lake Van region has increased. Considering the changes in the  $b$ -value and Coulomb stress variation, CFZ contains high seismic risk. On the other hand, CFZ has not produced a major or devastating earthquake since 1976 and it is associated with the North Tabriz fault. These are the other important seismic risk factor for the region. In addition to this, the deficiency of earthquake seismic stations in the region and the limited digital data increase the importance of the results of this study.

Another extremely important output obtained from this study is the relationship between the statistical parameters and the building stock in the region. The shallow earthquake potential (Mackenzie et al., 2016), the local geological units, and the low-building quality (Alkan and Akkaya, 2021) may cause high acceleration, an increased probability of damage, and a high seismic hazard. Considering the loss of life and damage after the 1976 Çaldıran earthquake, the population and building density compared to today have increased by 1-1.5 million in the surrounding provinces. On the other hand, the building stock has changed dramatically. When imagining an earthquake similar to the 1976 Çaldıran mainshock, the possible loss of life and property will inevitably be higher than the damage at that time.

## 5. Conclusion

In the current study, seismotectonic  $b$ -value, earthquake probability and recurrence times with Coulomb stress changes are taken into consideration for a reliable seismic hazard and forecasting of strong earthquakes in and around the Çaldıran fault zone. For this purpose, we use a homogeneous catalog composed of 6169 shallow events (depth  $\leq 70.0$  km) with  $1.0 \leq M_d \leq 5.6$  from July 1975 to December 2021. The statistical analyses are performed in the region covered by coordinates  $38.6^\circ N - 39.3^\circ N$  and  $43.4^\circ E - 44.8^\circ E$ . For the mapping of Coulomb stress changes, 15 events with  $M \geq 3.6$  that occurred in and around the Çaldıran fault zone between 2010 and 2021 and the 1976 Çaldıran mainshock ( $M_s = 7.3$ ) are used. These seismotectonic parameters are applied to predict future earthquake occurrences. The regions with small  $b$ -values ( $< 1.0$ ) cover the Çaldıran fault zone, Hasantimur fault, Dorutay fault and Saray fault zone, while high  $b$ -values ( $> 1.0$ ) are detected in the Erciş fault zone. Besides, the high positive Coulomb stress variations ( $\sim 0.1$  bar) using the events that occurred after 2010 are observed in the NW of the Çaldıran fault zone. However, in other segments of the CFZ, the derived  $\Delta\sigma_{cfs}$  values are more complex. As an important note, the Coulomb stress variation of the 1976 Çaldıran earthquake shows the high in the N-NE region of the CFZ, especially at shadow depths. It is well known that a region with small  $b$ -value, high-stress variations and historical seismic activity is indicated to be the future strong/large earthquake region. In addition to this, the evidence from earthquake probabilities and recurrence times exhibits that the occurrence of earthquakes with a magnitude less than 4.5 in the short term is a high probability and the anomalies of strong earthquakes ( $M \geq 6.0$ ) are also quite compatible with the recurrence times of previous large earthquakes. Finally, the findings of the present study can interpret a great guide for further seismic hazard studies in near future.

### Acknowledgments

Firstly, we thank Editor and reviewers for constructive comments and suggestions. After that, the digital seismic waveforms were retrieved from the Disaster and Emergency Management Authority (<https://deprem.afad.gov.tr/>). Next, Coulomb stress changes were calculated *Coulomb 3.4* software (Toda et al., 2011). Also, Some figures are drawn using *Generic Mapping Tools* (Wessel et al., 2013).

### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

### References

- Ali, S.M., 2016. Statistical analysis of seismicity in Egypt and its surroundings. *Arab. J. Geosci.*, 9, 52.
- Ambraseys, N.N., 2009. *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East*, Cambridge University Press, New York.
- Bayrak, Y., Öztürk, S., Çınar, H., Kalafat, D., Tsapanos, T., Koravos, G.-Ch., Leventakis, G.A., 2009. Estimating earthquake hazard parameters from instrumental data for different regions in and around Turkey. *Eng. Geol.*, 105, 200-210.
- Akinci, A., Antonioli, A., 2013. Observations and stochastic modelling of strong ground motions for the 2011 October 23 Mw 7.1 Van, Turkey, earthquake. *Geophys. J. Int.*, 192, 1217-1239.
- Alkan, H., Çınar, H., Oreshin, S., 2020. Lake Van (southeastern Turkey) experiment: Receiver function analyses of lithospheric structure from teleseismic observations. *Pure Appl. Geophys.*, 177, 3891-3909.
- Alkan, A., Akkaya, İ., 2021. Investigation of Çaldıran (Van) Settlement Area Under the Effect of Active Tectonics by Surface Wave Methods. *Bitlis Eren University Journal of Science*, 10 (4), 1435-1447.
- Alkan, H., Bayrak, E., 2021. Coulomb Stress Changes and Magnitude-Frequency Distribution for Lake Van Region. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 168, 141-156.
- Bayrak, Y., Yadav, R.B.S., Kalafat, D., Tsapanos, T.M., Çınar, H., Singh, A.P., Bayrak, E., Yılmaz, Ş., Öcal, F., Koravos, G., 2013. Seismogenesis and earthquake triggering during the Van (Turkey) 2011 seismic sequence. *Tectonophysics*, 601, 163-176.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey - a synthesis. *Geodin. Acta.*, 14, 3-30.
- Copley, A., Jackson, J., 2006. Active tectonics of the Turkish-Iranian Plateau. *Tectonics*, 25, TC6006.
- Delph, J., Biryol, C.B., Beck, S.L., Zandt, G., Ward, K.M., 2015. Shear wave velocity structure of the Anatolian Plate: anomalously slow crust in southwestern Turkey. *Geophys. J. Int.*, 202, 261-276.
- Djamour, Y., Vernant, P., Nankali, H.R., Tavakoli, F., 2011. NW Iran-eastern Turkey present-day kinematics: Results from the Iranian permanent GPS network. *Earth and Planetary Science Letters*, 307, 27-34.
- Elliott, J.R., Copley, A.C., Holley, R., Scharer, K., Parsons, B., 2013. The 2011 Mw 7.1 Van (Eastern Turkey) earthquake. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 118, 1619-1637.
- Emre, O., Duman, T.Y., Ozalp, S., Saroglu, F., Olgun, S., Elmaci, H., Can, T., 2018. Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 3229-3275.
- Frohlich, C., Davis, S., 1993. Teleseismic  $b$ -values: Or, much ado about 1.0. *J. Geophys. Res.*, 98(B1), 631-644.
- Gutenberg, B., Richter, F., 1944. Frequency of earthquakes in California. *B. Seismol. Soc. Am.*, 34, 185-188.
- Irmak, T.S., Doğan, B., Karakaş, A., 2012. Source mechanism of the 23 October, 2011, Van (Turkey) earthquake (Mw= 7.1) and aftershocks with its tectonic implications. *Earth Planets Space*, 64, 991-1003.
- King, G.C., Stein, R.S., Lin, J., 1994. Static stress changes and the triggering of earthquakes. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 84(3), 935-953.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, S., 2001. Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta*, 14, 177-195.

- Mackenzie, D., Elliott, J.R., Altunel, E., Walker, R.T., Kurban, Y.C., Schwenninger, J.L., Parsons, B., 2016. Seismotectonics and rupture process of the M 7.1 2011 Van reverse-faulting earthquake, eastern Turkey, and implications for hazard in regions of distributed shortening. *Geophysical Journal International*, 206, 501-524.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N., Veis, G., 2000. GPS constraints on plate motions and deformation in the Eastern Mediterranean: implications for plate dynamics. *J. Geophys. Res.*, 105, 5695-5719.
- Ottmøller, L., Voss, P.H., Havskov, J., 2021. SEISAN Earthquake Analysis Software for Windows, Solaris, Linux and MacOSx, Version 12.0. 607 pp. University of Bergen, ISBN 978-82-8088-501-2.
- Mogi, K., 1962. Magnitude-frequency relation for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, Tokyo University*, 40, 831-853.
- Ozer, C., Ozyaziciglu, M., Gök, E., Polat, O., 2019. Imaging the Crustal Structure Throughout the East Anatolian Fault Zone, Turkey, by Local Earthquake Tomography. *Pure Appl. Geophys.*, 176, 2235-2261.
- Öztürk, S., 2009. An application of the earthquake hazard and aftershock probability evaluation methods to Turkey earthquakes. PhD Thesis, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey (in Turkish with English abstract).
- Öztürk, S., 2015. Fractal Dimension of Seismicity and a Modeling on the Intermediate-Term Forecasting for the Locations of Expected Strong Earthquakes: Eastern Anatolian Region, Turkey. *Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute*, 5(1), 1-23 (in Turkish with English abstract).
- Öztürk, S., 2017. Space-time assessing of the earthquake potential in recent years in the Eastern Anatolia region of Turkey. *Earth Sci. Res. J.*, 21, 2, 67-75.
- Öztürk, S., 2018. Earthquake hazard potential in the Eastern Anatolian Region of Turkey: seismotectonic b and Dc-values and precursory quiescence Z-value. *Front Earth Sci.*, 12(1), 215-236.
- Reasenber, P., Oppenheimer, D., 1985. Fpfit, Fpplot, and Fppage: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault plane solutions. Technical report, U.S. Geol. Survey.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydurs, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 111(B5), B05411.
- Scholz, C.H., 2015. On the stress dependence of the earthquake b value. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 1399-1402.
- Selçuk, A.S., Erturaç, M.K., Nomade, S., 2016. Geology of the Çaldıran Fault, Eastern Turkey: Age, slip rate and implications on the characteristic slip behaviour. *Tectonophysics*, 680, 155-173.
- Suetsugu, D., 1998. Practice on source mechanism, iisee lecture note. Technical report Tsukuba, Japan.
- Stein, R.S., King, G.C.P., Lin, J., 1994. Stress Triggering of the 1994 M = 6.7 Northridge, California, earthquake by its predecessors. *Science*, 265(5177), 1432-1435.
- Şaroğlu, F., 1986. Geological and structural evolution of East Anatolia during the Neotectonic period, Unpublished PhD Thesis, İstanbul University, Department of Geological Engineering, 240 page.
- Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., 1986. Doğu Anadolu'da Neotektonik Dönemdeki Jeolojik Evrim ve Havza Modelleri, MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara (in Turkish).
- Şengör, A.M.C., Ozeren, S., Genç, T., Zor, E., 2003. East Anatolian high plateau as a mantle-supported, north-south shortened domal structure. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 24:8045.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., et al., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B5).
- Toda, S., Stein, R.S., Sevilgen, V., Lin, J., 2011. Coulomb 3.3 Graphic-rich deformation and stress-change software for earthquake, tectonic, and volcano research and teaching-user guide. U.S. Geological Survey Open-File Report, 2011-1060, 63.
- Toker, M., Pınar, A., Hoşkan, N., 2021. An integrated critical approach to off-fault strike-slip motion triggered by the 2011 Van mainshock (Mw 7.1), Eastern Anatolia (Turkey): New stress field constraints on subcrustal deformation. *Journal of Geodynamics*, 147, 101861.
- Tsapanos, T.M., Bayrak, Y., Çınar, H., Koravos, G.C., Bayrak, E., Kalogirou, E.E., Tsapanou, V., Vougiouka, E., 2014. Analysis of Largest Earthquakes in Turkey and its Vicinity by Application of the Gumbel III Distribution. *Acta Geophysica*, 62, 1, 59-82.
- Utkucu, M., Durmuş, H., Yalçın, H., Budakoğlu, E., Işık, E., 2013. Coulomb static stress changes before and after the 23 October 2011 Van, eastern Turkey, earthquake (M = 7.1): implications for the earthquake hazard mitigation. *Nat. Hazards. Earth Syst. Sci.*, 13, 1889-1902.
- Wang, C., Ding, X., Li, Q., Shan, X., Zhu, W., Guo, B., Liu, P., 2015. Coseismic and postseismic slip models of the 2011 Van earthquake, Turkey, from InSAR, offset-tracking, MAI, and GPS observations. *Journal of Geodynamics*, 91, 39-50.
- Utsu, T., 1971. Aftershock and earthquake statistic (III): Analyses of the distribution of earthquakes in magnitude, time and space with special consideration to clustering characteristics of earthquake occurrence (1). *Journal of Faculty of Science Hokkaido University Series VII (Geophysics)* 3, 379-441.
- Wessel, P., Smith, W.H.F., Scharroo, R., Luis, J.F., Wobbe, F., 2013. Generic mapping tools: improved version released. *EOS Transaction AGU*, 94, 409-410.
- Wiemer, S., Wyss, M., 2000. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan. *B. Seismol. Soc. Am.*, 90(3), 859-869.
- Wiemer, S., 2001. A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters*, 72(3), 373-382.
- Yadav, R.B.S., Gahalaut, V.K., Chopra, S.B., 2012. Tectonic implications and seismicity triggering during the 2008 Baluchistan, Pakistan earthquake sequence. *J. Asian Earth Sci.*, 45, 167-178.
- Yiğitbaş, E., Elmas, A., Sefunç, A., Özer, N., 2004. Major neotectonic features of eastern Marmara region, Turkey: development of the Adapazarı-Karasu corridor and its tectonic significance. *Geological Journal*, 39, 179-198.

URL-1 . <https://depem.afad.gov.tr/ddakatalogu>, Accessed 2022.

URL-2 <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map>, Accessed 2022.

URL-3 <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/earthquake-catalog>, Accessed 2022.



## BETONARME YÜKSEK BİNALARIN TBDY 2018'E GÖRE PERFORMANSA DAYALI TASARIMI - ÖRNEK UYGULAMA

Ulaş GÖKÇEOĞLU<sup>1</sup>, Zeynep TUNA DEĞER<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> SDG Mühendislik, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Performansa Dayalı Tasarım, Yüksek Bina Tasarımı, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz, Bodrum Perdelerin Yüksek Bina Tasarımına Etkisi.</i>	<p>Bu çalışmada, TBDY 2018'e göre yüksek binaların performansa dayalı tasarım esasları incelenmiş ve örnek bir uygulamayla detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Örnek uygulama için İstanbul'da yer alan ve yüksek bina sınıfına giren 26 katlı bir binanın tasarımı ele alınmıştır. Bina, konut ve işyeri amacıyla tasarlanmış olup, taşıyıcı sistemi yoğunlukla betonarme perdelerden oluşmaktadır. Binanın tasarımı (I) ön tasarım, (II) iyileştirme aşaması ve (III) iyileştirilmiş son tasarım olmak üzere üç aşamada tamamlanmış, performans hedefleri TBDY 2018'e uygun olarak belirlenmiştir. Binanın ön tasarımı tasarım depremi altında gerçekleştirilmiş, servis depremi seviyesinde gerekli iyileştirmeler yapılmış ve maksimum deprem seviyesinde binanın davranışı kontrol edilerek tasarım sonlandırılmıştır. Doğrusal hesap yöntemiyle ve dayanıma göre tasarım felsefesiyle gerçekleştirilen ilk iki tasarım aşaması ETABS programında, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler içeren ve şekil değiştirmeye göre tasarım felsefesiyle yapılan üçüncü tasarım aşaması ise Perform3D programında tamamlanmıştır. Binada mimari sebeplerle asimetrik yerleştirilen bodrum perdeleri, binanın tasarım yönteminin belirlenmesinde önemli bir rol oynamış, ayrıca binanın burulma davranışını belirgin şekilde olumsuz etkilemiştir. Taşıyıcı sistemin burulma etkilerini azaltacak şekilde planlanması çalışmanın belirleyici unsurlarından biri olmuştur. Bu çalışmada bir vaka çalışması aracılığıyla özetlenen tasarım adımlarının ve analiz modellerinin oluşturulma esaslarının TBDY 2018'e göre yüksek bina tasarımı konusunda örnek teşkil ederek literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.</p>

## PERFORMANCE-BASED DESIGN OF RC TALL BUILDINGS BASED ON THE TURKISH SEISMIC BUILDING CODE 2018 - A CASE STUDY

Keywords	Abstract
<i>Performance Based Design, Tall Building Design, Nonlinear Response History Analyses, Effects of Basement Walls on Design of Tall Buildings.</i>	<p>This study includes a detailed review of the performance-based design methodology for tall buildings according to TBEC 2018 based on a model application. The 26-story residential/office building selected for this research is located in İstanbul and is classified as "tall building". The lateral load resisting system consists of mainly reinforced concrete shear walls in both directions. The design was completed in three stages, namely: (I) preliminary design, (II) improved design, and (III) final design, whereas performance criteria were based on TBEC 2018. The preliminary design was completed at the Design Basis Earthquake (DBE) level in stage I, the design was revised at the Service Level Earthquake (SLE) level in stage II, and was finalized in stage III by checking the nonlinear behavior at the Maximum Considered Earthquake (MCE) level. The first two stages consisting of linear elastic analyses based on force-based design concept were performed in ETABS, whereas the nonlinear Response History Analyses (RHA) were conducted in Perform3D. Basement walls were asymmetrically placed due to architectural reasons had a significant adverse effect on the torsional behavior and played a significant role in selection of the seismic design method. This study will contribute to the literature in terms of investigation and implementation of the new design procedures of tall buildings by means of a case study practice.</p>

### Alıntı / Cite

Gökçeoğlu, U., Tuna Değer, Z., (2023). Betonarme Yüksek Binaların Tbdy 2018'e Göre Performansa Dayalı Tasarımı - Örnek Uygulama, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 535-550.

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

U. GÖKÇEOĞLU, 0000-0002-1903-7810  
Z. TUNA DEĞER, 0000-0003-3585-6477

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	11.02.2022
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	05.12.2022
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	13.01.2023
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: zeynep.tuna@itu.edu.tr, +90-212-285-6532

# PERFORMANCE-BASED DESIGN OF RC TALL BUILDINGS BASED ON THE TURKISH SEISMIC BUILDING CODE 2018 - A CASE STUDY

Ulaş GÖKÇEOĞLU<sup>1</sup>, Zeynep TUNA DEĞER<sup>2†</sup>

<sup>1</sup> SDG Mühendislik, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

---

## Highlights

- A detailed review of the performance-based design methodology for tall buildings according to TBEC 2018
  - The 26-story residential/office building classified as "tall building" and located in İstanbul is utilized
  - Investigation and implementation of the new design procedures of tall buildings by means of a case study practice
- 

## Purpose and Scope

The objective of this study is to comprehensively examine the performance-based design methodology for tall buildings in accordance with Turkish Building Earthquake Code (TBEC) 2018, employing a model application as the basis for analysis.

## Design/methodology/approach

A 26-story building located in İstanbul is used for the case study. The occupancy type of the building is residential/office, the lateral load resisting system consists of reinforced concrete shear walls, and the building is classified as "tall building" based on TBEC 2018. The design process underwent across three distinct stages: (I) preliminary design, (II) improved design, and (III) final design; with performance criteria provided in TBEC 2018. The initial two stages, encompassing force-based design concepts, were conducted using linear elastic analyses performed in ETABS, whereas the nonlinear Response History Analyses were executed in Perform3D.

## Findings

- The asymmetric placement of basement walls in the building has significantly adversely affected its torsional behavior. Planning the structural system to minimize torsional effects has been a crucial aspect of the study.
- The nonlinear modeling of the building was carried out according to TBDY 2018 provisions. The maximum relative floor displacements resulting from the maximum earthquake (DD-1) level were calculated as 0.016 and remained below the limits specified in the regulations.
- The ratio of the maximum base shear demand to the building weight for the -x and -y directions at the maximum earthquake (DD-1) level was determined as 0.36 and 0.32, respectively. The highest shear demand was observed in the walls occurred in the area of transfer floors and their surroundings.
- The building height for seismic analysis is defined as the height measured from the floor level of the uppermost story with basement walls enclosing the building from all sides or at least three sides; otherwise, it is measured from the base of the building. In the analyzed building, since the basement walls enclose the building from two sides, the building height is 82.8 meters (BYS = 1), and it was designed in three stages following a deformation-based design philosophy. However, if the basement walls enclosed the building from at least three sides, the fundamental building height for seismic analysis would be 58.3 meters (BYS = 2), requiring a one-stage design approach based on strength. Thus, the significance of determining the design method for basement walls is emphasized in this context.

## Practical implications

This study offers a valuable resource to engineering practitioners, equipping them with a comprehensive guide for implementing the latest tall building design procedures. Through a case study approach, practitioners will gain practical insights and recommendations, enabling them to navigate the intricacies of designing tall buildings.

## Originality

Literature review shows that studies outlining the TBEC 2018 design philosophies are limited. This study fills this gap by investigating the performance-based design principles for tall buildings according to TBDY 2018 through a meticulous analysis of an exemplary case study.

---

<sup>†</sup> Corresponding author: zeynep.tuna@itu.edu.tr, +90-212-285-6532

## 1. Giriş (Introduction)

Yüksek binaların tasarımı geleneksel olarak kuvvet esaslı tasarım yöntemiyle doğrusal analiz prosedürüyle yapılmaktaydı. Ancak 2000'li yılların başından beri yüksek binaların doğrusal olmayan analizleri ve performans esaslı tasarım uygulaması yaygınlaşmıştır. Performansa dayalı tasarım yaklaşımı mühendislerin daha ekonomik taşıyıcı sistem tasarımı yapabilmelerini sağlaması, binanın belirli deprem seviyelerindeki performanslarının nicel olarak belirlenebilmesi gibi yönleriyle daha avantajlı konuma gelmiştir.

Yüksek binaların performansa dayalı tasarımı için çeşitli uzlaşma raporları ve kılavuz niteliğinde dokümanlar hazırlanmıştır. Bu kılavuz dokümanlara öncü olarak San Francisco, ABD'de yayınlanan AB-083 (2007), 2005 yılından beri Los Angeles Yüksek Binalar Tasarım Konseyi (LATBSDC, 2020) tarafından çeşitli versiyonları yayınlanan ve Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER-TBI, 2017) tarafından yayınlanan tasarım kılavuzları gösterilebilir. Türkiye'de ise performansa dayalı tasarım yaklaşımı ilk olarak İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği Taslağında (İYBDY 2007) gündeme gelmiş ve 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ile uygulaması zorunlu hale getirilmiştir.

Yüksek binaların performansa dayalı tasarımı çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmış, çekirdek perdeli (Bertero, 1980; Eljadei, 2012; Yang v.d., 2010) ve perdeli-çerçevesiz yüksek binalar için (Aktan ve Bertero, 1984; Shin v.d. 2010; Değer v.d. 2015) ele alınmıştır. Yang v.d. (2012), Değer ve Wallace (2016) ise performansa dayalı tasarımın konvansiyonel kuvvet esaslı tasarımla kıyaslamasını farklı yapısal sistemler için irdelenmişlerdir. Bu çalışmalarda yukarıda bahsi geçen Amerikan yönetmelikleri esas alınmıştır. Türkiye'deki yönetmelikleri ele alan araştırmalara ise, yüksek bina tasarımını İYBDY 2007'ye göre irdelleyen çalışmalar (Temiz, 2014; Özüyüğü, 2016; Özgün, 2012), sırasıyla perde konumunun ve bağ kirişlerin yapısal davranışa etkisini irdelleyen çalışmalar (Kaya ve Özbay, 2019; Özer ve Yüksel, 2022) ve yüksek bir binanın tasarımını TBDY 2018 ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) şartları için kıyaslayan çalışma (Topçu, 2019) örnek gösterilebilir.

Literatüre bakıldığında, yürürlüğe yakın tarihte girmiş olan TBDY 2018'e göre tasarım prosedürünün incelendiği çalışmalar yetersizdir. Bu çalışmada, TBDY 2018'e göre yüksek binaların performansa dayalı tasarım esasları incelenmiş ve örnek bir uygulamayla detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Bu çalışmanın literatürde yer alan mevcut çalışmalardan farklı olarak ön plana çıkan bir yönü de, mimari gerekçelerle binayı iki taraftan saran ve binada asimetriklik oluşturan bodrum perdeleridir. Bu çalışmada, bodrum perdelerinin TBDY 2018 kapsamında bina yüksekliğine etkisi ve tasarım anlayışının değişmesi ele alınmış, asimetrik bodrum perdelerin burulma etkilerini olumsuz etkilemesi sonucunda taşıyıcı sistemin seçimi konusu irdelenmiştir.

Bu çalışmada örnek uygulama için İstanbul'da yer alan ve yüksek bina sınıfına giren 26 katlı bir binanın tasarımı ele alınmıştır. Ele alınan bina, konut ve işyeri amacıyla tasarlanmış olup, taşıyıcı sistemi iki yönde de yoğunlukla betonarme perdelerden oluşmaktadır. Bu makalede bina ile ilgili genel bilgiler verilmiş, tasarım ve modelleme detayları irdelenmiştir. Tasarıma ait daha detaylı bilgiler ikinci yazarın tez çalışmasından (Gökçeoğlu, 2020) elde edilebilir.

## 2. Binanın Genel Özellikleri (Building Properties)

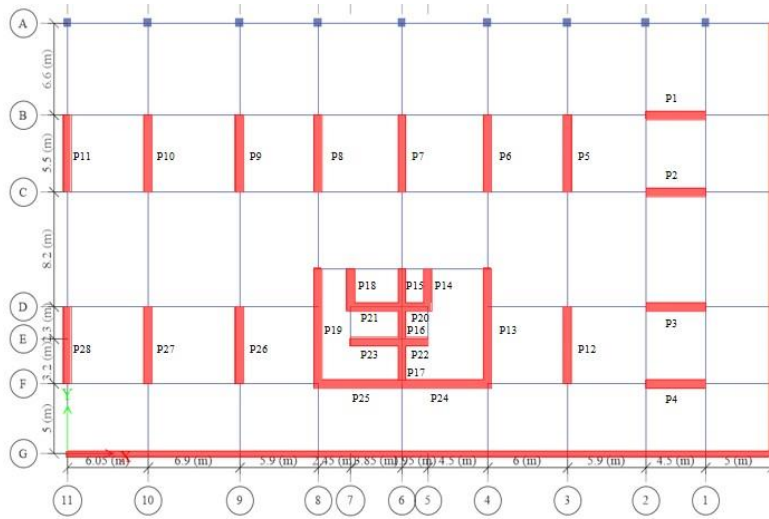
Bu çalışmada yer verilen proje İstanbul, Tuzla'da yer almakta olup, projede ikisi simetrik ikiz olan toplam üç blok yer almaktadır (Şekil 1). Dilatasyonla ayrılan ikiz blokların arasında otopark seviyelerinde geçişler mevcuttur. Bu çalışmada incelenen betonarme bina ikiz bloklardan birine ait olup; 17 normal kat ve 9 bodrum katı olmak üzere toplam 26 kattan oluşmaktadır. Bina, süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ve betonarme boşluksuz perdelerin deprem yükünü birlikte karşıladığı bir taşıyıcı sisteme sahiptir. Otopark seviyelerinde binalar arası geçiş sağlamak için bodrum perdelerin binayı iki tarafından sarması gerekmiş; yüksek burulmalara sebebiyet veren bu asimetriklik taşıyıcı sistemin düzenlenmesi bakımından çalışmanın önemli unsurlarından biri olarak kaydedilmiştir.

Binanın bodrum katları zeminden itibaren 5 kat (B9-B5) ve sonraki 4 kat (B4-zemin) sırasıyla otopark ve mağaza/iş yeri amacıyla; zemin kat ve üzerindeki katlar ise konut amacıyla tasarlanmıştır. Kat yükseklikleri; otopark katlarında 3,2 m, mağaza/iş yeri katları 4,0 m, konut ve çatı katları 3,0 m olarak belirlenmiştir. Döşeme kalınlıkları konut katlarında 15-20 cm arasında, bodrum katlarda ise 20 cm olarak alınmıştır. Taşıyıcı sistem; Şekil 2 ve Şekil 3'te tip katlara ve bodrum katlara ait plan görünüşleriyle birlikte verilmiş, binanın tasarımına ait detaylar sonraki bölümlerde tartışılmıştır.

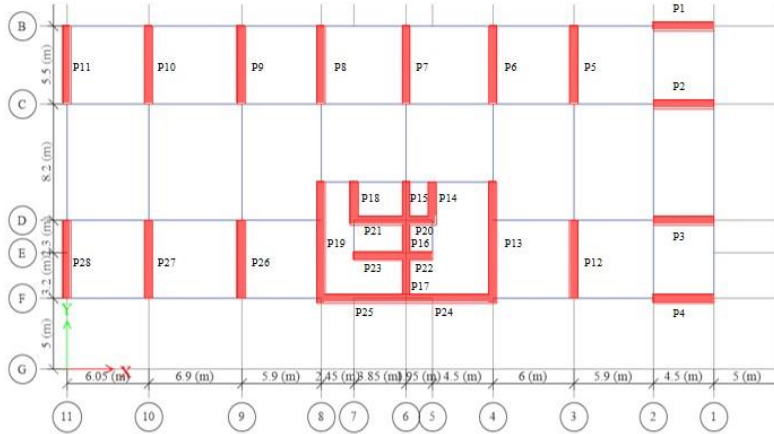




**Şekil 1.** Binanın üç boyutlu görünümü a) mimari, b) analiz modeli  
(Three-dimensional view of the building a) architectural, b) analysis model)



**Şekil 2.** Bodrum katlar için kat planı (Plan view for the basement floors)



**Şekil 3.** Kule katlar için kat planı (Plan view for the typical floors)

### 3. Bina Tasarımı (Building Design)

Binanın tasarımı performansa dayalı tasarım felsefesine dayanarak TBDY 2018'e uygun olarak yapılmıştır. Tasarım yöntemi; binanın konumu, kullanım amacı ve yüksekliğine bağlı olarak seçilmektedir. Binanın konumuna bağlı olarak belirlenen harita spektral ivme katsayılarına ( $S_s$  ve  $S_1$ ) ve deprem tehlike haritalarına AFAD'ın internet sitesinden (AFAD, 2020) erişilmiştir. Binanın konut ve işyeri amacıyla kullanılması nedeniyle bina kullanım sınıfı BKS = 3, spektral ivme katsayıları ve BKS'nin birlikte değerlendirilmesiyle deprem tasarım sınıfı ise DTS = 1 olarak belirlenmiştir. TBDY 2018'de deprem hesabı bakımından bina yüksekliği  $H_N$ ; rijit bodrum perdelerinin binayı her taraftan veya en az üç taraftan çevrelemesi durumunda bodrum perdelerin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde, aksi halde bina tabanından itibaren ölçülen yükseklik olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada incelenen

binanın bodrum katlarında kuzey ve doğu cephelere bakan mağaza/işyerlerinin dış cephelerinin camcama kaplama olması ve otopark katlarında diğer bloklarla geçiş sağlanması gibi mimari gereklilikler nedeniyle bodrum perdeler binayı iki taraftan çevrelemektedir. Bu nedenle, deprem hesabına esas bina yüksekliği 82,8 metre olup, bina yükseklik sınıfı  $BYS = 1$  olarak belirlenmiştir. Burada, bu bina için bodrum perdelerin tasarım yönteminin belirlenmesinde etkili bir rol oynadığı not edilmelidir. Tasarıma esas tüm parametreler Tablo 1’de özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Deprem tasarım parametreleri (Seismic design parameters)

Tasarım parametreleri	Değer
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı $S_s$	1,154 g
1.0 saniye periyot harita spektral ivme katsayısı $S_1$	0,32 g
Zemin Sınıfı	ZB
Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı $F_s$	0,9
1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı $F_1$	0,8
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı $S_{Ds}$	1,038 g
1.0 saniye periyot tasarım spektral ivme katsayısı $S_{D1}$	0,256 g
Bina kullanım sınıfı (BKS)	3
Deprem tasarım sınıfı (DTS)	1
Bina yükseklik sınıfı (BYS)	1

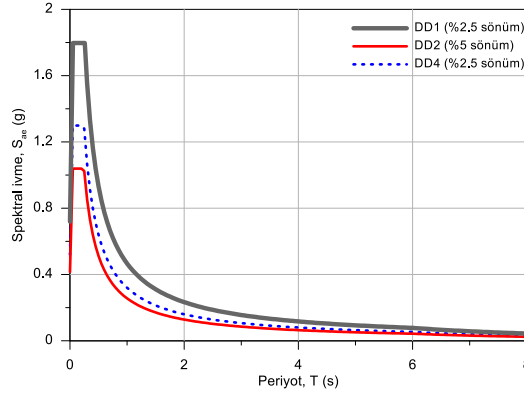
Bu çalışmadan incelenen bina; TBDY 2018’e göre yüksek bina sınıfına girdiği için ( $BYS = 1$ ), tasarımı Bölüm 13’e uygun olarak performansa dayalı tasarım yöntemiyle üç aşamada tamamlanmıştır. Tasarımın birinci aşaması, dayanıma göre tasarım felsefesiyle 475 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen tasarım depremi (DD-2) altında kontrollü hasar (KH) performans hedefini sağlayacak şekilde yapılmıştır. İkinci aşamada, yapısal elemanların 43 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen servis depremi (DD-4) altında kesintisiz kullanım (KK) performans kriterlerini sağladıkları kontrol edilmiştir. Tasarımın birinci ve ikinci aşamasında binanın doğrusal elastik modeli ve analizleri ETABS V17.0.1 programında tamamlanmıştır. Tasarımın üçüncü aşamasında ise, yapısal elemanların 2475 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen maksimum deprem (DD-1) altında göçmenin önlenmesi (GÖ) performans kriterlerini sağladıkları kontrol edilmiştir. Bu amaçla, binanın doğrusal olmayan analiz modeli Perform3D V6 programında oluşturulmuş ve 11 çift deprem yer hareketi için zaman tanım alanında analizleri tamamlanmıştır. Tablo 2’de üç tasarım aşamasının karşılaştırılmalı özeti verilmiştir.

**Tablo 2.** Üç aşamalı tasarım özeti (Three-stage design summary)

Tasarım Aşaması	I	II	III
Deprem düzeyi	DD-2	DD-4	DD-1
Performans hedefi	Kontrollü Hasar	Kesintisiz Kullanım	Göçmenin Önlenmesi
Tasarım yöntemi	Dayanıma göre tasarım	Dayanıma göre tasarım	Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım
Hesap yöntemi	Mod birleştirme	Mod birleştirme	Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz
Bina Önem Katsayısı, I	TBDY 2018 Tablo 3.1	$I = 1.0$	-
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R	TBDY 2018 Tablo 4.1	$R = 1.0$	-
Dayanım Fazlalığı Katsayısı, D	TBDY 2018 Tablo 4.1	$D = 1.0$	-
Malzeme dayanımları	TBDY 2018 Bölüm 4.1	Beklenen dayanım	Beklenen dayanım
Rijitlik	TBDY 2018 Bölüm 13.4	TBDY 2018 Bölüm 13.5	TBDY 2018 Bölüm 13.6
Kritik iç kuvvetler	Kapasite tasarımı	Tasarım iç kuvveti	Max (22 hesap) + std.sapma
Kritik olmayan iç kuvvetler	Tasarım iç kuvveti	Tasarım iç kuvveti	Ortalama (22 hesap)
Şekildeğiştirme limiti	-	-	TBDY 2018 Bölüm 5.8.1, 5A
Görelî kat ötelemesi limiti	0.008 $\bar{K}$	-	Max %4.5, Ortalama %3
Dayanım limitleri	TBDY 2018 Bölüm 4, 7	Sünek $E/K \leq 1.5$ , Gevrek $E/K \leq 1.5$	TBDY 2018 Bölüm 7

### 3.1. Tasarım Aşaması I (Design Stage I)

Tasarımın ilk aşamasında, dayanıma göre tasarım (DGT) esaslarıyla TBDY 2018'e uygun olarak belirlenen yatay elastik tasarım ivme spektrumu (Şekil 4) kullanılmıştır. Hesaplarda mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz perdeler tarafından birlikte karşılandığı için  $R = 7$  olarak belirlenmiş, ancak binanın kuzey kenar aksında yer alan çerçevelerin aldığı taban devrilme momenti toplamının, o doğrultuda binanın tümü için deprem yüklerinden meydana gelen toplam taban devrilme momentinin  $1/6$ 'sından az olması sebebiyle  $R = 5,6$  olarak revize edilmiştir. Tasarım yüklerinin belirlenmesinde binanın zati yüklerine ilave olarak Tablo 3'te listelenen yükler kullanılmıştır. Birinci aşama bina tasarımın ait parametreler Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Tasarım ivme spektrumları

Tablo 3. Binaya uygulanan yük bilgisi (Applied loads)

Kullanım Alanı	Yükün uygulandığı bina kotu	Zati Yük (kN/m <sup>2</sup> )	Hareketli Yük (kN/m <sup>2</sup> )
Otopark	+3,20 - +16,30	2,50	5,00
Mağaza	+20,30 - +31,80	3,00-4,00	5,00
Konut	+34,80 - +82,80	3,50-7,00	2,00 - 5,00
Sığınak	+3,20	5,00	2,00
Depo	+3,20 - +16,30; +31,80	2,50-3,50	5,00
Konsollar	+28,30 - +82,80	3,00	5,00
Merdiven Evi	+3,20 - +82,80	2,50-4,00	5,00
Çatı	+82,80	3,50-4,50	1,50

Tablo 4. I. Aşama bina tasarımına ait parametreler (Design parameters for Design Stage I)

Tasarım Parametreleri	Değer
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R	5,6
Dayanım fazlalığı katsayısı D	2,5
Bina önem katsayısı I	1,0
Deprem yükü azaltma katsayısı R <sub>a</sub>	5,6
Deprem hesabına esas bina kütlesi m <sub>t</sub>	53592 t
Ek dışmerkezlik	%5
Azaltılmış modal taban kesme kuvveti V <sub>t</sub>	V <sub>tx</sub> = 16859,28 kN V <sub>ty</sub> = 16796,05 kN
Minimum taban kesme kuvveti V <sub>t,min</sub>	22278 kN
Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı β <sub>IE</sub>	1,33
Büyütülmüş taban kesme kuvveti V <sub>t</sub>	V <sub>tx</sub> = 23604,82 kN V <sub>ty</sub> = 23516,72 kN

Yapı malzemeleri, C40/50 sınıfı beton ve B420C sınıfı donatı çeliği olarak seçilmiştir. Bu malzemelere karşılık gelen beton karakteristik basınç dayanımı 40 MPa, çelik karakteristik akma dayanımı ise 420 MPa'dır. Tasarım için ETABS programında oluşturulan doğrusal elastik analiz modelinde rijit temel varsayımı yapılmış ve yapı-zemin etkileşimi ihmal edilmiştir. Binanın doğal titreşim periyotları ve ilgili kütle katılım oranları Tablo 5'te

gösterilmiştir. Modlara ait baskın davranışlar birinci ve ikinci modda sırasıyla kısa (-x) ve uzun (-y) doğrultuda yanal ötelenme ve üçüncü modda burulma olmakla birlikte; mimari nedenlerle asimetrik olarak binayı iki taraftan çevreleyecek şekilde yerleştiren bodrum perdelerin rijitlik merkezini kütle merkezinden uzaklaştırması nedeniyle ilk iki modda da yüksek burulma etkileri görülmüştür. Burulma davranışını sınırlanmak amacıyla iteratif bir çalışma yürütülmüş ve taşıyıcı sistem seçimi ve eleman boyutlandırılmasına karar verilmiştir. Bu yönüyle, asimetrik bodrum perdeler ve sebep oldukları burulma davranışı çalışmanın belirleyici unsurlarından biri olmuştur. Her iki doğrultu için rüzgar yükü hesabı, TS498 (1997) ve İstanbul Yüksek Binalar Rüzgar Yönetmeliği (İYBYR-2009) kıyaslanarak yapılmış; sonuçlar, deprem yüklerinin tasarımı belirlediğini göstermiştir.

**Tablo 5.** Modal analiz sonuçları (Modal analysis results)

Mod sayısı	Periyot (s)	Davranış	Kütle katılım oranı
1	2,53	-x doğrultusunda yanal ötelenme	0,2563
2	1,99	-y doğrultusunda yanal ötelenme	0,4305
3	1,27	burulma	0,2280

Tasarımın birinci aşamasında binanın genel davranışına ait görece kat ötelemelerinin sınırlandırılması, ikinci merteye etkisi, düzensizliklerin kontrolü, perdelerde eksenel ezilmeler, vb. kontroller yapılmıştır. Binada, gevrek malzemeden yapılmış boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarlarının ve cephe elemanlarının çerçeve elemanlarına, aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı kullanılmamıştır. Binadaki görece kat ötelemesi değerlerinin, -x doğrultusu için maksimum 0,0059; -y doğrultusu için 0,0061 olduğu ve bu aşama için TBDY 2018 görece kat ötelemelerinin kontrolü kapsamında verilen sınırlar içinde kaldığı görülmüştür. Binada burulma (A1) düzensizliği görülmüştür, ancak yumuşak kat (B2) düzensizliği bulunmamaktadır. Burulma düzensizliğinin mertebesine ilişkin hesaplar ve -x ve -y doğrultuları için katlardaki burulma düzensizliği katsayıları ( $\eta_{bi}$ ) Tablo 6'da sunulmuştur. Burulma düzensizliği katsayısı -x ve -y doğrultuları için sırasıyla 1,65 ve 1,98 seviyelerindedir.

**Tablo 6.** Burulma düzensizliği (-x doğrultusu) (Torsional irregularity (-x direction))

KAT	-x doğrultusu					-y doğrultusu				
	$\Delta_{i(max)}$	$\Delta_{i(min)}$	$\Delta_{i,ort}$	$\eta_{bi,max}$	A1	$\Delta_{i(max)}$	$\Delta_{i(min)}$	$\Delta_{i,ort}$	$\eta_{bi,max}$	A1
K16	7,34	4,34	5,84	1,26	>1,2	7,89	3,34	5,62	1,40	>1,2
K15	7,46	3,86	5,66	1,32	>1,2	7,93	3,18	5,55	1,43	>1,2
K14	7,53	3,89	5,71	1,32	>1,2	7,96	3,54	5,75	1,38	>1,2
K13	7,62	3,92	5,77	1,32	>1,2	8,02	3,64	5,83	1,38	>1,2
K12	7,72	3,95	5,84	1,32	>1,2	8,04	3,06	5,55	1,45	>1,2
K11	7,8	3,98	5,89	1,32	>1,2	8,07	3,3	5,69	1,42	>1,2
K10	7,87	3,97	5,92	1,33	>1,2	8,1	3,24	5,67	1,43	>1,2
K9	7,92	4,01	5,97	1,33	>1,2	8,12	3,19	5,65	1,44	>1,2
K8	7,95	3,99	5,97	1,33	>1,2	8,11	3,12	5,62	1,44	>1,2
K7	7,94	3,97	5,96	1,33	>1,2	8,1	3,05	5,58	1,45	>1,2
K6	7,9	3,92	5,91	1,34	>1,2	8,07	2,93	5,5	1,47	>1,2
K5	7,82	3,87	5,85	1,34	>1,2	8,02	2,82	5,41	1,48	>1,2
K4	7,69	3,79	5,74	1,34	>1,2	7,84	2,69	5,27	1,49	>1,2
K3	7,5	3,69	5,6	1,34	>1,2	7,92	2,55	5,24	1,51	>1,2
K2	7,26	3,59	5,43	1,34	>1,2	7,68	2,38	5,03	1,53	>1,2
K1	6,95	3,43	5,19	1,34	>1,2	7,52	2,21	4,87	1,54	>1,2
Zemin	4,88	3,28	4,08	1,20	OK	7,32	2,01	4,67	1,57	>1,2
1BD	4,36	3,51	3,94	1,11	OK	8,24	2,07	5,16	1,60	>1,2
2BD	8,07	5,98	7,03	1,15	OK	8,95	5,12	7,04	1,27	>1,2
3BD	6,04	2,09	4,07	1,48	>1,2	8,6	0,27	4,43	1,94	>1,2
4BD	4,66	0,99	2,83	1,65	>1,2	7,59	0,11	3,85	1,97	>1,2
5BD	3,42	0,79	2,11	1,62	>1,2	5,68	0,12	2,9	1,96	>1,2
6BD	2,55	0,69	1,62	1,57	>1,2	4,23	0,05	2,14	1,98	>1,2
7BD	2,03	0,5	1,27	1,60	>1,2	3,24	0,09	1,67	1,94	>1,2
8BD	1,39	0,42	0,9	1,54	>1,2	1,84	0,08	0,96	1,92	>1,2
9BD	0,68	0,23	0,45	1,51	>1,2	1,12	0,12	0,62	1,81	>1,2

İkinci merteye etkileri her iki doğrultuda da oldukça düşük seviyede kalmıştır. Perdelerde eksenel yük düzeyi, perdeye gelen eksenel kuvvetin perde kesit alanına ve karakteristik basınç dayanımına bölünmesiyle ( $P/A_{gf,c}$ ) bulunmuş olup, G+Q+E kombinasyonunda bu düzeyin 0,35 değerini aşmaması hedeflenmiştir. Perdeler eksenel ezilme kapasiteleri yönünden yeterli görülüp, kesit büyütmesi yapılmamıştır. Kolonlarda ise eksenel yük düzeyi kontrolü 0,40 değeriyle sağlanmış ve olumsuz bir duruma rastlanmamıştır.

Binanın podyum katlarında deprem etkileri ile birlikte perdelerde eksenel çekme gerilmeleri meydana gelebilmektedir. Bu nedenle transfer katları ve altı-üstü katlarında (2BD, 3BD, 4BD) çekme gerilmeleri, deprem etkisini içeren yük birleşimlerinin tamamının bulunduğu bir zarfla kontrol edilmiştir. Çekme kuvvetinin kapasiteye oranı %0,15 seviyesinde görüldüğünden bu katlarda çekme sebebiyle donatı artımı yapmaya gerek

duyulmamıştır. Betonarme perdelerdeki boyuna donatılarının belirlenmesi için ilk etapta ETABS programında düzgün dağılılı donatı varsayımı yapılarak perdelerdeki kesit tesirlerinin mertebesine bakılmış, sonrasında ise her perde özelinde donatı tasarımı yapılmış ve yetersizlik olan perdelerde donatı artımına gidilerek boyuna donatılar belirlenmiştir. Perdelerin kritik perde yüksekliği belirlenmiş, buna uygun olarak uç bölgeleri tayin edilerek donatılandırma işlemi tamamlanmıştır. Perdelerin enine donatı tasarımı da TBDY 2018’de tanımlanan kesme güvenliği sınırlarını sağlayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Perde donatılandırması işlemi, sürtünme kesmesi ve normal kuvvet-moment (P-M-M) kapasite diyagramları kontrolünü takiben tamamlanmıştır.

Kiriş ve kolonların eğilme tasarımları yapılırken ETABS programı ile maksimum donatı istemlerine göre, uygun donatı çapı seçilerek istenen donatı alanını sağlayacak donatı yerleşimi yapılmıştır. Mümkün olan durumlarda tipleştirme yapılmış, mevcut donatılarla etki/kapasite oranları kıyaslanmıştır. Kolon boyuna donatı alanının brüt kesitin %1’inden az ve %4’ünden daha büyük olamayacağı göz önüne alınmıştır. Kolonlardaki P-M-M etkileşim diyagramları kontrol edildiğinde kesit tesirlerinin düşük olduğu görülmüş, böylece kolonlarda tek tip donatı ve kesit kullanılması uygun bulunmuştur. Kiriş ve kolon enine donatı hesabı, TBDY 2018 uyarınca kesme güvenliğini sağlayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Döşemelerin detaylı tasarımı, sehim hesapları ve kontrolleri SAFE programında yapılmıştır. Deprem kuvvetiyle transfer katında (+24,30 kotunda) asansör boşluğundaki perdelerin birbirlerine doğru veya birbirlerine ters yönde hareket etmeleri sebebiyle döşemede oluşan çekme ve basınç kuvvetlerini ifade eden “podyum etkileri” kontrol edilmiştir. Podyum etkilerinin beton katkısı ile karşılanmadığı kabul edilerek, güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla, döşemede eğilme donatısı dışında ilave donatılar kullanılmıştır.

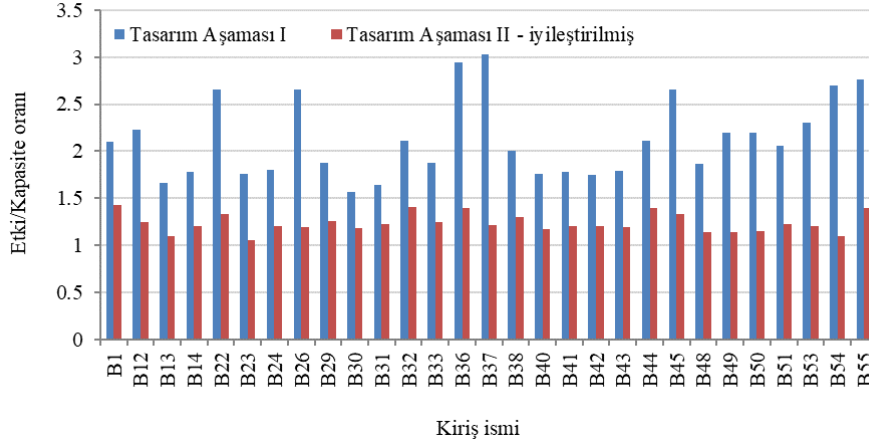
### 3.2. Tasarım Aşaması II (Design Stage II)

Tasarımın ikinci aşamasında yapısal elemanların 43 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen servis depremi (DD-4) altında kesintisiz kullanım (KK) performans kriterlerini sağladıkları kontrol edilmiştir. Dayanıma göre tasarım (DGT) yöntemiyle yapılan doğrusal hesaplar, DD-4 seviyesi için elde edilen ivme spektrumu (Şekil 4) için doğrusal elastik ETABS modeliyle, Tablo 7’de verilen çatlamış kesit rijitlikleri (TBDY 2018) kullanılarak yapılmıştır. Bu aşamada taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayıları sırasıyla R=1 ve D=1; sönüm oranı ise %2,5 alınmıştır.

**Tablo 7. Etkin kesit rijitliği çarpanları (Effective stiffness coefficients)**

Taşıyıcı sistem elemanı	I. Aşama	II. Aşama	III. Aşama
Perde duvarlar	Eğilme – 0,50 EIg Kesme – 1,00 GA <sub>g</sub>	Eğilme – 1,00 EIg Kesme – 1,00 GA <sub>g</sub>	Fiber elemanlar
Çerçeve kirişleri	Eğilme – 0,35 EIg Kesme – 1,00 GA <sub>g</sub>	Eğilme – 0,70 EIg Kesme – 1,00 GA <sub>g</sub>	Eğilme – 0,35 EIg Kesme – 1,00 GA <sub>g</sub>
Çerçeve kolonları	Eğilme – 0,70 EIg Kesme – 1,00 GA <sub>g</sub>	Eğilme – 0,90 EIg Kesme – 1,00 GA <sub>g</sub>	Eğilme – 0,70 EIg Kesme – 1,00 GA <sub>g</sub>
Bodrum perdeleri	Eğilme – 0,50 EIg Kesme – 1,00 GA <sub>g</sub>	Eğilme – 1,00 EIg Kesme – 1,00 GA <sub>g</sub>	Eğilme – 0,50 EIg Kesme – 1,00 GA <sub>g</sub>
Döşemeler	Eğilme – 0,25 EIg Kesme – 1,00 GA <sub>g</sub>	Eğilme – 0,50 EIg Kesme – 1,00 GA <sub>g</sub>	Eğilme – 0,25 EIg Kesme – 1,00 GA <sub>g</sub>

Tüm elemanlar için etki/kapasite oranının; sünek davranışa sahip iç kuvvetler için 1,5, kesme davranışına sahip iç kuvvetler için 0,7 değerini aşmaması sağlanmıştır. Perdelerde etki/kapasite oranı 1,5 değerini aşmamış, en yüksek etki/kapasite oranı 1,118 olarak hesaplanmıştır. Ön tasarımdaki kapasiteler kullanılarak yapılan kontrollerde herhangi bir limit aşımına rastlanılmadığı için, perde ve kolon donatılarında iyileştirme yapılması gerekmemiştir. Kirişlerde ise, kesme davranışı için etki/kapasite oranları limitlerin altında kalırken, eğilme davranışı için etki/kapasite oranlarının 1,5 sınır değeri aştığı kirişler tespit edilmiş ve ilgili kirişlerde iyileştirme yapılmıştır. Eğilme davranışı bakımından donatıları yetersiz kalan kirişlere alt ve üst yüzlerine donatılar ilave edilmiş, yapılan iyileştirmeden önceki ve sonraki maksimum etki/kapasite oranları Şekil 5’te sunulmuştur.



**Şekil 5.** II. Aşama iyileştirmeden sonra kiriş sünek davranışlarının etki/kapasite oranları (Demand/capacity ratios after enhancement in Design Stage II)

### 3.3. Tasarım Aşaması III (Design Stage III)

Tasarımın üçüncü aşamasında yapısal elemanların 2475 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen maksimum deprem (DD-1) altında göçmenin önlenmesi (GÖ) performans kriterlerini sağladıkları kontrol edilmiştir. Bunun için, DD-1 deprem seviyesi için elde edilen ivme spektrumuna (Şekil 4) göre ölçeklendirilmiş 11 yer hareketi çifti kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Davranış büyüklüklerinin değerlendirilmesinde ivme kayıtlarının uygulanması ve eksenlerinin 90° döndürülmesiyle birlikte toplam 22 deprem hesabından elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Seçilen depremlerin listesi deprem süreleri, büyüklükleri ve faya uzaklıklarıyla birlikte Tablo 8’de sunulmuştur.

Yapıda değerlendirmeye esas kuvvetli yer hareketleri seçimi, TBDY 2018’e göre yapılmış ve bu seçimlerde yer hareketlerinin lokal zemin şartlarına mümkün olan en fazla yakınlıkta olan zemin tiplerine uygun olarak seçilmesi ve seçilen bu kayıtların spektruma maksimum örtüşmeyle ölçeklenerek eşlenmesi hedeflenmiştir. Buna göre, seçilmiş olan kayıtların SRSS (The Square Root of Sum of the Squares: Karelerin Toplamının Karekökü) metoduyla bulunan bileşke spektrumlarının ortalamasının  $0,2T_p$  ve  $1,5T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumundaki aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1,3’ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilmiştir. Yer hareketlerinin seçimi ve ölçeklendirilmesine ilişkin detaylı bilgiler başka kaynaklarda (Gökçeoğlu, 2020) bulunabilir.

#### 3.3.1. Doğrusal Olmayan Modelleme (Nonlinear Modeling)

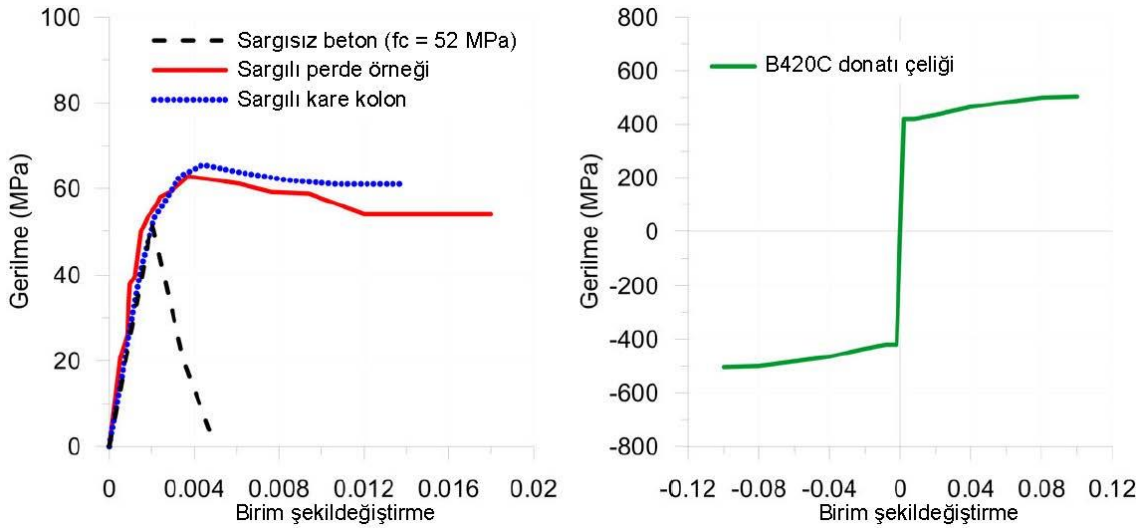
Analizler, Perform3D programında oluşturulan üç boyutlu doğrusal olmayan analiz modeliyle gerçekleştirilmiştir. Analitik modellemede aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

- Modeli basitleştirmek için döşemeler ve binayı çevreleyen kısa konsol kirişler modellenmemiş ve çizgisel yük olarak uygulanmıştır.
- İkinci mertebe etkileri hesaba katılmıştır.
- Yapının temeli ankastre kabul edilmiştir. Yapı-zemin etkileşimi, zemin sınıfı ZD’den daha zayıf olmadığı için dikkate alınmamıştır (TBDY 2018).
- ETABS modelinden Perform3D modeline geçiş sürecinde modelin periyotları, elemanların farklı yük kombinasyonlarına ait analiz sonuçlarının örtüştüğü teyit edilmiştir.

**Tablo 8.** Seçilen depremlerin listesi (List of the selected ground motions)

Deprem Çifti	Deprem İsmi	M <sub>w</sub>	Süresi (s)	Faya uzaklık (km)
JOS000-090	Landers	7,30	43,98	11,02
BRS00-090	Landers	7,30	39,96	34,86
MVH045-135	Landers	7,30	56,06	40,86
AMA000-090	Kobe	6,90	53,99	11,34
IZN180-090	Kocaeli	7,50	29,99	30,73
ARC000-090	Kocaeli	7,50	25,30	10,56
LAMONT362E-N	Düzce	7,10	32,99	23,41
BOL000-090	Düzce	7,10	55,89	12,02
CPE147-237	Imp.Valley	6,53	63,74	15,20
PTS225-315	Imp.Valley	6,53	39,37	12,59
BTP090-360	HectorMine	7,13	67,84	63,05

Yapısal elemanların doğrusal olmayan modellenmesinde TBDY 2018 tarafından verilen hükümler esas alınmıştır. Betonarme perde duvarların modellenmesi için yayılı plastik davranış modeline uygun olarak, dört düğüm noktalı lif (fiber) elemanlar kullanılmıştır. Fiber elemanların tanımında beton ve donatı çeliği için beklenen (ortalama) malzeme dayanımlarını ( $1,3f_c$  ve  $1,2f_y$ ) yansıtan tek eksenli gerilme - şekildeğiştirme bağıntıları (Şekil 6) kullanılmış, sargısız beton (pas payı) ihmal edilmiş ve yüklemekten sonra düzlem kesitin düzlem kaldığı varsayılmıştır. Malzeme davranışlarının tanımında TBDY 2018 hükümleri esas alınmıştır. Betonun elastisite modülü  $E_c$ , TS500 (2000)'e göre C40/50 sınıfı beton için 34000 MPa olarak kullanılmıştır. Perdelerin kesme davranışı elastik şekilde modellenmiştir.

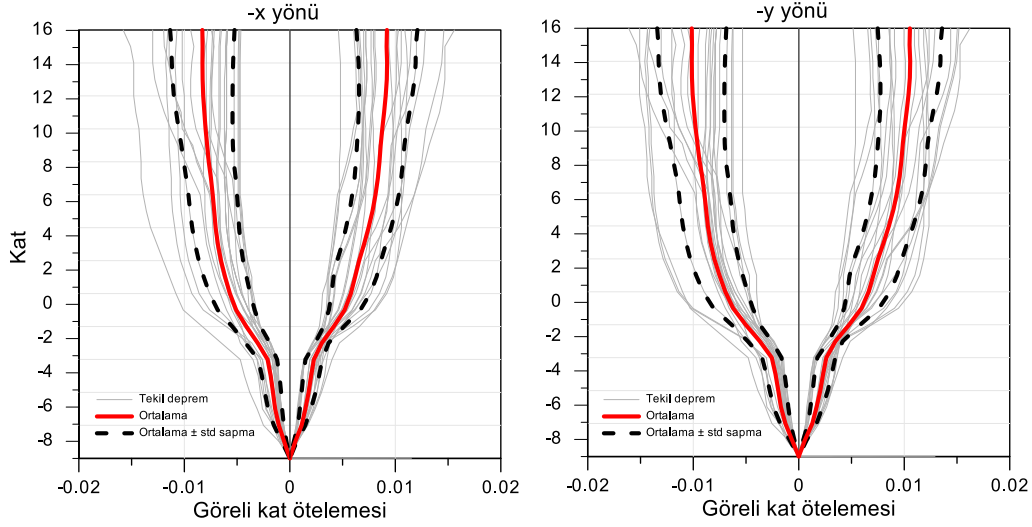
**Şekil 6.** Malzeme davranış modelleri (Material behavior models)

Çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş ve kolon elemanları; yığılı plastik davranış modeli yaklaşımıyla modellenmiştir. Buna göre, uç bölgelerinde plastik mafsallar yer alan elastik elemanlar kullanılmış, kolon-kiriş birleşim bölgeleri ise rijit uç bölgeleriyle modellenmiştir. Elemanların elastik bölgeleri, kesit özellikleri ve TBDY 2018'e göre Tablo 7'de gösterilen etkin kesit rijitlik çarpanları kullanılarak modellenmiştir. Doğrusal olmayan plastik mafsallık özellikleri kirişler için elastik-tam plastik moment - dönme ilişkileri ile, kolonlar için ise normal kuvvet - moment etkileşim diyagramları ile tanımlanmıştır. Dayanım ve rijitlikteki çevrimsel azalma ihmal edilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesaplar için Rayleigh orantılı sönüm matrisi kullanılmıştır. Buna göre, sönüm katsayısı  $0,2T_1$  ve  $1,5T_1$  periyotlarında  $\xi = \%2,5$  olarak tanımlanmıştır. Burada  $T_1$ , binanın hakim titreşim periyodudur. Yük birleşimleri, bina servis yüklemesi (G+nQ) ön analizi yapıldıktan sonra, bu analize deprem etkileri eklenerek hesaba katılmıştır.

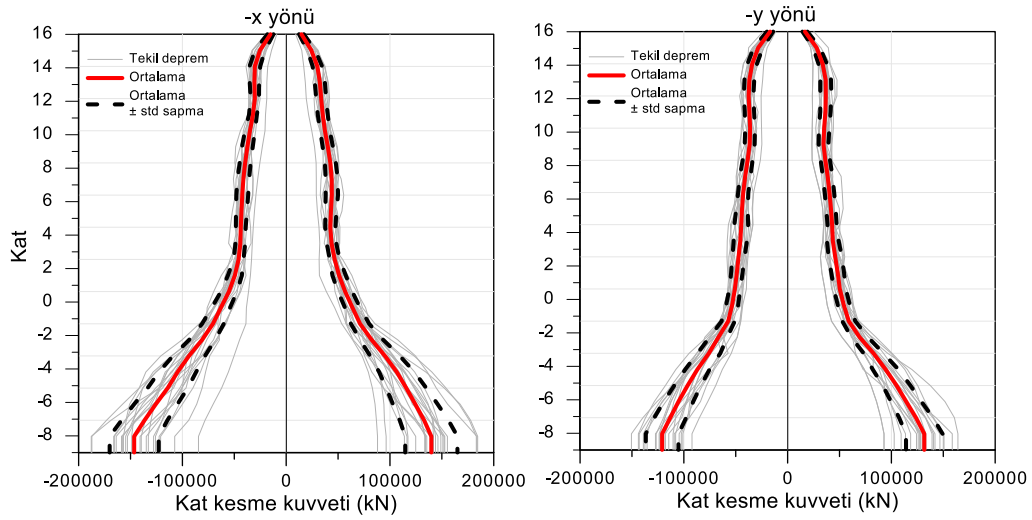
### 3.3.2. Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları (Nonlinear Analysis Results)

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları Şekil 7 ve 8'de sırasıyla görece kat ötelemeleri ve kat kesme kuvvetleri için sunulmuştur. TBDY 2018'e göre, 11 deprem çifti (22 deprem analizi) için elde edilen ortalama görece kat ötelemesi oranının  $0,03'$ ü, tek depremden elde edilen en büyük görece kat ötelemesi oranının ise  $0,045'$ i geçmemesi gerekmektedir. Binada görülen maksimum görece kat ötelemeleri her iki doğrultu için  $0,016$  olarak belirlenmiş ve sınırların altında kaldığı teyit edilmiştir (Şekil 7). Maksimum taban kesme kuvveti, -x ve -y

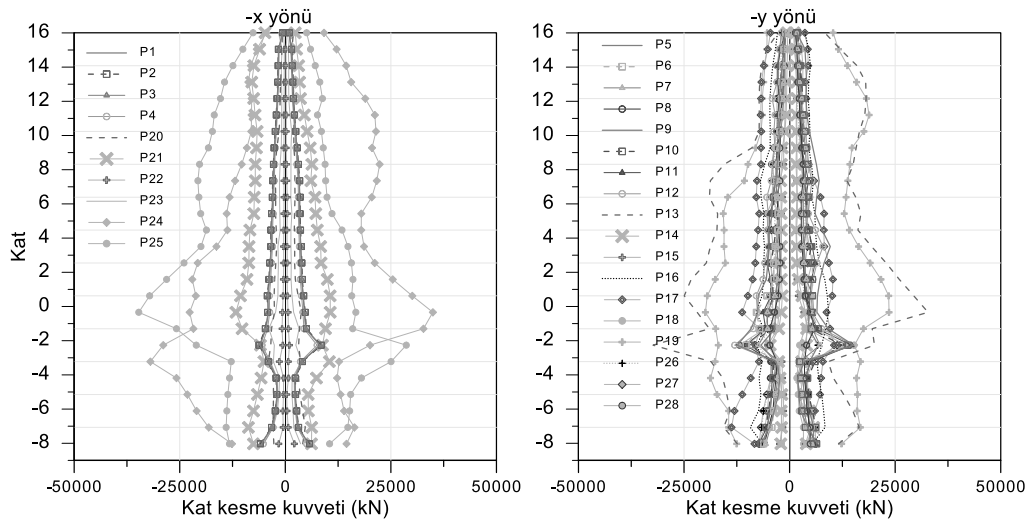
doğrultuları için sırasıyla 190886 kN ve 169071 kN (Şekil 8) ve bu kuvvetlerin bina ağırlığına oranı sırasıyla 0,36 ve 0,32'dir. Perdelerde en çok zorlanan bölgenin transfer katları ve çevresi olduğu görülmüştür (Şekil 9).



Şekil 7. (a) -x doğrultusu ve (b) -y doğrultusu için görelî kat ötelemeleri (Story drifts for (a) -x direction, (b) y direction)



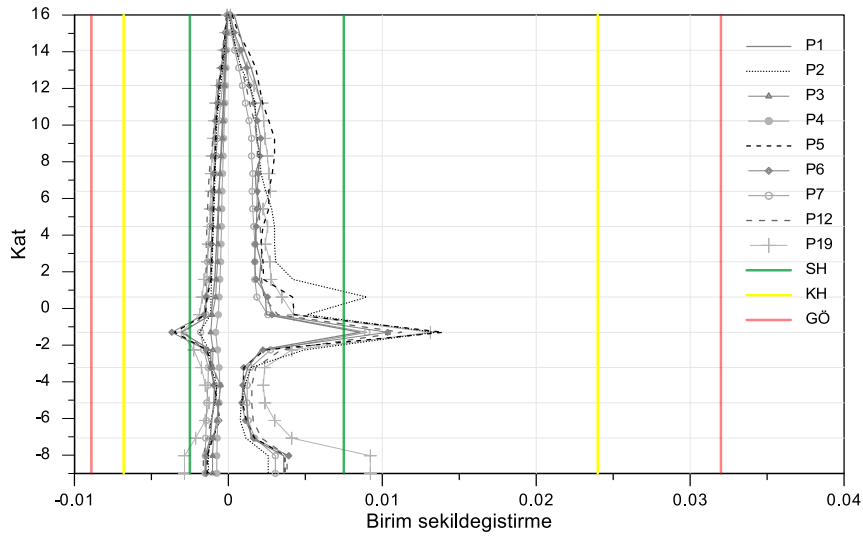
Şekil 8. (a) -x doğrultusu ve (b) -y doğrultusu için kat kesme kuvvetleri (Story shears for (a) -x direction, (b) y direction)



Şekil 9. Perdelerde (a) -x doğrultusu ve (b) -y doğrultusu için kesme kuvvetleri (Shear demands at shear walls for (a) -x direction, (b) y direction)

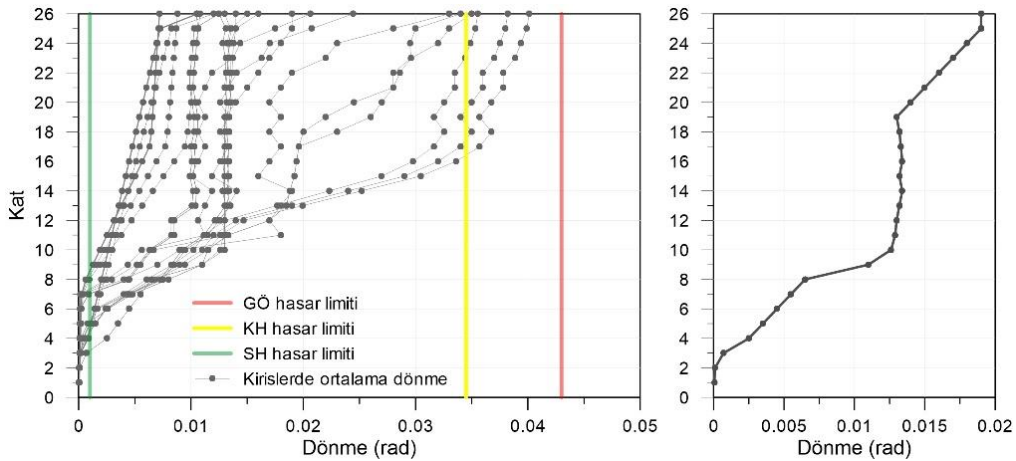


Perdelerde birim şekildeğiştirme talepleri binada fazla sayıda bulunan perdeler (P1-P12, P26-P28) için incelenmiştir. Perdelerde şekildeğiştirmelerinin değerlendirilmesinde uzama birim şekildeğiştirmeleri, eleman bazında atanan gerinimölçerler ile değerlendirilmiş ve Şekil 10'da çizilmiştir. Perdelerin bir kısmında (örn: P2, P5) donatı çeliği birim uzamaları sınırlı hasar (SH) limit değerlerini aşmış, ancak göçmenin önlenmesi (GÖ) performans hedefleri sağlandığı için bu perdelerde iyileştirme yapılmasına gerek duyulmamıştır.



Şekil 10. Örnek perdeler için birim şekildeğiştirme talepleri (Strain demands at selected shear walls)

Kolon ve kirişlerde göçmenin önlenmesi (GÖ) performans seviyesinin kontrolü mafsal dönme seviyelerine göre belirlenmiştir. Analiz sonuçları, birkaç katta ve az sayıda olan kolonların esas olarak elastik davrandığını göstermiştir. Maksimum kolon dönmeleri, bodrum perdelerinin bittiği 8'inci katta görülmüştür. Elastik ötesi davranış ve histeretik enerji sönmülmesinin büyük bölümü kirişlerde görülmüştür. Kirişlerde maksimum dönme (Şekil 11(a)) 0,04 rad olup, göçmenin önlenmesi performans kriterleri sağlanmıştır. Kat diyaframlarının düşey eksen etrafındaki dönmeleri ise Şekil 11(b)'de gösterilmiştir. Dönme değerlerinin üst katlara doğru arttığı ve en yüksek dönme değerinin 0,018 rad olduğu belirlenmiştir.



Şekil 11. (a) Kirişlerde dönmeler, (b) Diyafram dönmeleri ((a) Beam rotations, (b) Diaphragm rotations)

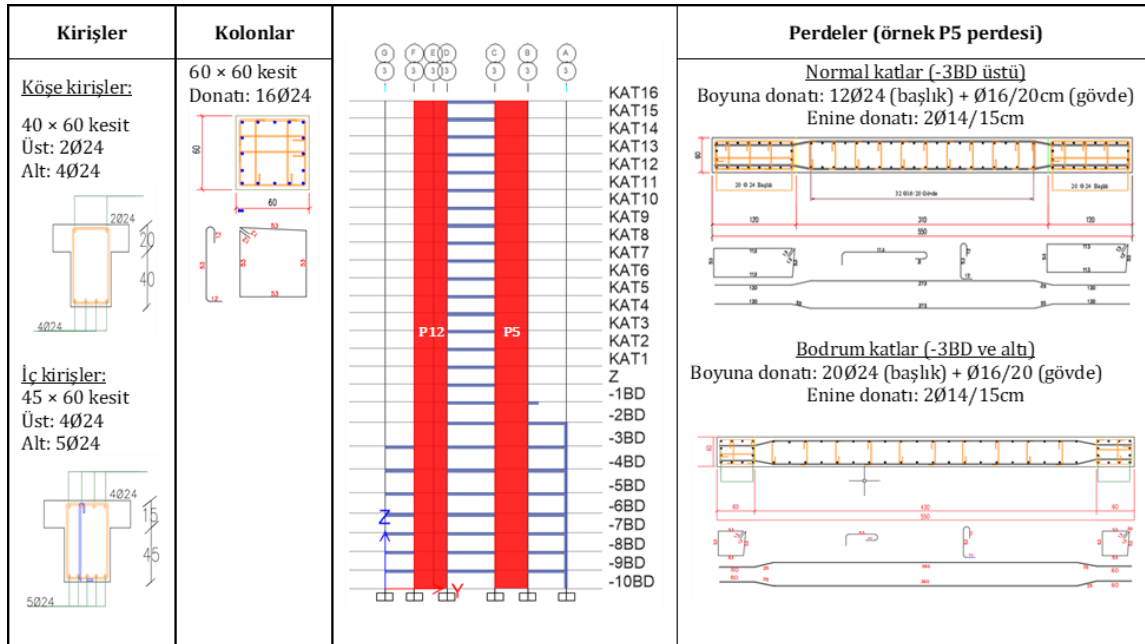
Performansa dayalı tasarım yöntemiyle TBDY 2018 Bölüm 13'e uygun olarak tasarımı tamamlanmış binanın eleman boyutu ve donatı oranı gibi tasarım sonuçları Şekil 12 ve Şekil 13'te sırasıyla "3" ve "B" akslarındaki elemanlar için örnek olarak sunulmuştur. Tasarımda tiplleştirilmeye gidildiği için benzer köşe kirişlerde ve iç kirişlerde aynı boyutlandırma ve donatılandırma yapılmıştır. Ayrıca perde, kolon ve kirişler için örnek kalıp planları sunulmuştur. Binanın taşıyıcı sisteminin yapısı gereği diğer akslarda da benzer boyut ve donatılar elde edilmiştir.

Sistemde inelastik deformasyonlar ve inelastik şekil değiştirme enerjisi beklendiği gibi görülmüş olup, gruplar atanarak eleman bazlı değerlendirme yapılmıştır. Perde, kolon ve kiriş elemanları, performans hedefi olarak belirlenen limitleri aşmamaktadır. Kesme kuvvetleri transfer katlarında artış göstermektedir, herhangi bir perde

için, yönetmelikte tanımlanan birim uzama kısıtlama limitlerinin aşılması durumu ile karşılaşmamıştır. Yapının harcadığı inelastik enerjiye, tüm eleman grupları katılmıştır. Kolonların gerek yapıdaki sayısı itibariyle gerekse de inelastik davranış gösterecek kesit ve donatıya sahip olmaması nedeniyle inelastik enerjiye katkısı oldukça düşük kalmıştır. Kolonlar neredeyse yapıda hiç inelastik enerji harcamamıştır (<%1).

Modellerin tamamı, analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanan programlar (ETABS, Perform3D) tarafından yapılmıştır. Bu süreçte TBDY 2018 kriterlerine bağlı kalınmış, ancak yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışının tanımlanmasında (örn: kiriş ve kolonlarda plastik mafsalları tanımlama) PEER-TBI (2017) ve ATC-72 (2010) gibi uluslararası standartlara başvurulmuştur. Tüm bunlara rağmen farklı programlarda gerek programın yapısı gerekse de modellemeye kaçınılmayacak hususlardan dolayı bazı farklar olabilmektedir. Bu süreçte yapının kütle farkının, halihazırda ülkemizde tasarımı yapılmakta olan projelerde, tasarım teknik personelinin genel bir değer olarak belirlediği %5 maksimum kütle farkı kriteri dikkate alınmıştır. Yapıda kesit analizleri iki farklı programda (SAP2000 ve XTRACT) denenmiş ve iki programdan gelen değerlerin en olumsuzunu alınmıştır. Yapılan hesapların güvenliği her aşamada kontrol edilmiştir. Doğrulama sonucunda karşılaşılan hata oranları %10'dan daha düşüktür ve tasarımı değiştirebilecek mertebelere rastlanmamıştır.

Binada, binayı çevreleyen bodrum perdelerin bittiği katta podyum katları mevcuttur. Yüksek binalarda mimari olarak istenen podyum katlarında, perdelerin plandaki uzunluklarının ve rijitliklerinin çok ani şekilde yapıya katılması nedeniyle yumuşak kat düzensizliği, yapı görelî kat ötelenmeleri, ötelenmeye açık perdelerde toptan göçme gibi sorunlar görülebilmektedir. Ayrıca, deprem etkisi altında kesme etkilerinin en yüksek seviyeleri de ani kesit değişimlerinin olduğu bu katlarda görülmektedir. Çalışma kapsamında incelenen binanın, yumuşak kat kontrolleri, kat ötelenmeleri kontrol edilmiş ve binanın TBDY 2018'de belirtilen kriterlerin tamamını sağladığı görülmüştür. Binanın özellikle kesme etkisi için en kritik bölgesinin podyum katları olduğu düşünülerek, bu katlarda kesme kapasiteleri sargı donatılarıyla artırılmış ve bazı perdelerde bu katların donatıları tiplendirilerek temelden itibaren uygulanmıştır.



Şekil 12. 3 aksındaki yapısal elemanların tasarım özeti (Design summary of structural members at axis 3)

Kiriş tip A	Kiriş tip B	Tip A	Tip B	Tip C	Kiriş tip C	Perdeler (örnek P1 perdesi)
45/60 kiriş. Üst donatı: 3Ø24, alt donatı: 4Ø24	45/60 kiriş. Üst donatı: 4Ø24, alt donatı: 5Ø24				40/60 kiriş. Üst donatı: 2Ø24, alt donatı: 4Ø24	<p><b>Normal katlar (-3BD üstü)</b>  Boyuna donatı:  12Ø24 (başlık) + Ø16/20cm (gövde)  Enine donatı:  2Ø18/15cm</p> <p><b>Bodrum katlar (-3BD ve altı)</b>  Boyuna donatı:  20Ø24 (başlık) + Ø16/20 (gövde)  Enine donatı:  2Ø18/15cm</p>

Şekil 13. B aksındaki yapısal elemanların tasarım özeti (Design summary of structural members at axis B)

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

Bu çalışmada, asimetrik bodrum perde yerleşimi nedeniyle yüksek burulma etkisi gösteren 26 katlı betonarme bir konut/işyeri binasının TBDY 2018 hükümlerine göre tasarımı yapılmıştır. Binanın taşıyıcı sistemi, süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ve betonarme boşluksuz perdelerden oluşmaktadır.

- Binada mimari sebeplerle asimetrik yerleştirilen bodrum perdeler, binanın tasarım yönteminin belirlenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Bodrum perdelerin binayı 3 taraftan çevrelemiyor olması, bina yüksekliğinin temel seviyesinden hesaplanmasını gerektirmiş ve bina yükseklik sınıfı  $BYS = 1$  olduğundan, bina "yüksek bina" olarak Bölüm 13'e göre tasarlanmıştır.
- Binanın tasarımı, performansa dayalı tasarım felsefesiyle üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Bina; tasarımın birinci aşamasında dayanıma göre tasarım felsefesiyle 475 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen tasarım depremi (DD-2) altında kontrollü hasar (KH) performans hedefini sağlayacak şekilde tasarlanmış, ikinci ve üçüncü aşamasında ise binanın sırasıyla 43 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen servis depremi (DD-4) altında kesintisiz kullanım (KK) performans kriterlerini ve 2475 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen maksimum deprem (DD-1) altında göçmenin önlenmesi (GÖ) performans kriterlerini sağladığı kontrol edilmiştir.
- Tasarımın birinci ve ikinci aşamasında binanın doğrusal elastik modelleme ve analizleri ETABS programında, üçüncü aşamasında ise doğrusal olmayan modelleme ve analizleri Perform3D programında yapılmıştır. Tasarımın birinci aşamasında ön tasarım yapılmış, ikinci aşamasında ise bazı kirişlerin iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Tasarımın üçüncü aşamasında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler maksimum deprem seviyesini temsil eden 11 çift deprem yer hareketinin 0 ve 90 derece açıyla uygulanması sonucu toplam 22 yükleme durumu için tamamlanmıştır.
- Binadaki asimetrik bodrum perde yerleşimi binanın burulma davranışını belirgin şekilde olumsuz etkilemiştir. Taşıyıcı sistemin burulma etkilerini azaltacak şekilde planlanması çalışmanın belirleyici unsurlarından biri olmuştur.
- Binanın doğrusal olmayan modellemesi TBDY 2018 hükümlerine göre yapılmıştır. Maksimum deprem (DD-1) seviyesinde meydana gelen maksimum görece kat ötelemeleri 0,016 olarak hesaplanmış ve yönetmelikte verilen sınırların altında kalmıştır.
- Maksimum deprem (DD-1) seviyesinde en yüksek taban kesme kuvveti talebinin bina ağırlığına oranı  $-x$  ve  $-y$  doğrultuları için sırasıyla 0,36 ve 0,32 olarak elde edilmiştir. Perdelerde en yüksek kesme talebi alan bölgenin transfer katları ve çevresi olduğu görülmüştür.
- Elastik ötesi davranış ve histeretik enerji sönmülmesinin büyük bölümü kirişlerde görülmüştür. Kirişlerde maksimum dönme 0,04 rad olup, göçmenin önlenmesi performans kriterleri sağlanmıştır.

Binanın tasarımında karşılaşılan zorlukların başında doğrusal olmayan modelleme ve analizlerin gerektiği son tasarım aşaması gelmiştir. Yönetmelikte görece yeni olan bu kısımda tanımlanmamış ya da ucu açık bırakılmış tanımların olması, yabancı yönetmeliklerden yardım almayı gerektirmiştir. Yüksek binalarda bileşen sayısının fazla olması nedeniyle zaman tanım alanında analizlerin uzun zaman alması ve her yapısal elemanda şekil

değiştirme taleplerinin kontrol edilmesi için kesit kapasite ve taleplerinin hesabının zahmetli bir işlem olması, tasarımda iterasyon sayısını mümkün olduğunca küçük tutmayı gerektirmiş, bu da eleman boyutlarında optimizasyon yapma konusunu sınırlandırmıştır. Bununla birlikte, sonuçların çıktılarının değerlendirilmesi şekil değiştirmeye göre tasarımın zorlayıcı kısımları olmuştur. TBDY 2018’de tasarım yöntemi bina yükseklik sınıfına bağlı olarak seçilmektedir. Deprem hesabına esas bina yüksekliği ise rijit bodrum perdelerinin binayı her taraftan veya en az üç taraftan çevrelemesi durumunda bodrum perdelerin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde, aksi halde bina tabanından itibaren ölçülen yükseklik olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada incelenen binanın bodrum perdeleri binayı iki taraftan çevrelediği için bina yüksekliği 82,8 metre olmuş (BYS = 1) ve tasarım şekil değiştirme esaslı tasarım felsefesiyle üç aşamalı olarak yapılmıştır. Ancak, binanın bodrum perdeleri binayı en az üç taraftan çevrelemiş olsaydı deprem hesabına esas bina yüksekliği 58,3 metre (BYS=2) olacağından, tasarımın dayanıma göre tasarım anlayışıyla tek aşamalı olarak yapılması gerekecekti. Burada, bodrum perdelerin tasarım yönteminin belirlenmesinde etkili bir rol oynadığının altı çizilmelidir.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

### Kaynaklar (References)

- AB, SEAONC 083, 2007. Recommended Administrative Bulletin on the Seismic Design and Review of Tall Buildings Using Non-Prescriptive Procedures. Structural Engineers Association of Northern California (SEAONC) AB-083 Tall Buildings Task Group, San Francisco.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2020. “Türkiye deprem tehlike haritası”, <http://tdth.afad.gov.tr/TDTH> [Erişim: Ağustos 1, 2020].
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018), Ankara, Türkiye.
- Aktan A., Bertero V., 1984. Seismic response of R/C frame-wall structures. J. Str. Eng. 110(8): 1803–1821.
- ATC-72-1, 2010. Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings, Applied Technology Council, Redwood City, California.
- Bertero V.V., 1980. Seismic behavior of R/C wall systems, Proc. of the 7th WCEE, Istanbul, Turkey, Vol. 6.
- Değer Z.T., Wallace J.W., 2016. Seismic performance of reinforced concrete dual-system buildings designed using two different design methods. Struct. Des. Tall Special Build. Jan;25(1):45-59.
- Değer Z.T., Yang, T.Y., Wallace J.W., Moehle J., 2015. Seismic performance of reinforced concrete core wall buildings with and without moment resisting frames. Struct. Design Tall Spec. Build., DOI: 10.1002/tal.1175.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007. T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi.
- Eljadei A.A., 2012. Performance based design of coupled wall structures. Doktora Tezi. U of Pittsburgh.
- ETABS [Bilgisayar Yazılımı] Computers & Structures, Inc., Berkeley, CA.
- Gökçeoğlu, U., 2020. Betonarme Yüksek Bina Türü Bir Yapının 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne Göre Performans Esaslı Tasarımı ve Tasarım Yöntemine Bodrum Perde Duvarlarının Etkisi. Yüksek lisans tezi. İTÜ Afet Yönetimi Enstitüsü.
- İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği Taslağı, 2008. Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- İstanbul Yüksek Binalar Rüzgar Yönetmeliği, 2009. Deprem Mühendisliği Ana Bilim Dalı Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Kaya, G. & Özsoy Özbay, A. E., 2019. Perde Ve Çerçevesel Betonarme Yapılarda Perde Konumunun Planda Düzenlenmesi Ve Yapısal Davranışa Etkisi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(1), 7-17.
- Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council (LATBSDC), 2020. An Alternative Procedure for Seismic Analyses and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region: A Consensus Document.
- Özer, Ö. & Yüksel, B., 2022. Deprem Etkilerinin Betonarme Çerçeveler İle Bağ Kirişli Betonarme Perdeler Tarafından Birlikte Karşılandığı Binalarda Bağ Kirişi Modellerinin Yapı Performansına Etkisi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10 (1) , 161-179.
- Özgün, E., 2012. İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğine Göre Betonarme Yüksek Bir Binanın Analizi. Doktora Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özuygur, A. R., 2016. Performance-based Seismic Design of an Irregular Tall Building – A Case Study. Structures. Vol. 5. Elsevier.
- PEER TBI, 2017. Guidelines for performance-based seismic design of tall buildings. Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), Berkeley, CA.
- Perform 3D [Bilgisayar Yazılımı] Computers & Structures, Inc., Berkeley, CA.
- SAFE [Bilgisayar Yazılımı] Computers & Structures, Inc., Berkeley, CA.
- SAP2000 [Bilgisayar Yazılımı] Computers & Structures, Inc., Berkeley, CA.
- Shin, M., Kang, T., Grossman, J.S., 2010. Practical modelling of high-rise dual-systems with reinforced concrete slab-column frames. Struct. Design Tall Spec. Build. 19 (2010): 728–749.

- Temiz, G.M., 2014. Betonarme Yüksek Bir Binanın 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarımı ve İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğine Göre Performansının İncelenmesi. Doktora Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Topçu, S., 2019. Betonarme yüksek bir binanın Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarımının irdelenmesi. Yüksek lisans tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi.
- TS498. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değeri. Türk Standartları Enstitüsü, 2. Baskı, Ankara, Kasım, 1997. [Erişim tarihi: 30.09.2021]
- XTRACT. (2004). Cross Section Analysis Program of Structural Engineers. Imbsen Software Systems.
- Yang T.Y., Moehle J., Bozorgnia Y., Zareian F., Wallace J.W., 2012. Performance assessment of tall concrete core-wall building designed using two alternative approaches, Earthquake Eng. Struct. Dyn. 41, (11): 1515–1531.
- Yang T.Y., Moehle J.P., Hurtato G., 2010. Seismic modeling and behavior of gravity frames in high-rise building. Proceedings, 9th NCEE, Toronto, Canada.



## FOTOVOLTAİK SİSTEM ÇIKIŞ GÜCÜNÜN YAPAY SİNİR AĞLARI VE MATLAB/SİMULİNK MODELLERİNİN ENTEGRASYONU İLE BELİRLENMESİ

Erşan Ömer YÜZER<sup>1</sup>, Altuğ BOZKURT<sup>2\*</sup>, İbrahim Çağrı BARUTÇU<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hakkâri Üniversitesi, Çölemerik MYO, Elektrik Bölümü, Hakkâri, Türkiye

<sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*PV Sistem,  
Meteorolojik Veri,  
Yapay Sinir Ağları,  
Tahminleme,  
PV Çıkış Gücü.*

### Öz

PV sistemlerin çıkış gücü, temel olarak güneş ışınımına ve diğer atmosferik koşullara bağlıdır. Bu çalışmada, Türkiye'nin Güneydoğusunda yer alan Hakkâri ilinde ölçülmüş olan meteorolojik veriler, tahminleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan Yapay Sinir Ağları (YSA) modelinde giriş değişkenleri olarak değerlendirilmeye alınmış olup, bu modelin çıkışında güneş ışınımının tahmin değerleri belirlenmiştir. Farklı atmosferik koşullarda maksimum gücün belirlenebilmesi için DC - DC yükseltici (boost) güç elektroniği dönüştürücüsüne uygulanan artımlı iletkenlik maksimum güç noktası izleme (MPPT) algoritması bulunan PV sistemin Matlab / Simulink modeli göz önünde bulundurulmuştur. Gerçek güneş ışınımı, ortam sıcaklığı ile YSA modelinde tahmin edilen güneş ışınımı değerleri ayrı ayrı göz önüne alınarak Matlab / Simulink ortamındaki PV sistemin çıkış güçleri hesaplanmıştır. İlk olarak gerçek güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı değerleri daha sonra ise tahmin edilen güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı değerleri, ilgili PV sistem modelinde ele alınarak belirlenen PV sistem çıkış güçleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları literatürde yaygın olarak kullanılan değerlendirme metrikleri ile hesaplanmış ve güneş ışınımı için 0,9705 ve PV sistem çıkış gücü için 0,9668 belirleme katsayısı ( $R^2$ ) değeri ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

## DETERMINATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM OUTPUT POWER BY INTEGRATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND MATLAB/SIMULINK MODELS

### Keywords

*PV System,  
Meteorological Data,  
Artificial Neural Networks,  
Forecasting,  
PV Output Power.*

### Abstract

The output power obtained from PV systems depends mainly on solar radiation and other atmospheric conditions. In this study, meteorological data measured in Hakkari province in the Southeast of Turkey has been evaluated as input parameters in the Artificial Neural Networks (ANN) model, which is widely used in the literature in forecasting studies, and the prediction values of solar radiation have been determined at the output of this model. Matlab/Simulink model of PV system with incremental conductivity maximum power point tracking (MPPT) algorithm applied to DC-DC boost power electronics converter has been considered to determine the maximum power under different atmospheric conditions. Output powers of the PV system in Matlab/Simulink environment have been calculated by considering the real solar radiation, ambient temperature and the solar radiation values estimated in the ANN model separately. First, the actual solar radiation and ambient temperature values and then the predicted solar radiation and ambient temperature values have been handled to compare the output powers in the relevant PV system model. Comparison results have been calculated with evaluation metrics commonly used in the literature, and successful results have been obtained with a determination coefficient ( $R^2$ ) value of 0.9705 for solar radiation and 0.9668 for PV system output power.

\* İlgili yazar / Corresponding author: abozkurt@yildiz.edu.tr, +90-212-383-5834

**Alıntı / Cite**

Yüzer, E.Ö., Bozkurt, A., Barutçu, İ.Ç., (2023). Fotovoltaik Sistem Çıkış Gücünün Yapay Sinir Ağları ve Matlab/Simulink Modellerinin Entegrasyonu ile Belirlenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 551-563.

<b>Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)</b>	<b>Makale Süreci / Article Process</b>	
E.Ö. Yüzer, 0000-0002-9089-1358	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	17.08.2022
A. Bozkurt, 0000-0001-6458-1260	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	28.12.2022
İ.Ç. Barutçu, 0000-0001-6164-2048	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	17.01.2023
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

# DETERMINATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM OUTPUT POWER BY INTEGRATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND MATLAB/SIMULINK MODELS

Erşan Ömer Yüzer<sup>1</sup>, Altuğ Bozkurt<sup>2†</sup>, İbrahim Çağrı Barutçu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hakkâri University, Celemerik JTC, Department of Electricity, Hakkâri, Türkiye

<sup>2</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Electrical and Electronics, Department of Electrical Engineering, Istanbul, Türkiye

## Highlights

- Meteorological data measured in Hakkari province has been considered as input parameters of ANN.
- Estimation values of solar radiation have been determined at the output of ANN model.
- Matlab/Simulink model of PV system has been considered to determine the maximum power.
- PV system powers have been calculated by considering ambient temperature and radiation values.

## Graphical Abstract



Figure. Geographical Location of the Meteorological Station and Arrangement of Measuring Devices

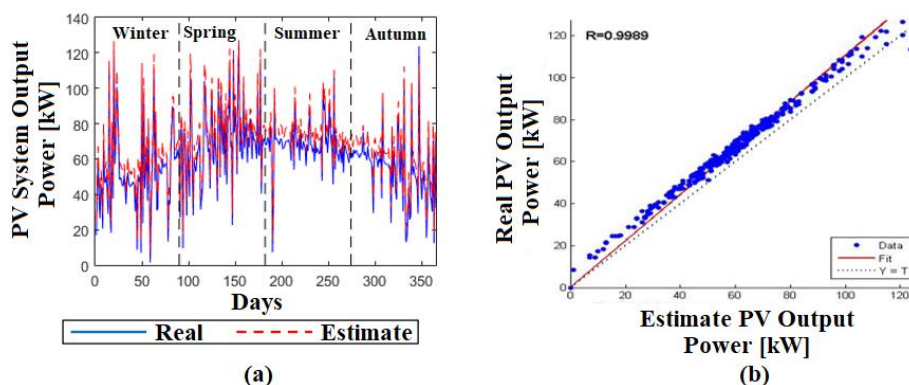


Figure. (a) Yearly PV Output Power Values, (b) Regression graph of PV Output Power

## Purpose and Scope

In this study, meteorological and solar radiation data obtained in Hakkari area has been considered. The data has been handled as the input parameters of Artificial Neural Network (ANN) model. The solar radiation values have been estimated at the output of ANN model. The impact of measured ambient temperature and real and estimated solar radiation values on the photovoltaic (PV) system output power has been observed.

## Design/methodology/approach

In this paper, meteorological data measured in Hakkari province in the Southeast of Turkey has been evaluated as the input parameters in the ANN model. The estimation values of solar radiation have been determined at the output of this model. Matlab/Simulink model of PV system has been considered to determine the maximum power. Output powers of the PV system in Matlab/Simulink environment have been calculated by considering ambient temperature, real and estimated solar radiation values.

## Findings

Successful results have been obtained with a determination coefficient ( $R^2$ ) value of 0.9705 for solar radiation and 0.9668 for PV system output power.

<sup>†</sup> İlgili yazar / Corresponding author: abozkurt@yildiz.edu.tr, +90-212-383-5834



## Originality

This study has the importance in terms of considering both ANN and Matlab/Simulink models for the estimation of PV system output powers.

## 1. Giriş (Introduction)

Günümüzde önemini giderek artıran en güncel problemler arasında, fosil yakıtlardan kaynaklanan enerji bağımlılığını azaltma, hava kirliliğini ve karbondioksit yoğunluğunu sınırlama ihtiyacı önemli bir yere sahiptir. Öte yandan, nüfus artışı ve yaşam standartlarının yükselmesi, sürdürülebilir kalkınma ışığında karşılanması gereken ve artan enerji talebine yol açmaktadır (Bevilacqua vd., 2021). Toplumun ulaşım, barınma ve sağlık hizmetleri gibi temel ihtiyaçları, güncel elektrik uygulamalarının ortaya çıkmasıyla önemli ölçüde iyileşmekte ve elektrik uygulamaları için güç üretimi önemli bir araştırma alanı olmaktadır (Hao vd., 2022).

Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi çevreyi karbondan arındırmak, küresel ısınmayı sınırlamak ve artan enerji talebini karşılamak için önemli bir rol oynamaktadır (Gul vd., 2022). Son yıllarda, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi önemli bir araştırma alanı haline gelmektedir (Swarupa vd., 2021). Yenilenebilir enerji, güç talepleri ve çevresel faktörler nedeniyle hızla büyümektedir. Özellikle güneş enerjisi sistemlerinin elektrik üretimi için kullanılması artış göstermektedir (Catelani vd., 2016). Bu artış, temel olarak kömür, petrol, doğalgaz vb. gibi fosil yakıtların azalmasından kaynaklanmaktadır. Geleneksel yakıt maliyetlerinin çok hızlı artması, insanları güneş enerjisi gibi alternatif enerji kaynaklarını kullanmaya motive etmektedir (Ayeng'o vd., 2019; Shankar vd., 2020). Bu nedenle, PV sistemler gibi daha güvenilir ve uzun vadeli enerji kaynaklarına geçiş için acil bir ihtiyaç bulunmaktadır (Koondhar vd., 2022). Bu durum, bölgelerin çoğunda güneş enerjisi kaynaklarının mevcut olması ve aynı zamanda toplumu onu kullanmaya çeken temiz bir kaynak olmasından kaynaklanmaktadır. PV sistem maliyetlerinin düşmesi, özellikle şebekeden bağımsız alanlarda bu sistemleri düşük gelirli kişilerin kullanımı için de daha uygun maliyetli hale getirmektedir. Elektrik enerjisi üretmek için güneş ışınımını kullanan PV sistemleri geleceğin küresel elektrik üretiminde gelişmeye devam etmektedir.

PV üretim sistemlerden elde edilen avantajları en üst düzeye çıkarmak için çeşitli teknik zorluklarını ele almak büyük önem taşımaktadır. Bu enerjiden yararlanmanın zorluğu, verimliliği yükseltmek ve üretim maliyetlerini düşürmektir. Bu sebeple, çeşitli MPPT algoritmaları, farklı güneş izleme yöntemleri ve bu yöntemler kullanılarak kazanılan enerji literatürde gözden geçirilmeye çalışılmıştır (Sumathi vd., 2017; Ali vd., 2022). PV sistemlerin çıkış gücü, güneş ışınımına ve hücre sıcaklığı koşullarına bağlıdır. Bir PV sistemi tam ışınım koşulları ( $1000 \text{ w/m}^2$ ) altında olduğunda, her modül tarafından üretilen güç benzer olduğundan toplam çıkış gücü ayrı ayrı modüllerin güçlerinin toplamıdır. Öte yandan, hava şartlarından kaynaklı ışınım koşullarındaki ani değişimler, PV sistemler üzerinde olumsuz etkiye sahip olup, güç kayıplarının artmasına neden olmaktadır (Chepp vd., 2021; Pachauri vd., 2022). Özellikle, sıcaklık ve güneş ışınımı değişimlerinde PV sistem güç üretiminin doğru tahmini güvenilir ve ekonomik çalışması açısından çok önemlidir (Wang vd., 2021). PV sistemlerde güç üretimi esas olarak güneş ışınım miktarına bağlıdır. Ancak ışınım mevcut hava olaylarından dolayı zaman içerisinde sürekli değişiklik gösterebilir. Bu değişkenlik ve buna bağlı olarak tahminlerdeki belirsizlik enerji sisteminin yönetimi için gereklidir ve ayrıca elektrik şebekesinin kararlılığı için de önemli bir sorundur. Bu nedenle PV sistemin çıkış gücünü belirlemeden önce güneş ışınımının belirlenmesi oldukça önemlidir.

YSA modelleri güneş ışınımını tahmin etmek için en yaygın kullanılan ve yüksek performansla sahip tahmin modelleri olarak kabul edilen güçlü araçlardır (Majumder vd., 2017). Bu yöntemler enerji sistemlerindeki hata riskini en aza indirir ve gelecekteki senaryoları modelleyerek veya simüle ederek güvenilirliklerini belirler (Lyu vd., 2014). YSA modelleri, özellikle son on yıldan beri en yaygın kullanılan güneş enerjisini tahmin yöntemlerinden biri olmuştur ve güneş enerjisini tahmin etmek için doğrusal olmayan bir istatistiksel araç olarak kullanılmaktadır. Performansı diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında anlamlı sonuçlar göstermektedir (Lv vd., 2019; Martín vd., 2010). YSA güneş ışınımını tahmin etmek için diğer deneysel regresyon modellerinden daha uygundur ve güneş radyasyonu verilerinin hem modellenmesi hem de öngörülmesi için kullanılabilir (Praynlin vd., 2017).

Bu çalışmada, Hakkâri bölgesinde ölçülmüş olan güneş ışınımı ve meteorolojik verileri göz önünde bulundurulmuştur. Bu veriler, YSA modelinde giriş değişkenleri olarak ele alınmış olup, bu modelin çıkışında güneş ışınımı değerleri tahmin edilmiştir. DC - DC yükseltici güç elektroniği dönüştürücüsü ara yüzü bulunan PV sistemin Matlab / Simulink modeli ele alınmıştır. Bu modelde, farklı atmosferik koşullarda maksimum gücün elde edilebilmesi için DC - DC dönüştürücüye uygulanan artımlı iletkenlik MPPT algoritması bulunmaktadır. Gerçek güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı kullanılan YSA modelinde tahmin edilen güneş ışınımı değerleri göz önünde bulundurularak Matlab / Simulink ortamındaki PV sistemin çıkış gücü elde edilmiştir. İlk olarak gerçek güneş ışınımı ile ortam sıcaklığı değerleri daha sonra ise tahmin edilen güneş ışınımı ile ortam sıcaklığı değerleri PV

sistem modelinde kullanılarak elde edilen çıkış güçleri karşılaştırılmıştır. Bu şekilde ölçülen gerçek ve tahmin edilen güneş ışınımı ile ortam sıcaklığı değerlerinin PV sistem çıkış gücüne olan etkisi gözlemlenmiştir.

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

### 2.1. Çalışma Bölgesi (Study Area)

Güneş enerjisinin verimli bir şekilde elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve kullanılması için, güneş enerjisi sistemleri tasarlayan mühendisler, küresel güneş ışınımının geçmişten günümüze kadar uzun süreli verilerine ihtiyaç duymaktadır (Sözen vd. 2005). Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli çok yüksektir (Sözen vd., 2004). Özellikle Akdeniz, Doğu ve İç Anadolu bölgelerinin güney kesimleri PV santrallerinin kurulumu için oldukça uygun yerlerdir.

Bu çalışma, Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan Hakkâri ilinde elde edilen veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bölgede yer alan çalışma alanı, piranometrenin yanı sıra güneş panellerinin yükseklik seviyesindeki rüzgâr hızını ölçmek için bir anemometreye ek olarak sıcaklık, bağıl nem ve basınç sensörleri ile donatılmıştır. Verilerin kayıt altına alınması, işlenmesi, modellerin gelişimi ve analiz edilmesi, Intel Xeon Silver 20 çekirdek işlemcili 2.2 GHz hız, 24 GB bellek ve 1024 Cuda içerikli Quadro P2000 ekran kartına sahip bir Workstation altında MATLAB2021a programı ile geliştirilmiştir. Meteoroloji istasyonu ile PV panellerin ve ölçüm cihazlarının düzeninin bulunduğu bölgenin konumu Şekil 1’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Meteoroloji istasyonunun coğrafi konumu ve ölçüm cihazlarının düzeni  
(Geographical location of the meteorological station and arrangement of measuring devices)

### 2.2. Veri Seti (Data Set)

PV sistemlerden elde edilen güç için güneş ışınımı en önemli değişkendir. Ek olarak, ortam sıcaklığı, modül sıcaklığı, rüzgâr hızı ve nem dahil olmak üzere diğer hava durumu değişkenleri, PV sistem güç çıkışını tahmin etmek için en yaygın değişkenler olarak kabul edilmektedir (Das vd., 2018). Güneş ışınım ölçümleri çalışma bölgesinde güneş panelleri üzerine monte edilen piranometre tarafından 1 dakikalık aralıklarla ölçülmüştür. Ayrıca rüzgâr hızı, ortam sıcaklığı, bağıl nem ve atmosferik basınç değerleri de aynı konumdaki sensörler vasıtasıyla senkron olarak ölçülmüştür. Gün boyunca elde edilen dakikalık verilerin ortalaması alınarak meteorolojik verilerin günlük ortalamaları elde edilmiştir. Güneş ışınımının sıfır olduğu değerlerde PV panellerde güç üretilmediği için bu değerdeki güneş ışınım verileri çalışmada kullanılmamıştır. Tablo 1, coğrafi koordinatları, ölçülen meteorolojik bileşenleri, ölçüm periyodunu ve özelliklerini göstermektedir.

**Tablo 1.** Ölçüm yapılan istasyon bilgileri (Measurement station information)

<b>Çalışma Yeri</b>	Hakkâri Merkez
<b>Enlem</b>	37.571799° K
<b>Boylam</b>	43.724936° D
<b>Yükseklik</b>	1755 m
<b>Veri Ölçüm Periyodu</b>	01/03/2020 – 31/05/2022

<b>Ölçülen Meteorolojik Bileşenler</b>	Rüzgâr Hızı (m/s)
	Ortam Sıcaklığı (°C)
	Atmosferik Basınç (hPa)
	Bağıl Nem (%)
	Küresel Yatay Işınım (W/m <sup>2</sup> )

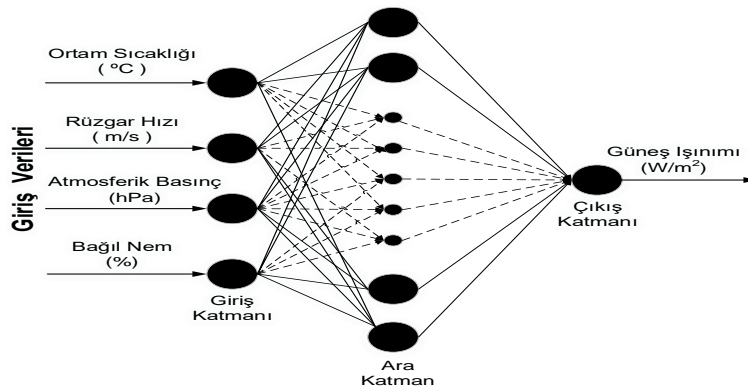
Güneş ışınımının tahmin modelini oluşturmak için 106840 adet dakikalık meteorolojik değişkenler kullanılmıştır. Bu değişkenlerden oluşan veriler iki gruba ayrılır: eğitim ve test verileri. Toplam verilerin %80'lik kısmı, modelin gelecekteki değerlerini tahmin etmek için öğrenme aşamasında kullanılır ve eğitimin her yenilemesinde veri seti rastgele belirlenir. %20'lik kısmı ise test verileri olarak güneş ışınımı tahmin modelini doğrulamak için kullanılmıştır.

### 2.3. Tahminleme modeli (Prediction Model)

PV sistemden elde edilen güç ile güneş ışınım tahmini de dâhil olmak üzere farklı tahmin uygulamalarında kullanılan YSA, yüksek başarı düzeyine sahiptir. Meteorolojik verilerin doğrusal olmaması nedeniyle çoğu araştırmacı güneş ışınımı ve PV sistemden üretilen gücün tahmininde YSA modellerini yaygın olarak kullanmaktadır (Das vd., 2018). Doğrusal olmayan fonksiyonlara yüksek doğrulukla yaklaşma konusunda benzersiz bir yeteneğe sahip olan YSA, meteorolojik tahminler, finans, fizik, mühendislik ve tıp gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Ahmed vd., 2020). Bu yaklaşım yeteneği nedeniyle YSA, güneş enerjisi ile ilgili tahminleme çalışmalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang vd., 2020).

YSA'nın ana bileşenleri yapay nöronlar ve bağlantılardan oluşan giriş katmanı, ara katman ve çıkış katmanıdır. Giriş katmanında kullanılan değişkenler, tahmin modellerinin doğruluğu üzerinde doğrudan etkiye sahiptir ve model performansının belirlenmesinde önemli bir faktördür. Tek veya birkaç katmandan oluşabilen ara katman, giriş bilgilerini analiz eder. Güneş ışınımının tahmin edildiği çıktı katmanı, giriş ve ara katmanda analiz edilen sonuçları alır ve w/m<sup>2</sup> cinsinden güneş ışınım değerini verir (Das vd., 2017; Wang vd., 2015). Ayrıca bir YSA, çok sayıda düğümden ve bunların bağlantılarından oluşur. Her düğüm, etkinleştirme işlevi olarak adlandırılan belirli bir çıktı işlevini uygular (Deo vd., 2017).

Bir yapay sinir ağı tasarlama sürecinde veri seçimi tartışmasız en önemli adımdır. Öğrenme için kullanılan veri tabanının en yüksek doğruluğa sahip olması, sinir ağının performansı için esastır. Ağın tasarımı, değişkenleri düzeltmek için bir deneme yanılma sürecini takip ettiğinden, nihai ağın uygulanabilmesi için birçok düzenlemenin yapılması gerekir. Yapılabilecek düzenlemeler, ara katmandaki nöronların sayısını veya ağın zaman gecikmesini ayarlamayı içerir (Rodríguez vd., 2018). Şekil 2, PV güç üretiminde en etkili değişken olan güneş ışınım tahmininde kullanılan YSA modelini göstermektedir.



Şekil 2. Tek ara katmanlı YSA mimarisi (Single-layer ANN architecture)

YSA modelinde her giriş bir bağlantı ağırlığı ile çarpılır. En basit durumda, ürünler ve önyargılar basitçe toplanır, daha sonra bir sonuç üretmek ve son olarak bir çıktı elde etmek için bir transfer fonksiyonu aracılığıyla dönüştürülür. Güneş sistemleri için girdiler çoğunlukla, güneş ışınımı, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı, bağıl nem ve atmosferik basınç gibi meteorolojik değişkenlerdir. Bu değişkenler ise iklim durumuna ve coğrafi konuma bağlıdır (Das vd., 2017; Wang vd., 2015).

Çalışmada kullanılan veriler toplam veri seti içerisinde ayrıştırlarak 106840 adet bağımsız ölçümü içermektedir. Veri seti içerisindeki veriler rastgele seçilmiş olarak eğitim, doğrulama ve test aşamalarında kullanılmıştır. YSA

modeli 5 kez iterasyon yaptırılarak çalıştırılmış ve sonuçların ortalaması alınmıştır. Böylece rastgele seçilen veri setinin neden olacağı şans faktörünün etkisi ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan YSA modelinin tasarımına ait özellikler Tablo 2'de verilmiştir. YSA mimarisi genellikle bir giriş katmanı, ara katmanlar, bir çıkış katmanı, bağlantı ağırlıkları ve önyargıları, aktivasyon fonksiyonu ve toplama düğümünden oluşur. Bu çalışmada, giriş, ara ve çıkış katmanı olmak üzere üç katmanlı geri beslemeli YSA mimarisi kullanılmıştır. Öğrenme algoritması olarak yapay sinir ağlarında sağlamış olduğu hız ve kararlılık nedeniyle Levenberg-Marquardt (trainlm) geri yayılım algoritması tercih edilmiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak, çıkışı -1 ile 1 arasında olan ve denklem 1' de belirtilen bir logsigmoid transfer fonksiyonu (logsig) kullanılmıştır.

**Tablo 2.** Güneş ışınım tahmininde kullanılan YSA modeli için belirlenen çalışma koşulları  
(Working conditions determined for the ANN model used in solar radiation prediction)

Çalışılan ağ tipi	Çok Katmanlı Geri Yayılım Algoritması (MLP)
Eğitim fonksiyonu	Trainlm
Giriş sayısı	4
Çıkış sayısı	1
Ara katman sayısı	1
Ara katmandaki nöron sayısı	8
Transfer fonksiyonu	Logsigmoid

$$\text{Logsig} = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$

#### 2.4. PV Sistem modelinde gücün belirlenmesi (Determining the power in the PV System model)

PV sistemler yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması hususunda öne çıkan teknolojilerden biridir. PV sistemlerin uygulamaları, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız konfigürasyonlarda giderek daha yaygın hale gelmektedir. PV güç üretimi, güneş enerjisi kullanımının önemli bir şeklidir. Güneş ışınımı yoğunluğunun yüksek olduğu yerler, PV sistemlerinin yaygın kullanımı için uygundur. Bununla birlikte, güneş ışınımındaki ani değişimler, PV sistemden elde edilen güç çıkışı ve verimliliği olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, değişen atmosfer koşullarında PV sisteminden maksimum gücü elde etmek için güç elektroniği DC - DC dönüştürücüleri tarafından MPPT algoritması kullanılmalıdır. MPPT algoritmaları, bir PV üretim sisteminin güç ve verimliliğinin optimizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır.

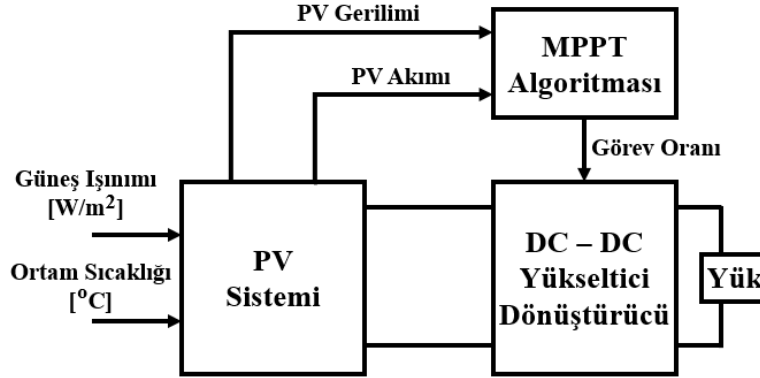
Atmosferik koşullarda değişiklik olması durumunda maksimum güç noktasının belirlenmesi için DC - DC dönüştürücüde kullanılan MPPT algoritması ile görev oranı (duty cycle) ayarlanmaktadır. Bu amaçla kullanılmak üzere birçok DC - DC dönüştürücü konfigürasyonu bulunmaktadır. DC - DC yükseltici dönüştürücü literatürde yaygın olarak kullanıldığı ve oldukça güvenilir olduğu için bu çalışmada kullanılmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan artımlı iletkenlik maksimum güç noktası izleme algoritması, PV sistemden maksimum gücü elde etmek için uygulanmıştır. Artımlı iletkenlik yöntemi, literatürdeki ilgili çalışmalarda ayrıntılı olarak açıklanmıştır (Mahela vd., 2017; Loukriz vd., 2016).

Bu çalışmada, PV sistemi modeli Matlab / Simulink ortamında uygulanmıştır. PV sistemde bulunan modüllerin elektriksel özellikleri Tablo 3'te gösterilmiştir. PV dizide, dizi başına seri bağlı modül sayısı 5 ve paralel dizi sayısı ise 66 olarak seçilmiştir. Bu çalışmada, kullanılan PV sistemin toplam kurulu gücü 100 kW'tır.

**Tablo 3.** PV modülün elektriksel özellikleri (Electrical characteristics of the PV module)

PV modülün parametreleri	Değerler
Maksimum güç [W]	305,2
Maksimum güç noktasındaki gerilim [V]	54,7
Maksimum güç noktasındaki akım [A]	5,58
Açık devre gerilimi [V]	64,2
Kısa devre akımı [A]	5,96

Bu çalışmada kullanılan ve aynı zamanda literatürde kabul görmüş olan Matlab / Simulink ortamındaki PV sistem modelinin blok diyagramı Şekil 3'te verilmiştir. İlgili PV sistem modeli göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen çalışmalarda, pratik durumda gözlenen sonuçların Matlab / Simulink PV sistem modelinde elde edilen sonuçlar ile tutarlı olduğu görülmüştür. Bu kapsamda, ilgili çalışmalarda bu model göz önüne alındığında, deneysel sonuçların yazılım ortamında elde edilen bulgular ile uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, literatürdeki çalışmalarda önerilen yöntemler, pratik açıdan bakıldığında anlamlı sonuçlar veren PV sistemin Matlab / Simulink modeli ilgili araştırmacılar tarafından uygulanmıştır (Mahela vd., 2017).

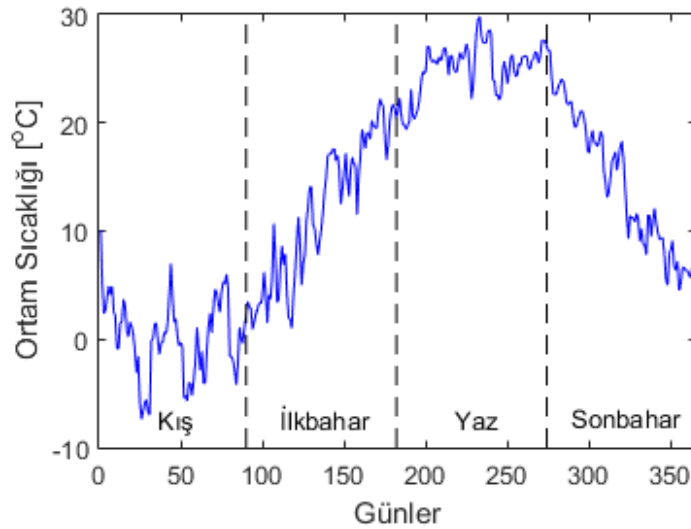


Şekil 3. PV sistem modelinin blok diyagramı (Block diagram of the PV system model)

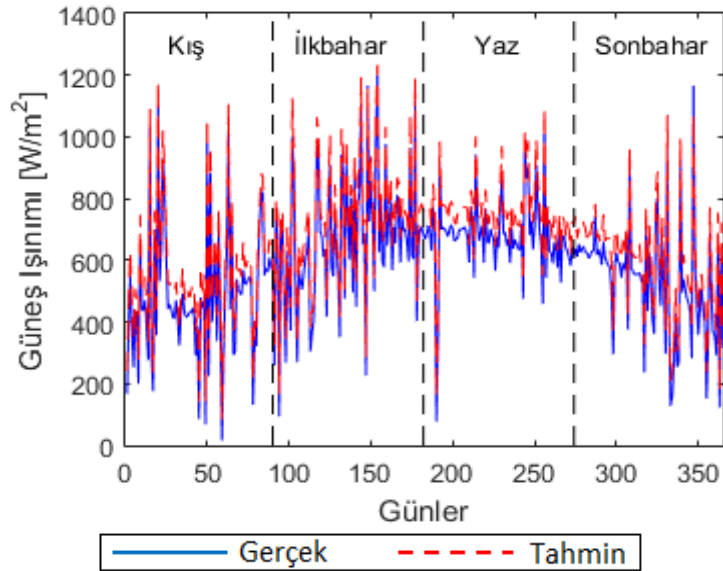
### 3. Bulgular (Findings)

Küresel ısınma ve sera emisyonları ile ilgili çevresel sorunlar, mühendislik camiasını giderek daha fazla yenilenebilir kaynaklar aramaya ve temiz enerji kaynaklarından yararlanabilecek yeni teknolojiler geliştirmeye sevk etmektedir. PV simülasyon araçları, PV dizisi tarafından üretilen enerji miktarını tahmin etmeyi sağlamaktadır. Güneş enerjisi en kolay elde edilebilen enerji kaynaklarından biridir ve PV sistemler kullanılarak çok temiz bir şekilde elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir.

Hakkâri ilinde yer alan çalışma bölgesinde kurulu bulunan meteoroloji istasyonu tarafından ölçülen güneş ışınımı ve diğer temel meteorolojik veriler göz önünde bulundurulmuştur. Bu veriler, YSA modeline giriş değişkenleri olarak uygulanmış olup, bu model yardımıyla güneş ışınımının tahmin değerleri elde edilmiştir. YSA modelinde ele alınmış olan 1 yıl boyunca ölçülen günlük ortalama sıcaklık değerlerinin değişimi Şekil 4'te sunulmuştur. Aynı zamanda, yıl boyunca günlük ortalama gerçek güneş ışınımı verileri ve YSA modeli ile elde edilmiş olan tahmini güneş ışınımı değerlerinin değişimi Şekil 5'te verilmiştir.



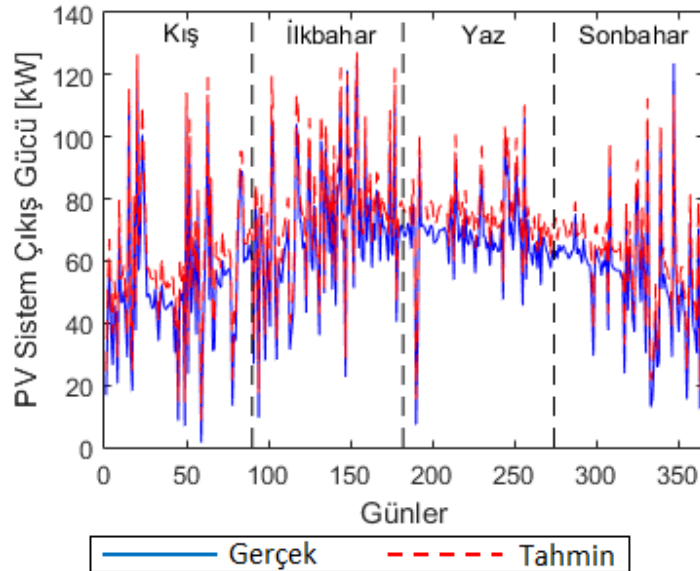
Şekil 4. Yıl boyunca günlük ortalama sıcaklık verileri (Average daily temperature data throughout the year)



**Şekil 5.** Yıl boyunca günlük ortalama gerçek ve tahmini güneş ışınımı değerleri  
(Average daily actual and predicted solar radiation values throughout the year)

Şekil 5'te görüldüğü gibi, 1 yıl boyunca ölçülen gerçek güneş ışınımı ve YSA modelinin çıkış katmanından elde edilen tahmini güneş ışınımı değerlerine bakıldığında, gerçek verilerdeki belirsizliklere rağmen YSA modeli ile elde edilen tahmin değerlerinin yüksek oranda başarı elde ettiği saptanmıştır. Yıl boyunca günlük ışınım değerleri incelendiğinde, YSA'nın tahmin başarısındaki tutarlılığı gözlenmektedir.

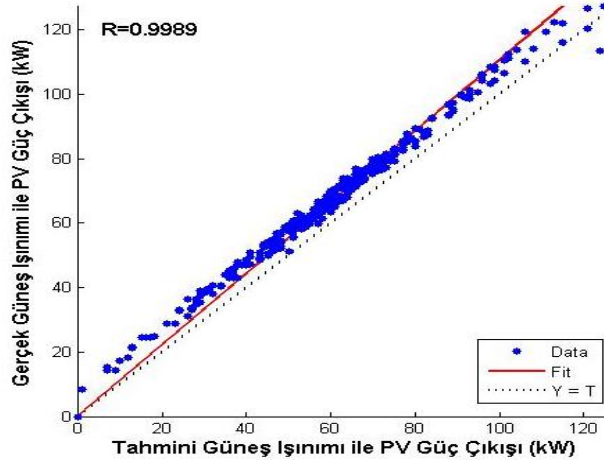
Bu çalışmada, gerçek güneş ışınımı, gerçek ortam sıcaklığı ve YSA modelinde tahmin edilen güneş ışınımı değerleri göz önünde bulundurularak Matlab / Simulink ortamındaki PV sistemin çıkış güçleri elde edilmiştir. Öncelikle gerçek güneş ışınımı ve gerçek ortam sıcaklığı değerleri daha sonra ise tahmin edilen güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı değerleri ilgili PV sistem modelinde ele alınarak belirlenen çıkış güçleri karşılaştırılmıştır. Yıl boyunca gerçek ve tahmini güneş ışınımı ile belirlenen günlük ortalama PV sistem çıkış gücü değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir.



**Şekil 6.** Yıl boyunca günlük ortalama gerçek ve tahmini PV çıkış gücü değerleri  
(Average daily actual and predicted PV output power values throughout the year)

Şekil 6'da, PV sistem çıkış güçleri açısından gerçek ve tahmin değerleri karşılaştırıldığında, tahmin değerlerinin kararlılığının ve gerçek değerlere yakınlığının oldukça iyi olduğu görülmüştür. Gerçek PV sistem çıkış gücü değerlerinde belirsizlikler yıl boyunca devam etmesine karşın, tahmin değerlerinin tutarlılığını ve kabul edilebilir oranda doğruluğunu sürdürdüğü gözlenmiştir.

Bir tahmin modelinin performansı, büyük ölçüde modelin girdi ve çıktı değerlerinin korelasyonuna bağlıdır. Bu durumda, güneş ışınımı, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı, atmosferik basınç ve nem gibi farklı meteorolojik girdilerin PV sistem güç çıkışı ile korelasyonunun incelenmesi önemlidir. Bu çalışmada, güneş ışınımının tahmini için modellenen YSA eğitildikten sonra güneş ışınımının gerçek ve tahmin değerlerinin yanı sıra ortam sıcaklığı değerlerine bağlı olarak Matlab / Simulink ortamında yapılan simülasyon ile elde edilen PV panel gücü performansı değerlendirilmiştir. Aynı sıcaklık ortamında gerçek güneş ışınım değerleri ile tahmin edilen güneş ışınım verilerinden elde edilen PV sistem çıkış gücünün korelasyon katsayısı değeri Şekil 7'de görüldüğü gibi 0,9989 olarak hesaplanmıştır. Korelasyon sonucu, YSA modeli ile tahmin edilen güneş ışınımına bağlı PV sistem çıkış gücü ile gerçek güneş ışınımına bağlı PV sistem çıkış gücü değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermiştir. Şekil 7'de görüldüğü gibi, güneş ışınımına bağlı olarak elde edilen PV sistem çıkış gücünün birkaç istisna değer dışında en uygun çizgiyi takip ettiği görülmüştür.



Şekil 7. PV sistemin ürettiği güç ile elde edilen regresyon grafiği  
(Regression graph obtained with power produced by PV system)

Güneş kaynaklı yenilenebilir enerjiden elde edilen gücün son kullanıcılara aktarılması süreci, güneşten gelen ışınımlardaki belirsizliklerin PV çıkış gücüne yansması sonucunda beklenen düzeyde verimle gerçekleşmeyebilmektedir. PV santralının uygun bir şekilde çalıştırılabilmesi amacıyla, bu belirsizliklerin önceden tahmini yüksek öneme sahiptir. Doğası gereği belirsizlikler barındıran ve PV sistemin yüzeyine güneşten gelen ışınımların gerçeğe yakın bir şekilde tahmin edilmesi, hem PV sistem hem de bu sistemin güç ilettiği yük talebi açısından oluşan problemleri avantajlara dönüştürmektedir.

### 3.1. Sonuçların istatistiksel değerlendirmesi (Statistical evaluation of results)

İstatistiksel olarak, literatürde modellerin doğruluğunu ve performans kapasitesini değerlendirmek için çok sayıda gösterge kullanılmıştır (Vakitbilir vd., 2022; Ağbulut vd., 2021; Obiwulu vd., 2020; Vakili vd., 2017). Bu çalışmada kullanılan performans metrikleri Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. İstatistiksel metriklerin detayları (Details of statistical metrics)

Metrik	Denklem	İdeal Değer
RMSE	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{m=1}^N (y_m - \hat{y}_m)^2}$	$0 \leq RMSE$
rRMSE	$rRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{m=1}^N (y_m - \hat{y}_m)^2}}{\bar{y}_m}$	Mükemmel tahmin : $rRMSE < \%10$ İyi tahmin : $\%10 < rRMSE < \%20$ Orta tahmin : $\%20 < rRMSE < \%30$ Kötü tahmin : $rRMSE > \%30$
MAPE	$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N \frac{(y_m - \hat{y}_m)}{y_m}$	Yüksek tahmin : $MAPE \leq \%10$ İyi tahmin : $\%10 < MAPE \leq \%20$ Makul tahmin : $\%20 < MAPE \leq \%50$ Hatalı tahmin : $MAPE > \%50$
R <sup>2</sup>	$R^2 = 1 - \frac{\sum_{m=1}^N (y_m - \hat{y}_m)^2}{\sum_{m=1}^N (y_m - \bar{y}_m)^2}$	$0 < R^2 \leq 1$

Güneş ışınım ve buna bağlı olarak PV sistem çıkış gücü değerinin tahmininde kullanılan modellerin performansını belirlemek için Tablo 5'te gösterilen RMSE, rRMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> gibi çeşitli istatistiksel göstergeler kullanılmıştır. Bu istatistik göstergelerin sonuçları Tablo 5'te gösterilmiştir.

**Tablo 5.** İstatistiksel metriklerin değerleri (Values of statistical metrics)

	Günlük Ortalama Güneş Işınımı (w/m <sup>2</sup> )	Günlük Ortalama PV Sistem Güç Çıkışı (kW)
RMSE	0,723	0,757
rRMSE (%)	12,250	12,460
MAPE (%)	15,609	16,067
R <sup>2</sup>	0,9705	0,9668

Tablo 5' te elde edilen istatistik göstergelerden, modellenen YSA ile tahmin edilen güneş ışınım verilerinin PV sistemden elde edilen güce olan etkisinin başarılı sonuçlar ortaya çıkardığı anlaşılmaktadır. Burada elde edilen sonuçların Tablo 4'te belirtilen ideal değer aralıklarında yer alması ve özellikle de güneş ışınım ve PV sistemden elde edilen güç için elde edilen istatistiksel sonuçların birbirine yakın olması her iki parametre için tahmin sonuçlarının gerçek sonuçlarla yakınsak olduğunu göstermektedir.

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

PV sistemler, günümüz dünyasında en popüler yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Bu sistemler, kentsel ve kırsal olmak üzere sayısız ortamda her yerde bulunabilmektedir. Birçok avantajı nedeniyle hem kamu hem de özel sektör bu cihazlardan enerji üretme potansiyeline büyük ilgi göstermektedir. PV teknolojisinin en büyük avantajlarından biri, düşük işletme ve bakım maliyetleri ile uzun yaşam ömrüne sahip olmasıdır. Ayrıca, bu teknoloji temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağının habercisidir. PV teknolojisinin göze çarpan bir diğer özelliği, gerektiğinde tamamen yeni bir sistem kurmak yerine modüler olmasıdır. Bu durumda, mevcut bir sistem kısa bir süre içinde yükseltilebilmektedir. Önemi nedeniyle, birçok ülkede büyük PV güç sistemleri kurulmuştur. Ancak, bu teknoloji için gerekli olan yüksek başlangıç sermayesi nedeniyle güneş enerjisinin optimum kullanımı sigortalanmalı ve kurulmadan önce PV güç sisteminin kesin çalışmaları ve simülasyonu yapılmalıdır.

Bu çalışmada, Hakkari ilinde kurulu bulunan meteoroloji istasyonu tarafından ölçülen güneş ışınımı ve diğer meteorolojik ölçüm verileri göz önüne alınmıştır. Bu veriler, YSA modelinde giriş değişkenleri olarak ele alınmış olup, bu modelden güneş ışınımı tahmin değerleri elde edilmiştir. Güneş ışınımının tahmini için modellenen YSA eğitildikten sonra güneş ışınımının gerçek ve tahmin değerlerinin yanı sıra ortam sıcaklığı değerlerine bağlı olarak Matlab / Simulink ortamında yapılan simülasyon ile elde edilen PV panel gücü performansı değerlendirilmiştir. İlk olarak gerçek güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı değerleri daha sonra ise tahmin edilen güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı değerleri ilgili PV sistem modelinde ele alınarak belirlenen çıkış güçleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda günlük ortalama güneş ışınımı değerleri tahmininde rRMSE ve MAPE değerleri sırasıyla %12,250 ve %15,609 olarak iyi tahmin sınırları arasında bulunmuştur. Ayrıca 0 ile 1 arasında ve 1 değerine yakın olması beklenen belirleme katsayısı değeri ise yaklaşık olarak 0,9705 olarak elde edilmiştir. Aynı şekilde tahmin edilen güneş ışınım değerlerine bağlı olarak elde edilen günlük ortalama PV sistem güç çıkışının belirlenmesinde rRMSE ve MAPE değerleri sırasıyla %12,460 ve %16,067 olarak kabul edilen sınırlar aralığında elde edilmiştir. Ayrıca tahmini güneş ışınım değeri kullanılarak PV sistem çıkış gücünün tahmininde belirleme katsayısı 0,9668 olarak belirlenmiştir. PV sistem çıkış güçleri açısından gerçek ve tahmin değerleri karşılaştırıldığında, tahmin değerlerinin kararlılığının ve gerçek değerlere yakınlığının oldukça iyi olduğu görülmektedir. Gerçek PV sistem çıkış gücü değerlerinde belirsizlikler yıl boyunca devam etmesine karşın, tahmin değerlerinin tutarlılığını ve kabul edilebilir oranda doğruluğunu sürdürdüğü gözlenmiştir.

#### Tesekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde yürütülmekte olan "Bölgesel Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesinde Yeni Bir Yaklaşım" başlıklı lisansüstü tezi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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



## Kaynaklar (References)

- Ali A.I. M., Mohamed H. R. A., 2022. Improved P&O MPPT algorithm with efficient open-circuit voltage estimation for two-stage grid-integrated PV system under realistic solar radiation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 137, 107805.
- Ağbulut, Ü., Gürel, A. E., Biçen, Y., 2021. Prediction of daily global solar radiation using different machine learning algorithms: Evaluation and comparison. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110114.
- Loukriz A., Haddadi M., Messalti S., 2016. Simulation and experimental design of a new advanced variable step size Incremental Conductance MPPT algorithm for PV systems. *ISA Transactions*, 62, 30–38.
- Sozen A., Arcaklioglu E., 2005. Effect of relative humidity on solar potential. *Applied Energy*, 82 (4), 345–367.
- Sozen A., Arcaklioglu E., Ozalp M., 2004. Estimation of solar potential in Turkey by artificial neural networks using meteorological and geographical data. *Energy Conversion and Management*, 45 (18–19), 3033–3052.
- Hao D., Qi L., Tairab A. M., Ahmed A., Azam A., Luo D., Pan Y., Zhang Z., Yan J., 2022. Solar energy harvesting technologies for PV self-powered applications: a comprehensive review. *Renewable Energy*, 188, 678–697.
- Gul E., Baldinelli G., Bartocci P., Bianchi F., Piergiovanni D., Cotana F., Wang J., 2022. A techno-economic analysis of a solar PV and DC battery storage system for a community energy sharing. *Energy*, 244, 123191.
- Chepp E. D., Krenzinger A., 2021. A methodology for prediction and assessment of shading on PV systems. *Solar Energy*, 216, 537–550.
- Praynlin E., Jenson J. I., 2017. Solar radiation forecasting using artificial neural network. In *Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, 1–7.
- Rodríguez F., Fleetwood A., Galarza A., Fontán L., 2018. Predicting solar energy generation through artificial neural networks using weather forecasts for microgrid control. *Renewable Energy*, 126, 855–864.
- Wang F., Zhen Z., Mi Z., Sun H., Su S., Yang G., 2015. Solar irradiance feature extraction and support vector machines based weather status pattern recognition model for short-term photovoltaic power forecasting. *Energy and Buildings*, 86, 427–438.
- Wang H., Liu Y., Zhou B., Li C., Cao G., Voropai N., Barakhtenko E., 2020. Taxonomy research of artificial intelligence for deterministic solar power forecasting. *Energy Conversion and Management*, 214, 112909.
- Majumder I., Behera M. K., Nayak N., 2017. Solar power forecasting using a hybrid EMD-ELM method. In *international conference on circuit, power and computing technologies (ICCPCT)*, 1–6.
- Lv K., Wang F., Che J., Wang W., Zhen Z., 2019. A novel solar irradiance forecast model using complex network analysis and classification modeling. In *IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)*, 882–887.
- Lyu L., Kantardzic M., Arabmakki E., 2014. Solar irradiance forecasting by using wavelet based denoising, In *IEEE symposium on computational intelligence for engineering solutions (CIES)*, 110–116.
- Martín L., Zarzalejo L. F., Polo J., Navarro A., Marchante R., Cony M., 2010. Prediction of global solar irradiance based on time series analysis: Application to solar thermal power plants energy production planning. *Solar Energy*, 84 (10), 1772–1781.
- Koondhar M. A., Laghari I. A., Asfaw B. M., Kumar R. R., Lenin A. H., 2022. Experimental and simulation-based comparative analysis of different parameters of PV module. *Scientific African*, 16, e01197.
- Swarupa M. L., Kumar E. V., Sreelatha K., 2021. Modeling and simulation of solar PV modules based inverter in MATLAB-SIMULINK for domestic cooking. *Materials Today: Proceedings*, 38, 3414–3423.
- Wang M., Xu X., Yan Z., Wang H., 2021. An online optimization method for extracting parameters of multi-parameter PV module model based on adaptive Levenberg-Marquardt algorithm. *Energy Conversion and Management*, 245, 114611.
- Catelani M., Ciani L., Kazimierczuk M. K., Reatti A., 2016. Matlab PV solar concentrator performance based on triple junction solar cell model. *Measurement*, 88, 310–317.
- Shankar N., SaravanaKumar N., 2020. Reduced partial shading effect in multiple PV array configuration model using MPPT based enhanced particle swarm optimization technique. *Microprocessors and Microsystems*, 103287.
- Obiwulu, A. U., Erusiafe, N., Olopade, M. A., Nwokolo, S. C., 2020. Modeling and optimization of back temperature models of mono-crystalline silicon modules with special focus on the effect of meteorological and geographical parameters on PV performance. *Renewable Energy*, 154, 404–431.
- Mahela O. P., Shaik A. G., 2017. Power quality recognition in distribution system with solar energy penetration using S-transform and Fuzzy C-means clustering. *Renewable Energy*, 106, 37–51.
- Bevilacqua P., Perella S., Bruno R., Arcuri N., 2021. An accurate thermal model for the PV electric generation prediction: long-term validation in different climatic conditions. *Renewable Energy*, 163, 1092–1112.
- Pachauri R. K., Thanikanti S. B., Bai J., Yadav V. K., Aljafari B., Ghosh S., Alhelou H. H., 2022. Ancient Chinese magic square-based PV array reconfiguration methodology to reduce power loss under partial shading conditions. *Energy Conversion and Management*, 253, 115148.
- Ahmed R., Sreeram V., Mishra Y., Arif M. D., 2020. A review and evaluation of the state-of-the-art in PV solar power forecasting: Techniques and optimization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124, 109792.
- Deo R. C., Sahin M., 2017. Forecasting long-term global solar radiation with an ANN algorithm coupled with satellite-derived (MODIS) land surface temperature (LST) for regional locations in Queensland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 828–848.
- Ayeng'o S. P., Axelsan H., Haberschusz D., Sauer D. U., 2019. A model for direct-coupled PV systems with batteries depending on solar radiation, temperature and number of serial connected PV cells. *Solar Energy*, 183, 120–131.
- Das U. K., Tey K. S., Seyedmahmoudian M., Mekhilef S., Idris M. Y. I., Van Deventer W., Horan B., Stojcevski A., 2018. Forecasting of photovoltaic power generation and model optimization: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 912–928.

- Das U. K., Tey K. S., Seyedmahmoudian M., Idris M. Y. I., Mekhilef S., Horan B., Stojcevski A., 2017. SVR-based model to forecast PV power generation under different weather conditions. *Energies*, 10 (7), 876.
- Vakili, M., Sabbagh-Yazdi, S. R., Khosrojerdi, S., Kalhor, K., 2017. Evaluating the effect of particulate matter pollution on estimation of daily global solar radiation using artificial neural network modeling based on meteorological data. *Journal of cleaner production*, 141, 1275-1285.
- Vakitbilir, N., Hilal, A., Direkoğlu, C., 2022. Hybrid deep learning models for multivariate forecasting of global horizontal irradiation. *Neural Computing and Applications*, 34 (10), 8005-8026.
- Sumathi V., Javapragash R., Bakshi A., Akella P. K., 2017. Solar tracking methods to maximize PV system output – a review of the methods adopted in recent decade. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 130–138.



## İÇİ BETON DOLU DAİRESEL KESİTLİ ÇELİK BORULARIN EKSENEL YÜK KAPASİTELERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI VE RASSAL ORMAN YÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ

Cumhur COSGUN\*

New Jersey Institute of Technology, College of Engineering, Civil Engineering Department, New Jersey, USA

### Anahtar Kelimeler

İçi Beton Dolu Çelik Boru,  
Eksenel Yük Kapasitesi,  
Makine Öğrenmesi.

### Öz

Bu çalışmada, makine öğrenme teknikleri kullanılarak içi beton dolu dairesel kesitli çelik boruların (BDÇK) basınç altındaki nihai eksenel yük kapasiteleri tahmin edilmiştir. BDÇK kolonlar hem eksenel yükler, hem de yatay yükler altındaki performanslarından dolayı yapılarda çok tercih edilmektedirler. Bunun başlıca nedeni betonun ve çeliğin süneklilik ve rijitlik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Özellikle deprem etkisi altındaki yapısal elemanların davranışı yapının toptan davranışını etkilemektedir. Yapısal elemanların yük taşıma kapasitesinin makine öğrenme yöntemleri kullanılarak değerlendirilmesi araştırmacılar arasında oldukça popüler hale gelmiştir. Bu çalışma ile eksenel yük etkisi altındaki BDÇK kolonların eksenel yük kapasitesi yapay sinir ağları (YSA) ve rassal orman (RO) makine öğrenme yöntemleri kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmış ve literatürdeki deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kapasite tahmini için literatürdeki 215 deney sonucu kullanılarak makine öğrenme yöntemleri arasında kıyaslama yapılmış, karşılaştırma sonucunda RO yönteminin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

## PREDICTION OF AXIAL LOAD CAPACITY OF CONCRETE-FILLED STEEL TUBES WITH CIRCULAR SECTIONS UNDER AXIAL LOAD BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND RANDOM FOREST METHODS

### Keywords

Concrete Filled Steel Tube,  
Axial Load Capacity,  
Machine Learning.

### Abstract

This paper focuses on the prediction of the ultimate compressive capacity of axially loaded concrete-filled steel (CFST) tube section columns using machine learning (ML) techniques. The use of CFST columns in the construction industry has been popular due to their superior structural performance both under axial loads as well as under lateral seismic loads. Studies carried out on the contribution of CFST members on lateral seismic resistance have revealed that the ideal combination of stiffness and ductility inherent in concrete and steel, respectively, results in superior performance under lateral loads. The evaluation of the load-carrying capacity of structural members ML-based predictive techniques has been popular among researchers. In this study, the case of CFST columns under axial loading is studied. The dataset needed for the prediction was acquired from the related existing research which provided the results of 215 experimental studies. The ML techniques that were used included two prevalent techniques namely Artificial Neural Networks (ANN) and Random Forest (RF). In this study, the axial compressive capacity was predicted using these techniques and finally, the performances of the techniques were compared. Overall, the RF prediction technique was found to be in very close agreement with the experimental results acquired from the literature.

### Alıntı / Cite

Cosgun, C., (2023). İçi Beton Dolu Dairesel Kesitli Çelik Boruların Eksenel Yük Kapasitelerinin Yapay Sinir Ağları ve Rassal Orman Yöntemleri ile Tahmini, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 564-574.

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

C.Cosgun, 0000-0001-8345-622X

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	03.12.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	02.12.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	20.01.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.06.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: cumhur.cosgun@njit.edu

# PREDICTION OF AXIAL LOAD CAPACITY OF CONCRETE-FILLED STEEL TUBES WITH CIRCULAR SECTIONS UNDER AXIAL LOAD BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND RANDOM FOREST METHODS

Cumhur COSGUN<sup>†</sup>

New Jersey Institute of Technology, College of Engineering, Civil Engineering Department, New Jersey, USA

---

## Highlights (At least 3 and maximum 4 sentences)

---

- Axial load capacity of CFST tube columns have been predicted by using ML techniques
- ANN and RF techniques have been employed
- The RF prediction technique has the highest accuracy performance in terms of R2 and RMSE
- The RF has a good fit in the prediction of the compression axial load capacity of CFST tube columns

---

## Purpose and Scope

The purpose of this study is to predict the ultimate compressive load capacity of axially loaded CFST tube columns using ML techniques. In the structural engineering literature, there has been many experimental and analytical studies about the design of CFST tube columns and their structural behavior. However, experimental studies are costly that require more time, equipment, effort, and financial resources. Therefore, we proposed a machine learning model for the prediction to save time, effort, and financial problems.

## Design/methodology/approach

In this study, the case of CFST tube columns under axial loading has been studied. The dataset needed for the prediction was acquired from the related existing research which involves the results of 215 experimental studies. The ML techniques that were used in this study included two prevalent techniques namely ANN and RF. The ML techniques were used to predict the axial compressive capacity of CFST. In order to see how well the prediction techniques work, 80% of the data were allocated as training data and 20% as test data. After the ML techniques were run, some performance criteria were used to evaluate and compare the performances of ML techniques. To validate the techniques, the k-fold cross-validation technique was used for performance evaluations of ML techniques. The RMSE and the R2 were used as the performance criteria. The high R2 value and low RMSE value indicate that the algorithm performs well, and the model makes a good prediction. Microsoft Excel was used for data processing and preparation, R programming language was used for ML analysis and JMP software was used to visualize the results.

## Findings

According to the results, RF provides a 94.25% R2 value whereas ANN provides only 44.68%. That is, in the RF technique, the variables explain 94.25% of the variability in the explanation of the axial load capacity. In addition, the RMSE value (495.108) obtained from the RF technique was also much lower than the RMSE value (2707.252) obtained from the ANN technique. Moreover, the mean ratio of the predicted results obtained by the RF technique and actual experimental results was calculated as 1.03, which also supports that RF has a good fit in the prediction of the compression axial load capacity of the CFST tube columns. The results show that the RF technique can be used as an alternative way to experimental studies to save time, cost, and effort.

## Practical implications (if applicable)

Our study underlines the importance of the successful usage of ML techniques in the decision-making process. ML techniques are competent enough to predict complicated procedures such as predicting the axial load capacity of CFST tube columns. It allows us to save time, cost, and effort.

## Originality

The use of ML prediction techniques in the field of civil/structural engineering is very limited in the literature. Only a few studies have used predictive analytical techniques related to civil/structural engineering. Therefore, in this study, ANN and RF, which are the most widely used machine learning estimation techniques, were used to estimate the axial load capacities of CFST tube columns. These ML techniques will be helpful in estimating the axial load capacity of CFST tube columns.

---

<sup>†</sup> İlgili yazar / Corresponding author: cumhurcosgun@gmail.com

## 1. Giriş (Introduction)

Literatürde içi beton dolu çelik kolonların (BDÇK) aksel yük altındaki davranışı deneysel ve analitik olarak çokça çalışılmıştır (Giakoumelis and Lam, 2004; Chang et al., 2014; Han et al., 2014; Tran et al., 2020). Binalar, gökdelenler, köprü ayakları, tüneller ve kuleler, BDÇK kolonların kullanım alanları olarak örnek verilebilir (Kitada, 1998; Abdelkarim et al., 2015). BDÇK elemanlar yapılar da genellikle ana taşıyıcı kolon olarak kullanılırlar (Giakoumelis and Lam, 2004; Chang et al., 2014; Han et al., 2014; Xu, 2014). Ayrıca BDÇK kolonlar deprem bölgelerinde betonarme kolonların güçlendirmesi için de kullanılmıştır (Lai and Ho, 2014; Sakino ve Sun, 2000). BDÇK kolonların yapı elemanı olarak kullanılmasının nedenleri; enerji yutma kapasiteleri, basınç ve çekme dayanımları, süneklilikleri, rijitlikleri ve eğilme kapasitelerinin oldukça yüksek olmasıdır. Ayrıca düşük maliyet, betonda donatı kullanılmaması, sargı etkisini artırması, kesit boyutunun küçülmesi ve burkulma probleminin çözülmesi gibi faktörler de sıralanabilir. Literatürde BDÇK kolonların aksel yük altındaki göçme yükünün çeliğin ve betonun malzeme özelliklerine ve çelik oranına bağlı olduğu belirtilmiştir (O'Shea and Bridge, 2000; Schneider, 1998; Sakino et al., 2004; Johansson and Gylltoft, 2002; Han and Yao, 2004; Han et al., 2005). Genellikle dairesel, dikdörtgen ve kare BDÇK kolonları çalışılmıştır. Çoğunlukla da içi boş çelik boruların içine donatısız beton dökülmüştür. Sünekliliğin ve ateşe dayanıklılığın araştırıldığı diğer çalışmalarda ise betonun içine elyaf ilave edilmiştir. Ayrıca bazı diğer çalışmalarda çelik borunun içine farklı basınç dayanımlarına sahip beton konularak boru kesitin aksel yük altındaki dayanımı çalışılmıştır (Liu et al., 2003; Liu and Gho, 2005; Lue et al., 2007; Yu et al., 2008; Uy, 2001; Aslani et al., 2015). Başka bir deneysel çalışmada üç farklı beton basınç dayanımı (30, 60 ve 100MPa) kullanarak BDÇK kolonların aksel yük kapasitesini bulmaya çalışmışlardır. Çalışma sonucunda American, Avustralya ve Eurocode 4'ün normal ve yüksek basınç dayanımlı betonlarda BDÇK kolonların aksel yük kapasitesini bulmada çok güvenli tarafta kaldığı görülmüştür (Giakoumelis, Lam, 2004 ve Ellobody et al., 2006).

Literatürde BDÇK kolonların aksel yük altındaki davranışı ile ilgili başka birçok çalışma vardır (Aslani et al., 2015; Clark, 1994; Cheng and Cao, 2016). Bu çalışmalar genellikle BDÇK kolonların basınç dayanımının tahmin edilmesi üzerinedir. Yapısal davranışın anlaşılmasında yarı veya tam ölçekli deneysel çalışmalar çok önemlidir. Fakat deneysel çalışmalar laboratuvar ortamında yapıldığında yüklü miktarda ekipman, işgücü ve finansal kaynak gerektirmektedir (Xiong et al., 2017; Cosgun et al., 2012; Cosgun et al., 2019; Cosgun et al., 2020a). Daha önce yapılan deney sonuçları ile başarısı test edilmiş makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak tüm bu maliyet ve iş gücü kayıpları engellenebilir (Hamit, E., 2015). Bu nedenlerden dolayı, bu çalışmada, aksel basınç yükü altındaki BDÇK kolonların yük kapasitesinin tahmini için makine öğrenmesi alanında sıklıkla kullanılan ve iyi sonuçlar veren YSA ve RO makine öğrenme yöntemleri kullanılarak belirtilen gereksinimler ortadan kaldırılmaya çalışılmış, R2 ve RMSE performans kriterleri açısından kıyaslamaları yapılmıştır. Literatürde araştırmacılar BDÇK kısa kolonların aksel yük kapasitesini bulmak için destek vektor makinesi (DVM) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) yöntemleri (Ren et al., 2019), çoklu doğrusal regresyon (Cosgun et al., 2020b) ve çok değişkenli uygulanabilir regresyon (MARS) yöntemi (Karatas, 2019; Yuvaraj et al., 2013; Li and Yang, 2018) kullanılmıştır. MARS yöntemi ile beton basınç dayanımı, yüksek beton dayanımına sahip betonarme kirişlerin kırılma özellikleri ve elyaf takviyeli çimento esaslı kompozitlerin çekme şekil değiştirme kapasitesi tahmin edilmeye çalışılmıştır (Karatas, 2019; Yuvaraj et al., 2013; Li and Yang, 2018).

Literatürde makine öğrenme tahmin modellerinin inşaat/yapı mühendisliği alanında kullanımı oldukça sınırlıdır (Karatas, 2019). Sadece birkaç çalışmada inşaat/yapı mühendisliği ile ilgili tahmine dayalı analitik yöntemler kullanılmıştır (Dutta et al., 2017; Erdem, 2017). Bu nedenle bu çalışmada, en çok kullanılan makine öğrenme tahmin tekniklerinden olan YSA ve RO, BDÇK kolonların aksel yük kapasitelerinin tahmininde kullanılmıştır. Bu makine tahmin modelleri BDÇK kolonların aksel yük kapasitesinin tahmin edilmesinde yardımcı olacaktır.

Makine öğrenme yöntemleri için literatürdeki 215 deney sonucu kullanılmıştır. YSA ve RO yöntemlerinin karşılaştırılması sonucunda RO yöntemi tahminlerinin gerçek deney sonuçları ile hemen hemen örtüştüğü görülmüştür. Böylece BDÇK kolonların aksel yük kapasitesinin makine öğrenmesi yöntemleri ile tahmin edilebileceği görülmüştür.

## 2. Metodoloji (Methodology)

Çalışmada takip edilen metodoloji kısaca şu şekildedir: Öncelikle literatürden mevcut deneysel çalışmalarda kullanılan veriler elde edilmiş ve kullanılacak tahmin modelleri için uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir. Daha sonra tahmin modellerinin nasıl çalıştığını gözlemleyebilmek için verilerin bir kısmı eğitim verisi, bir kısmı da test verisi olarak ayrılmıştır. Bir sonraki adımda, tahmin modellerinde literatürde sıklıkla kullanılan yöntemlerden YSA ve RO makine öğrenmesi teknikleri kapasite tahmini için kullanılmış ve makine öğrenmesi yöntemlerinin performanslarını değerlendirmek ve kıyaslama yapabilmek için kullanılan performans ölçütlerine yer verilmiştir. K-katlı capraz doğrulama yöntemi ile kullanılan makine öğrenmesi tekniklerinin performans değerlendirmeleri yapılmıştır.

Şekil 1’de çalışmada kullanılan metodoloji adımları görülmektedir. Veri işleme ve hazırlama için Excel programı, makine öğrenmesi analizleri için de R programlama dili ve sonuçların görselleştirilmesi için JMP yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 1. Metodoloji adımları (Methodology steps)

## 2.1. Veri Toplama ve hazırlama (Dataset)

Birçok araştırmacı, BDÇK kolonların aksel basıncı yükü altındaki davranışını deneysel ve analitik olarak araştırmıştır. Literatüre bakıldığında BDÇK kolonların nihai aksel yük kapasitesi  $Nu$ , birçok etkene bağlıdır. Bu etkenler Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Bu çalışmada kullanılan değişkenler (Variables used in this study)

DEĞİŞKENLER	AÇIKLAMA	KATMANLAR	VERİ TİPLERİ
D (mm)	Çelik Boru Dış Çapı	Girdi	Sayısal
t (mm)	Çelik Boru Et Kanlığı	Girdi	Sayısal
$f_c$ (MPa)	Sargısız Betonun Basıncı Dayanımı	Girdi	Sayısal
$f_y$ (MPa)	Çeliğin Akma Dayanımı	Girdi	Sayısal
$E_c$ (MPa)	Betonun Elastisite Modülü	Girdi	Sayısal
$E_s$ (MPa)	Çeliğin Elastisite Modülü	Girdi	Sayısal
L (mm)	BDÇK Boru Uzunluğu	Girdi	Sayısal
$\xi$	Sargılama faktörü	Girdi	Sayısal
D/t	D/t oranı	Girdi	Sayısal
L/D	L/D oranı	Girdi	Sayısal
<b>Nu (kN)</b>	<b>Eksenel Yük Kapasitesi</b>	<b>Çıktı</b>	<b>Sayısal</b>

Bu çalışmada 215 deneysel veri kullanılmıştır. Veriler mevcut literatürdeki 22 farklı deneysel kaynaktan elde edilmiştir (Tablo 2). Kullanılan veri setinde çok geniş yelpazeye sahip çelik kolon çapı ve malzeme değerleri kullanılmıştır. Veri hazırlama aşamasında ise elde edilen verinin tahmin modellerine uygun olup olmadığı kontrol edilmiş, eksik veri olup olmaması, değerler arasında büyük farklılıklar olup olmaması vb. hiçbir problem olmadığı için veri seti sadece excel programında tablo haline getirilmiştir.

**Tablo 2.** Mevcut literatürden elde edilen deneysel veriler (Experimental data obtained from the existing literature)

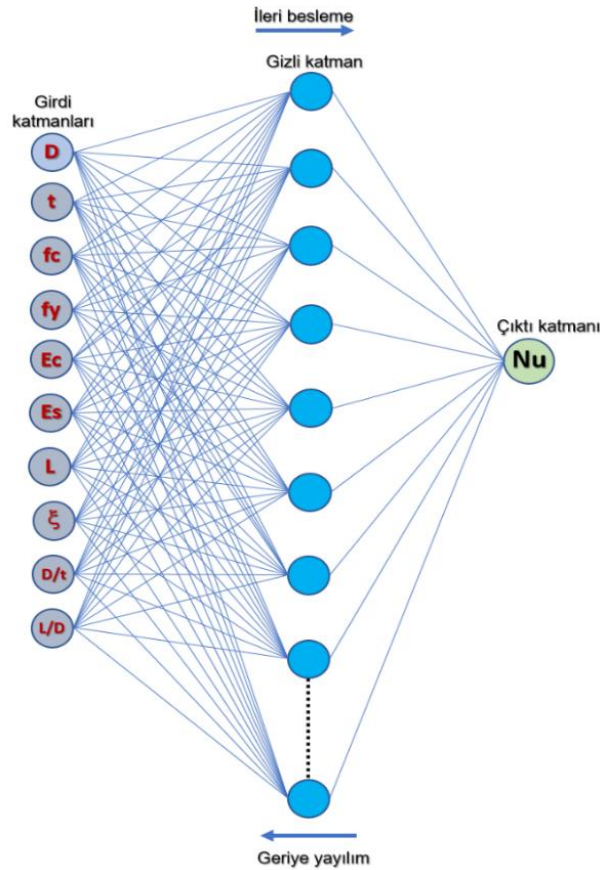
Veri Kaynağı	Numune Sayısı	D (mm)	t (mm)	fc (MPa)	Ec (MPa)	fy (MPa)	Es (MPa)	L (mm)	Nu (kN)
Gardener and Jacobson (Gardener and Jacobson 1967, Gardener 1968)	8	(101.7, 169.3)	(2.62, 4.09)	(23.1, 36.54)	(21482, 28411)	(317, 605)	(191536, 207050)	(203.3, 304.8)	(1068, 1307)
Tomii et al. (1977)	23	(150, 150)	(2, 4.3)	(18.03, 28.71)	(19957, 25183)	(280, 336)	(190120, 211680)	(450, 450)	(638, 1096)
Sakino and Hayashi (1991)	12	(174, 178)	(3, 9)	(22.15, 45.67)	(22120, 31762)	(248, 283)	(200000, 200000)	(360, 360)	(1467, 2677)
O'Shea and Bridge (1994, 1998)	10	(190, 190)	(0.86, 2.82)	(41, 110.3)	(17810, 28445)	(186, 363)	(177000, 207400)	(580.5, 664.5)	(1350, 2991)
Tan et al. (1999)	12	(125, 141.4)	(1, 6.5)	(23.81, 106)	(23528, 48389)	(232, 352)	(189475, 200000)	(438, 602)	(790, 2273)
Yamamoto et al. (2000)	6	(101.8, 318.5)	(3.03, 10.36)	(23.2, 52.2)	(22638, 33957)	(334, 452)	(200000, 200000)	(305, 950)	(628, 8289)
Huang et al. (2002)	3	(200, 300)	(2, 5)	(27.15, 31.15)	(24490, 26232)	(273, 342)	(200000, 200000)	(600, 900)	(1951, 3025)
Han and Yao (2004)	2	(220, 200)	(3, 3)	(49.5, 49.5)	(37420, 37420)	(304, 304)	(206500, 206500)	(600, 600)	(2256, 2383)
Giakomelis and Lam (2004)	12	(114.09, 115.04)	(3.75, 5.02)	(31.9, 104.9)	(23831, 45786)	(343, 365)	(200000, 200000)	(299.3, 300.5)	(929, 1787)
Sakino et al. (2004)	6	(108, 450)	(2.96, 6.47)	(40.5, 85.1)	(29911, 43357)	(279, 853)	(200000, 200000)	(324, 1350)	(1064, 13776)
Han et al. (2005)	22	(60, 250)	(1.87, 2)	(75.2, 80)	(41540, 41540)	(282, 404)	(201500, 207000)	(180, 750)	(312, 4800)
Gupta et al. (2007)	8	(89.32, 112.6)	(2.74, 2.89)	(25.28, 33)	(23631, 26999)	(360, 360)	(200000, 200000)	(340, 340)	(478, 757)
Yu et al. (2007)	2	(165, 165)	(2.72, 2.73)	(48, 67.2)	(32563, 38529)	(350, 350)	(213000, 213000)	(510, 510)	(1750, 2080)
de Oliveira (2009)	4	(114.3, 114.3)	(3.35, 3.35)	(32.7, 105.5)	(26876, 48275)	(287, 287)	(206000, 206000)	(342.9, 342.9)	(669, 1453)
Lee et al. (2011)	1	(360, 360)	(6, 6)	(31.5, 31.5)	(26379, 26379)	(498, 498)	(202000, 202000)	(1760, 1760)	(6888, 6888)
Xiong et al. (2017)	16	(114.3, 219.1)	(3.6, 10)	(51.6, 193.3)	(28000, 66000)	(300, 428)	(202000, 213000)	(250, 600)	(2340, 9187)
Guler et al. (2013, 2014)	4	(16.18, 114.2)	(2.99, 5.98)	(115, 145)	(50402, 56595)	(278, 314)	(200000, 200000)	(300, 400)	(795, 1833)
Han et al. (2014)	17	(133, 194)	(2.49, 6.11)	(32.8, 51)	(32600, 33900)	(299.4, 412)	(134600, 200000)	(400, 480)	(1071, 2759)
O'Shea & Bridge (2000)	18	(165, 190)	(0.86, 2.82)	(38.2, 108)	(16140, 29820)	(185.7, 363.3)	(170000, 207400)	(562.5, 664.5)	(1240, 3220)
He et al. (2019)	6	(165.2, 230)	(2.3, 3.7)	(29.5, 81.6)	(25560, 37000)	(360.8, 366)	(200000, 200000)	(495, 690)	(1264, 3147)
Han (2000)	11	(108, 108)	(4.5, 4.5)	(31.8, 46.8)	(27600, 28400)	(348.1, 348.1)	(202000, 202000)	(3510, 4158)	(292, 440)
Ekmek Yapar and AL-Eliwi, 2016	12	(114.3, 114.3)	(2.74, 5.9)	(56.2, 107.2)	(45800, 38400)	(235, 355)	(210000, 210000)	(600, 900)	(947.75, 1968.06)

## 2.2. Tahmin Modelleri (Prediction Models)

Çalışmada, eksenel yük etkisi altındaki BDÇK kolonların eksenel yük kapasitesinin tahmini için makine öğrenmesi yöntemlerinden olan YSA ve RO modelleri kullanılmıştır. Tablo 2'de verilen verilerden Nu modelin çıktısı, diğer tüm değişkenler de girdi olarak alınmıştır. Verilerin %80'i eğitim verisi, %20'si de modellerin performansını değerlendirmek için test verisi olarak kullanılmıştır. Modellerin doğruluğunu kontrol etmek için k-katlı çapraz doğrulama yöntemi (k-fold cross validation), performans ölçütü olarak da hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE) ve karar verme katsayısı (R2) kullanılmıştır. R2, regresyon tahminlerinin gerçek verilere ne kadar yaklaştığını gösteren istatistiksel bir ölçüttür ve 0% ve 100% arasında bir değer almaktadır. R2 değeri 1'e ne kadar yakınsa (yani ne kadar yuksekse) model o kadar iyi çalışıyor demektir. RMSE ise, tahmin edilen verideki hatanın standart sapmasını ve tahmindeki hata dağılımının ne kadar olduğunu bulmak için kullanılan ölçüm aracıdır. Bir başka deyişle, verilerin en uygun çizgi etrafında ne kadar yoğun olduğunu gösterir. Bu değer de ne kadar sıfıra yakınsa (yani düşük değer alıyorsa) model o kadar iyi tahmin etme kabiliyetine sahiptir. Sonuc olarak, yüksek R2 değeri ve düşük RMSE değeri modelin iyi çalıştığını ve modeldeki çıktının verilen girdilerle iyi tahmin edildiğini gösterir.

### 2.2.1. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

Yapay sinir ağları (YSA), en çok kullanılan makine öğrenme tekniklerinden biridir. Bu teknik insan beynini ve biyolojik organizmalarda öğrenme mekanizmasını simüle eder. YSA algoritması kendi kendine öğrenme yeteneğine sahip olduğu için veri sayısının çokluğu, gerçeğe daha yakın sonuç vereceği anlamına gelmektedir. Bu algoritma ile sıralı algoritmaların olmadığı doğrusal olmayan karmaşık yapıdaki problemler çözülür. YSA 3 ana katmanda incelenir, girdi katmanı, çıktı katmanı ve ara (gizli) katmanlar. Öğrenme esnasında girdi çıktı bilgileri verilerek kurallar koyulur ve görülmemiş çıktılar için sonuç üretilir. Bilgiler ağa girdi katmanından iletilir, ara katmanlarda işlenir ve buradan çıktı katmanına gönderilir. Bilginin ara katmanlarda işlenmesi gelen verilerin ağırlık değerleri kullanılarak çıktıya dönüştürülmesidir. YSA tek gizli katman içeriyorsa tek katmanlı sinir ağları, birden fazla gizli katman içeriyorsa çok katmanlı sinir ağları olarak adlandırılır. Bu çalışmada, tahmin için çok katmanlı algılayıcı yapı yöntemi (Multi Layer Perceptron - MLP) kullanılmıştır. MLP yönteminde birden fazla gizli katman girdi ve çıktı katmanları arasında yer alabilir (Aggarwal, 2018). Bu çalışmada sadece 1 gizli katman kullanılmıştır. Şekil 2' de bu çalışma için kullanılan YSA algoritma yapısı grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. YSA algoritmasının MLP yapısının grafiksel olarak gösterilmesi (Graphical representation of a multi-layer perceptron type ANN)

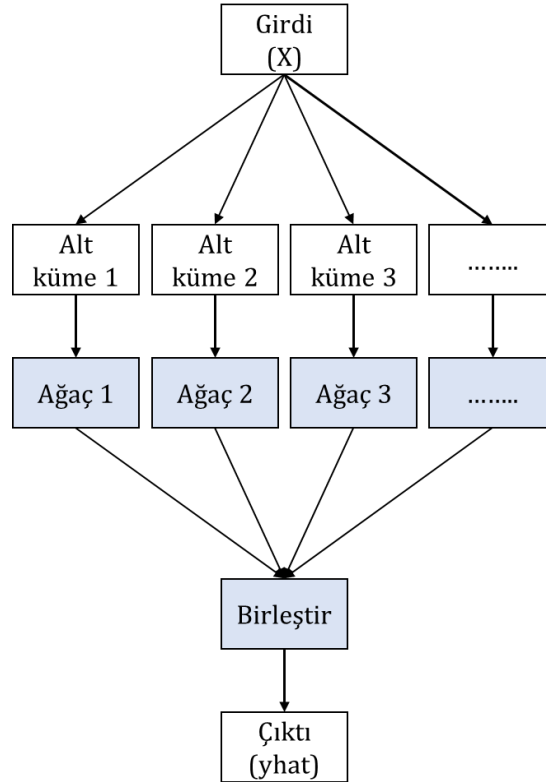


### 2.2.2. Rassal Orman (Random Forest)

Rassal orman (RO), çoklu karar ağaçlarının kullanıldığı hem regresyon hem de sınıflandırma amacıyla kullanılan bir makine öğrenmesi tekniğidir. RO yöntemi çıktısını tahmin ederken sadece bir karar ağacına güvenmez, bütün tahmin ağaçları topluluğunu kullanır. Bir başka deyiş ile bu yöntem, tahmin aşamasında hataları aza indirmek için tüm bireysel karar ağaçlarının tahminlerinin ortalamasını alır (Cheng and Cao, 2016). Bu çalışmada her girdinin birkaç kez tahmin edilmesi için algoritmada 100 ağaç kullanılmıştır. Birçok çalışmada RO algoritmasında kaç ağaç kullanılması gerektiği çalışılmıştır. Berkeley Üniversitesin'de yapılan bir çalışmada RO yönteminin iyi sonuç vermediği durumda istenildiği kadar ağaç kullanılabileceği belirtilmiştir (Breiman, L., 2001). Yine başka bir çalışmada RO algoritmasında kullanılacak ağaç sayısının 64 ile 128 arasında olması gerektiği fakat eğri altındaki alan (Area Under Curve – AUC) ile işlem süresi arasında iyi bir denge olması gerektiği belirtilmiştir (Oshiro et al., 2012).

Ayrıca, RO algoritması her bir ağacın her bir kesişim noktasında kesişim noktasını bölmek için rasgele bir alt küme seçer. Bu kümeler tahmin edicilerin sayısından daha küçüktür. Bu algoritmada, her bölme için iki değişken aday olarak seçilmiştir. Bu rassallığın amacı ağaçların ilişkisini düzenlemek ve varyansı azaltmaktır (Ishwaran, 2014).

RO algoritması, birden fazla karar ağacı modelinin çıktıları sonucunda oranlama yapılarak oluşturulduğu için karar ağaçlarında görülen aşırı öğrenmenin ve ezber yapmanın önüne geçmiştir. Her bir karar ağacı için de farklı veri seti kullanıldığı için aykırı veri sorununu minimuma düşürmektedir. RO bir torbalama (bagging) yöntemidir. Şekil 3' te gösterildiği gibi orjinal veri kümesinden birçok alt küme oluşturulur ve her küme paralel olarak eğitilip tüm modellerden elde edilen sonuç birleştirilerek nihai sonuç ortaya çıkarılır.



Şekil 3. Torbalama yöntemi (Bagging method)

### 2.3. K-katlı Çapraz Doğrulama (K-fold Cross Validation)

Tahmin modellerinin doğruluğunu kontrol etmek için k-katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Çapraz doğrulama tahmin modellerinin değerlendirilmesi sürecinde datayı eğitim ve test verisi olmak üzere ikiye ayırır ve eğitim verisi üzerinde model eğitilir, test verisi üzerinde de modelin ne kadar doğru çalıştığı test edilir. K-katlı çapraz doğrulama yöntemi ise veriyi rassal olarak k eşit parçaya böler, Bu k parçadan sadece bir tanesi test verisi diğerleri ise modelin eğitimi için kullanılır ve bu işlem k kez tekrarlanır. Böylece her veri parçası mutlaka modelin eğitimi ve test edilmesi aşamasında kullanılmış olur.

Tahmin modellerinin doğruluğu aşağıdaki formülasyon ile hesaplanır (Rodriguez et al., 2009):

$$\text{Toplam dogruluk} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \text{Dogruluk}_i \quad (1)$$

Çalışmada, k değeri literatürde en çok kullanılan ve iyi sonuçlar verdiği belirtilen k=10 olarak alınmıştır (Delen et al., 2007).

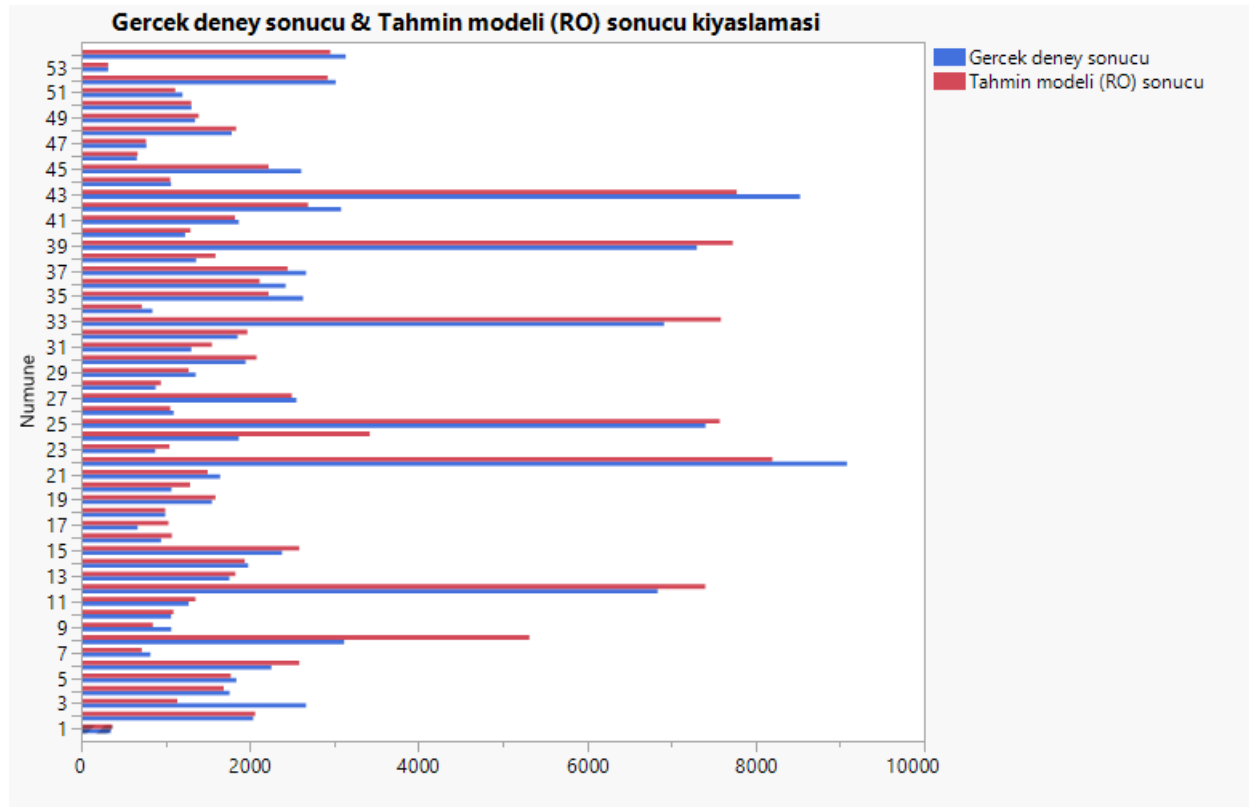
### 3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Tahmin algoritmalarının nasıl performans gösterdikleri Tablo 3'te verilmiştir. Yüksek R2 değeri ve düşük RMSE değeri algoritmanın yüksek bir performans gösterdiği ve modelin iyi bir tahmin yaptığını göstermektedir. Tablo 3'deki sonuçlara bakıldığında R2 ve RMSE ölçütleri açısından RO yönteminin daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. RO sonucuna göre deney sonuçları %94.25 doğrulukla tahmin edilmiştir. Başka bir deyişle, model girdileri olarak kullanılan değişkenler, model çıktısı olan eksenel yük etkisi altındaki BDÇK kolonların eksenel yük kapasitesindeki değişkenliğin %94.25' ini açıklayabilmektedir. Ayrıca RO yönteminden elde edilen RMSE değerinin de YSA modelinden elde edilen RMSE değerine göre çok daha düşük olduğu görülmektedir.

**Table 3.** Tahmin yöntemlerinin R2 ve RMSE değerleri (R2 and RMSE values of predictive models)

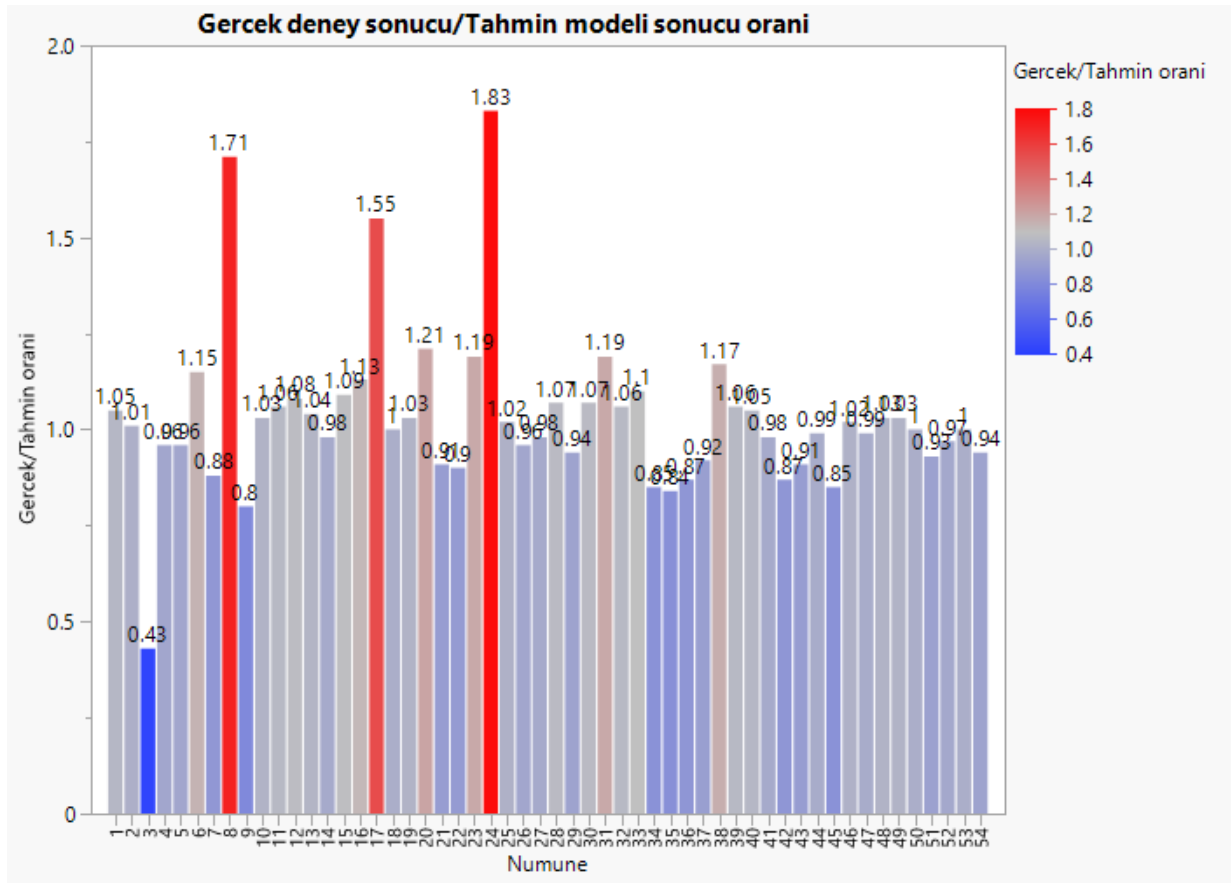
TAHMİN YÖNTEMLERİ	R2 DEĞERİ	RMSE
YSA	%44.68	2707.252
RO	%94.25	495.108

Sekil 4'te test verisi olarak kullanılan ve toplam veri seti'nin 20%'sini oluşturan numunelerin gerçek deney sonuçları ve RO modelinden elde edilen tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır. Sekil 4'ten de görüldüğü gibi RO yönteminden elde edilen tahmin sonuçları gerçek deney sonuçlarına çok yakındır.



**Sekil 4.** BDÇK kolonların nihai yük kapasitesi deney sonuçlarının RO tahmin yöntemi ile karşılaştırılması (Comparison of the experimental load capacity of CFST columns with RF prediction method)

Ayrıca, Şekil 5'te literatürden elde edilen gerçek deney sonuçlarının RO yöntemi ile elde edilen tahmin sonuçları ile, birkaç numune dışında (kırmızı ve mavi ile gösterilen), örtüşükleri daha açık bir şekilde görülmektedir. RO modeli ve gerçek deney sonuçlarının ortalama oranının 1.03 olması da bunu desteklemektedir.



**Şekil 5.** Gerçek deney sonuçları ve RO yöntemi tahmin sonuçları oranları (Experimental test result and RF prediction method ratios)

#### 4. Sonuç (Conclusion)

Bu çalışma ile eksenel yük etkisi altındaki BDÇK kolonların basınç altındaki eksenel yük kapasitesi, YSA ve RO makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Çalışmada kullanılan veri seti literatürdeki mevcut deneysel çalışmalardan elde edilmiştir. Yapı mühendisliği alanında BDÇK'nın eksenel yük altındaki davranışını araştıran deneysel ve analitik çalışma sayısı oldukça fazladır. Fakat deneysel çalışmalar yüklü miktarda ekipman, işgücü ve finansal kaynak gerektiren, maliyetli çalışmalardır. Bu çalışmada, daha önce yapılan deney sonuçları ile birçok alanda çok iyi performans gösteren makine öğrenme yöntemleri kullanılarak BDÇK kolonların eksenel yük kapasitesi tahmini yapılmıştır. Ayrıca kullanılan makine öğrenmesi yöntemleri ile maliyet ve iş gücü kayıplarının engellenebileceği düşünülmüştür.

Bu çalışmada, iki farklı makine öğrenmesi yöntemi (YSA ve RO) kullanılmış ve RMSE ve R2 performans ölçütleri açısından performansları değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda RO yönteminin, RMSE ve R2 performans ölçütleri açısından çok iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. RO sonucuna göre, modelin çıktısı olan Nu eksenel yük kapasitesi değişkeninin değişkenliği kullanılan girdi değişkenleri ile %94.25 gibi büyük bir olasılıkla açıklanmaktadır. Elde edilen RMSE değerinin de çok düşük olduğu görülmektedir.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

#### Kaynakça (References)

- Abdelkarim, O.I., Ghani, A., Anumolu, S., Wang, S. and ElGawady, M., 2015. Hollow-Core FRP-Concrete-Steel Bridge Columns Under Extreme Loading. Report No. cmr15-008; Missouri Department of Transportation Research, Development and Technology, Missouri University of Science and Technology, MO, USA.
- Aggarwal, C.C., 2018. Neural Networks and Deep Learning A Textbook. Springer ISBN 978-3-319-94462-3.
- Aslani, F., Uy, B. and Tao, Z. and Mashiri, F., 2015. Behavior And Design Composite Columns Incorporating Compact High Strength Steel Plates. Journal of Construction Steel Research., 107, 94-110.
- Breiman, L., 2001. Random Forests Book. Machine Learning, 45(1): 5-32.

- Chang, X., Luo, X., Zhu, C., Tang, C., 2014. Analysis Of Circular Concrete-Filled Steel Tube (CFT) Support In High Ground Stress Conditions. *Tunnel Underground Space Technol.* 43, 41-48.
- Cheng, M.Y. and Cao, M.T., 2016. Estimating Strength Of Rubberized Concrete Using Evolutionary Multivariate Adaptive Regression Splines. *Journal of Civil Engineering Management*, 22(5), 711-720.
- Clark, W.S., 1994. Axial Load Capacity Of Circular Steel Tube Columns Filled With High Strength Concrete. Master thesis, Victoria University of Technology, Australia.
- Cosgun C., Comert M., Demir C., Ilki A., 2012. FRP Retrofit a Full Scale 3D RC Frame. 6th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering 13-15 June 2012, Roma, Italy.
- Cosgun, C., Comert, M., Demir, C. and Ilki, A., 2019. Seismic Retrofit of Joints of a Full-Scale 3D Reinforced Concrete Frame with FRP Composites. *Journal of Composites for Construction* April 2019 Volume 23, Issue 2, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000923](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000923).
- Cosgun, C., Turk, A.M., Mangir, A. Cosgun, T. and Kiyamaz, G., 2020a. Experimental Behaviour And Failure Of Beam-Column Joints With Plain Bars, Low-Strength Concrete And Different Anchorage Details. *Engineering Failure Analysis*, Volume 109, 2020, 104247, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104247>.
- Cosgun, C., Cosgun, O., Sadeghian, R. and Aram, S., 2020b. Prediction of Ultimate Load Capacity of Concrete-Filled Steel Tubes with Circular Sections under Axial Load by Using Predictive Analytics Methods. 2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI).
- de Oliveira, W.L.A., de Nardin, S., de Cresce El Debs, A.L.H. and El Debs, M.K., 2009. Influence Of Concrete Strength And Length/Diameter On The Axial Capacity Of CFT Columns. *Journal of Construction Steel Research*, 65(12), 2103-2110.
- Delen, D., Tomak, L., Topuz, K., and Eryarsoy, E., 2017. Investigating injury severity risk factors in automobile crashes with predictive analytics and sensitivity analysis methods. *Journal of Transport & Health* 4 (2017) 118-131.
- Dutta, S., Murthy, A.R., Kim, D. and Samui, P., 2017. Prediction Of Compressive Strength Of Self-Compacting Concrete Using Intelligent Computational Modelling. *CMC: Computers, Materials & Continua*, 53(2), 157-174.
- Ekmekyapar, T and AL-Eliwi, B. J. M., 2016. Experimental Behaviour Of Circular Concrete Filled Steel Tube Columns And Design Specifications. *Thin-Walled Structures*, vol. 105, pp. 220-230.
- Ellobody, E., Young, B. and Lam, D. (2006), "Behavior of normal and high strength concrete-filled compact steel tube circular stub columns", *J. Constr. Steel Res.*, 62(7), 706-715. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2005.11.002>
- Erdem, H., 2017. Predicting The Moment Capacity Of RC Slabs With Insulation Materials Exposed To Fire By ANN. *Structural Engineering and Mechanics*, Volume 64 issue 3, Pages 339-346.
- Gardener, N.J. and Jacobson, R., 1967. Structural Behavior Of Concrete Filled Steel Tubes. *J. Am. Concrete Inst. (ACI)*, 64(7), 404-413.
- Gardener, N.J., 1968. Use Of Spiral Welded Steel Tubes In Pipe Columns. *J. Am. Concrete Inst. (ACI)*, 65(11), 937-942.
- Giakoumelis, G. and Lam, D., 2004. Axial capacity of circular concrete-filled tube columns. *J. Constr. Steel Res.*, 60(7), 1049-1068. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2003.10.001>.
- Gupta, P.K., Sarda, S.M. and Kumar, M.S., 2007. Experimental And Computational Study Of Concrete Filled Steel Tubular Columns Under Axial Loads. *J. Constr. Steel Res.*, 63(2), 182-193. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2006.04.004>.
- Hamit, E., (2015). Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin İnşaat Sektörüne Katkısı: Basınç Dayanımı Tahminlemesi. *JOUR - Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, VL-21, SP109-114.
- Han, L.H., Yao, G.H. and Zhao, X.L., 2005. Tests And Calculations For Hollow Structural Steel (HSS) Stub Columns Filled With Self-Consolidating Concrete (SCC). *J. Constr. Steel Res.*, 61(9), 1241-1269.
- Han, L.H. and Yao, G.H., 2004. Experimental Behaviour Of Thin-walled Hollow Structural Steel (HSS) Columns Filled With Selfconsolidating Concrete (SCC). *Thin-Wall. Struct.*, 42(9), 1357- 1377. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2004.03.016>.
- Han, L.H., Li, W. and Bjorhovde, R., 2014. Developments And Advanced Applications Of Concrete-Filled Steel Tubular (CFST) Structures Members. *J. Constr. Steel Res.* 100, 211-228.
- Han, L.H., 2000. Tests on Concrete Filled Steel Tubular Columns With High Slenderness Ratio. *Advances in Structural Engineering*, vol. 3, no. 4, pp. 337-344.
- Huang, C.S., Yeh, Y.K., Liu, G.Y., Hu, H.T., Tsai, K.C., Weng, Y.T., Wang, S.H. and Wu, M.H., 2002. Axial Load Behavior Of Stiffened Concrete-Filled Steel Columns. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 128(9), 1222-1230.
- Ishwaran, H., 2014. The Effect of Splitting on Random Forests. *Machine learning*, 99(1), 75-118. <https://doi.org/10.1007/s10994-014-5451-2>.
- Johansson, M. and Gylltoft, K., 2002. Mechanical Behavior Of Circular Steel-Concrete Composite Stub Columns. *J. Struct. Eng.*, ASCE, 128(8), 1073-1081. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2002\)128:8\(1073\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2002)128:8(1073)).
- Karatas, C., 2019. Prediction Of Ultimate Load Capacity Of Concrete-Filled Steel Tube Columns Using Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS). *Steel and Composite Structures*, Vol 33, No. 4 (2019) 583-594.
- Kitada, T., 1998. Ultimate Strength And Ductility Of State-Of-The-art Concrete-Filled Steel Bridge Piers In Japan. *Eng. Struct.*, 20(4- 6), 347-354. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(97\)00026-6](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(97)00026-6).
- Lai, M.H., Ho, J.C.M., 2014. Confinement Effect Of Ring-Confined Concrete-Filled-Steel Tube Columns Under Uni-Axial Load. *Eng. Structures*. 67, 123-141.
- Lee, S.H., Uy, B., Kim, S.H., Choi, Y.H. and Choi, S.M., 2011. Behavior Of High strength Circular Concrete-Filled Steel Tubular (CFST) Column Under Eccentric Loading. *J. Constr. Steel Res.*, 67, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2010.07.003>.
- Li, J. and Yang, E.H., 2018. Probabilistic-Based Assessment For Tensile Strain-Hardening Potential Of Fiber-Reinforced Cementitious Composites. *Cement and Concrete Composites*, 91, 108-117.
- Liu, D.L., Gho, W.M. and Yuan, J., 2003. Ultimate Capacity Of High-Strength Rectangular Concrete-Filled Steel Hollow Section Stub Columns. *J Constr Steel Res.*, 59 (12), 1499-1515. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(03\)00106-8](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(03)00106-8).
- Liu, D.L. and Gho, W.M., 2005. Axial Load Behaviour Of High strength Rectangular Concrete Filled Steel Tubular Stub Columns. *Thin Wall Struct.*, 43(8), 1131-1142. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2005.03.007>.
- Lue, D.M., Liu, J.L. and Yen, T., 2007. Experimental Study On Rectangular CFST Columns With High-Strength Concrete. *J. Constr. Steel Res.*, 63(1), 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2006.03.007>.

- Oshiro, T.M., Peres, P.S., and Baranauskas, J.A., 2012. How Many Trees in a Random Forest?. 8th International Conference on Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition, MLDM 2012, 7376, 54–168.
- O’Shea, M.D. and Bridge, R.Q., 1994. Tests On Thin-Walled Concrete-Filled Steel Tubes. Proceedings of the 12th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, St. Louis, MO, USA, October, pp. 399-419.
- O’Shea, M.D. and Bridge, R.Q., 1998. Tests On Circular Thin-Walled Steel Tubes Filled With Medium And High Strength Concrete. Austral. Civil Eng. Transact., 40, 15-27.
- O’Shea, M.D. and Bridge, R.Q., 2000. Design Of Circular Thin-walled Concrete-Filled Steel Tubes. J. Struct. Eng., ASCE, 126(11), 1295-1303.
- Ren, Q., Li, M., Zhang, M., Shen, Y. and Si, W., 2019. Prediction Of Ultimate Axial Capacity Of Square Concrete-Filled Steel Tubular Short Columns Using A Hybrid Intelligent Algorithm. Appl. Sci., 9(14), 2802.
- Rodriguez, J. D., Perez, A., & Lozano, J. A., 2009. Sensitivity Analysis Of K-Fold Cross-Validation In Prediction Error Estimation. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 32(3), 569-575.
- Sakino, K. and Hayashi, H., 1991. Behavior Of Concrete Filled Steel Tubular Stub Columns Under Concentric Loading. Proceedings of the 3rd International Conference on Steel Concrete Composite Structures, Fukuoka, Japan, September, pp.25-30.
- Sakino, K., Nakahara, H., Morino, S. and Nishiyama, I., 2004. Behavior Of Centrally Loaded Concrete-Filled Steel-Tube Short Columns. J. of Structural Engineering, 130(2), 180-188. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2004\)130:2\(180\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:2(180)).
- Sakino, K. and Sun, Y., 2000. Steel Jacketing For Improvement Of Column Strength And Ductility. Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand.
- Schneider, S.P., 1998. Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes. Journal of Structural Engineering, ASCE, 124(10), 1125-1138. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1998\)124:10\(1125\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1998)124:10(1125)).
- Tan, K.F., Pu, X.C. and Cai, S.H., 1999. Study On Mechanical Properties Of Extra Strength Concrete Encased In Steel Tubes. J. Build. Struct., 20(1), 10-15.
- Tomii, M., Yoshimura, K. and Morishita, Y., 1977. Experimental Studies On Concrete Filled Steel Tubular Stub Columns Under Concentric Loading. Proceedings of the International Colloquium on Stability of Structures, Washington DC, USA, May, pp. 718-741.
- Tran, V.L., Thai, D.K., and Nguyen, D.D., 2020. Practical Artificial Neural Network Tool For Predicting The Axial Compression Capacity Of Circular Concrete-Filled Steel Tube Columns With Ultra-High-Strength Concrete. Thin-Walled Structures 151 (2020) 106720.
- Uy, B., 2001. Strength Of Short Concrete Filled High Strength Steel Box Columns. Journal of Construction Steel Research, 57(2), 113-134. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(00\)00014-6](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(00)00014-6).
- Xiong, M.X., Xiong, D.X. and Liew, J.Y.R., 2017. Axial Performance Of Short Concrete Filled Steel Tubes With High-And Ultra-High- Strength Materials. Engineering Structures, 136, 494-510.
- Xu, F., Chen, J., Jin, W.L., 2014. Experimental Investigation Of Thin-Walled Concrete Filled Steel Tube Columns With Reinforced Lattice Angle. Thin-Walled Structure 84, 59–67.
- Yu, Z.W., Ding, F.X. and Cai, C.S., 2007. Experimental Behavior Of Circular Concrete filled Steel Tube Stub Columns. Journal of Construction Steel Research, 63, 165-174.
- Yu, Q., Tao, Z., Wu, Y.X., 2008. Experimental Behaviour Of High Performance Concrete Filled Steel Tubular Columns. Thin-Wall. Struct., 46(4), 362-370. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2007.10.001>.
- Yamamoto, T., Kawaguchi, J. and Morino, S., 2000. Experimental Study Of Scale Effects On The Compressive Behavior Of Short Concrete-Filled Steel Tube Columns. Proceedings of the United Engineering Foundation Conference on Composite Construction in Steel and Concrete IV (AICE), Banff, Canada, June, pp. 879-891.
- Yuvaraj, P., Murthy, A.R., Iyer, N.R., Samui, P. and Sekar, S.K., 2013. Multivariate Adaptive Regression Splines Model To Predict Fracture Characteristics Of High Strength And Ultra High Strength Concrete Beams. CMC: Computers, Materials & Continua, 36(1), 73-97.



## SALDA GÖLÜ HAVZASI YERALTISULARINA İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ETKİSİ

Fatma AKSEVERİ<sup>1\*</sup>, Ayşen DAVRAZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Salda Gölü Havzası,  
Yeraltısuyu Seviye Değişimi,  
İklim Sınıflandırması,  
Kuraklık.*

### Öz

Gelecekte su kaynaklarının sürdürülebilirliği, yönetimi ve politikaları çerçevesinde yeraltısularına iklim değişikliklerinin etkisinin belirlenmesi, izlenmesi ve kontrol altına alınabilmesi için iklim sınıflandırmasına yönelik çalışmalar önem kazanmaktadır. Günümüzde yüzey sularında olduğu gibi yeraltısularında da iklim değişikliğine bağlı olumsuzluklar gözlenmektedir. Salda Gölü havzası, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Ulusal Sulak Alan Komisyonu tarafından 2008 yılında korunması gereken önemli sulak alanlar içerisine alınmıştır. Sulak alanlarda hidrolojik sistemin tanımlanarak iklim değişikliklerinin etkisinin tespiti sürdürülebilirlik için büyük önem taşımaktadır. Salda Gölü Havzası'nda hidrolojik ve meteorolojik kuraklık analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde Standartlaştırılmış Yağış İndeksi, De Martonne Kuraklık İndeksi ve Erinç iklim sınıflandırması yöntemleri karşılaştırılmıştır. Bölgenin iklim kategorisi Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yöntemine göre "Hafif Kurak", De Martonne kuraklık indeksi yöntemine göre "Yarı Kurak" ve Erinç iklim sınıflandırması ile "Kurak" olarak belirlenmiştir. Salda Gölü havzası için iklim şartlarının kurak iklime geçiş sürecinde ve genel kuraklaşma eğilimi içerisinde olduğu görülmüştür. Uygulanan kuraklık analizleri ile havzayı temsil eden sondaj kuyularında uzun yıllara ait statik seviye ölçümleri karşılaştırılmıştır. Havzada bulunan kuyularda yaklaşık olarak 4 m düşüm olduğu tespit edilmiş olup kuraklığın yeraltısuyu seviye değişimleri üzerindeki etkisi de gözlenmiştir.

## THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON GROUNDWATERS OF SALDA LAKE BASIN

### Keywords

*Salda Lake Basin  
Groundwater Level Change,  
Climatic Classification,  
Aridity.*

### Abstract

Studies on climate classification gain importance in order to determine, the impact of climate changes, monitor and control on groundwater within the framework of sustainability, management and policies of water resources in the future. Today, negative effects due to climate change observed in groundwater as well as in surface waters. The Salda Lake basin was included in the important wetlands to protect in 2008 by the National Wetland Commission of the Ministry of Forestry and Water Affairs. Determining the impact of climate changes to identifying the hydrological system in wetlands are of great importance for sustainability. Hydrological and meteorological drought analyzes were carried out in the Salda Lake Basin. In these analyzes, Standardized Precipitation Index, De Martonne Drought Index and Erinç climate classification methods were compared. The climate category of the region was determined as "Mildly Arid" according to the Standardized Precipitation Index method, "Semi-Arid" according to the De Martonne drought index method, and "Arid" with the Erinç climate classification. It observed that the climatic conditions for the Salda Lake basin are in the transition period to arid climate and in a general aridity trend. The static level measurements of long years in boreholes representing the basin were compared with the drought analyzes applied. It has been determined that there is a decrease of approximately 4 m in the wells in the basin, and the effect of drought on groundwater level changes has also been observed.

### Alıntı / Cite

Aksever, F., Davraz, A., (2023). Salda Gölü Havzası Yeraltısularına İklim Değişikliğinin Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 577-594.

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

F. Aksever, 0000-0002-9907-8451  
A. Davraz, 0000-0003-2442-103X

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	16.12.2022
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	20.02.2023
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	20.02.2023
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: fatmaaksever@sdu.edu.tr, +90-246-211-1322

# THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON GROUNDWATERS OF SALDA LAKE BASIN

Fatma Aksever<sup>1†</sup>, Ayşen Davraz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Isparta, Turkiye

## Highlights

- Today, the hydrological cycle in nature is affected by climate.
- Salda Lake Basin is within the scope of important wetlands to be protected.
- The effect of climate on groundwater in the Salda Lake Basin was investigated.
- The effect of drought on groundwater level changes has been observed.

## Graphical Abstract

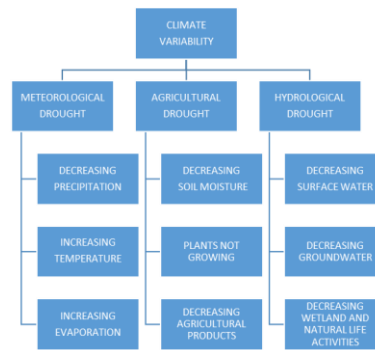


Figure. Climate Variability

## Purpose and Scope

The aim of this study is to determine effect the hydrological and meteorological drought on groundwater Salda Lake Basin.

## Design/methodology/approach

Hydrological and meteorological drought analyzes were carried out in the Salda Lake Basin. 31 years (1990-2020) climatologic data was used obtained from gauging stations for drought in the study area. In these analyzes, Standardized Precipitation Index, De Martonne Drought Index and Erinç climate classification methods were compared and he climate category of the Salda Lake Basin was determined .The static level measurements of long years in boreholes representing the basin were compared with the drought analyzes applied.

## Findings

The climate category of the region was determined as "Mildly Arid" according to the Standardized Precipitation Index method, "Semi-Arid" according to the De Martonne drought index method, and "Arid" with the Erinç climate classification. It observed that the climatic conditions for the Salda Lake basin are in the transition period to arid climate and in a general aridity trend. There is a decrease of approximately 4 m in the wells in the basin. The climate of the Salda Lake basin and its surroundings is in the process of transition to arid climate in the coming years.

## Social Implications

The change processes of meteorological and hydrological parameters of Salda Lake Basin should be monitored periodically. In the future, surface and groundwater may decrease, agricultural problems may arise, may be the migration of the population in the study area.

## Originality

The fact that the hydrological and meteorological drought analysis for Salda lake Basin and surrounding is a preliminary.

† Corresponding author: fatmaaksever@sdu.edu.tr, +90-246-211-1322

## 1. Giriş (Introduction)

Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO, 2017) göre "iklim değişikliği ve küresel ısınma" yirmi birinci yüzyılda insanlığın en büyük mücadelesidir. İklim değişiklikleri, kentleşme ve ormansızlaşma gibi çevresel değişikliklere ek olarak, aşırı hava olaylarına eşlik eden sıcak hava dalgaları, aşırı yağışlar, sel, kuraklık, su kıtlığı, toz fırtınaları, tropikal siklonlar (tayfunlar veya kasırgalar) ile karakterize edilir (Handmer vd., 2012; Nava vd., 2017). Son zamanlarda yapılan çalışmalarda iklim değişikliğine bağlı olarak ortaya çıkan kuraklığın doğal yaşamı etkilediği öne sürülmektedir. Kuraklık, dünyanın çoğu bölgesi için en büyük risklerden biri olarak kabul edilebilir (Şarлак & Mahmood Agha, 2018). Kuraklık, hemen hemen tüm iklim bölgelerinde farklı sıklıkta, şiddette ve sürede meydana gelen iklimsel bir durumdur (Du vd., 2021). Kuraklığın şiddetinin belirlenmesi, yansımaların değerlendirilmesi ve beklenen etkilerin azaltılması kritik öneme sahiptir (Tigkas vd., 2013). Bu nedenle, bir bölgede ortaya çıkan kuraklığın iklim değişikliği olarak izlenmesi gerekmektedir. Kuraklığın belirlenebilmesi için dünyada farklı yöntem ve endeksler kullanılmaktadır. Günümüzde iklim kategorisini belirleyebilmek için iklim unsurlarının yıl içerisinde ve yıldan yıla değişmelerinin belirlenmesi iklim değişikliğinin takibinin sürdürülebilirliğini ön plana çıkarmaktadır. İklim değişikliğinde; atmosferik koşullar, coğrafik konum, çevresel doğal unsurlar, dış etkenler, insan faaliyetleri vb. birçok faktör etkili olmaktadır. Özellikle iklim değişikliği, suyun hidrolojik döngüsünü, su kaynaklarını, bunların mekânsal ve zamansal dağılımlarını, su kalitesini ve su kaynaklarına olan ihtiyacı etkilemektedir (IPCC, 2014). İklim değişikliğinin yeraltısuyu kaynakları üzerindeki doğrudan etkisi, yeraltısuyu beslenmesinin hacmindeki ve dağılımındaki değişime bağlıdır. Bu nedenle, iklim değişikliğinin yeraltısuyu kaynakları üzerindeki etkisini ölçmek, yalnızca ana iklim değişkenlerindeki değişikliklerin güvenilir bir şekilde tahmin edilmesini değil, aynı zamanda havza ölçeğinde yeraltısuyu seviye değişimlerinin takibini de gerektirir. Günümüzde, iklim değişikliğinin hidrolojik süreçler ve su kaynakları üzerindeki yerel veya bölgesel etkilerine ilişkin bilgiler daha önemli hale gelmektedir (Kumar, 2012). Son yıllarda artan sıcaklıklar ve azalan yağışlardan dolayı meydana gelen ve suyun varlığına bağlı olarak tüm doğal kaynakları etkileyen iklim değişikliği olgusu söz konusu alanda yapılacak tüm çalışmaları yakından ilgilendirir konuma gelmiştir. Bu nedenle, son yıllarda söz konusu değişimin herhangi bir bölgedeki su kaynaklarında meydana getirdiği etkinin belirlenmesi havza bazında yapılacak olan iklim değişikliği çalışmalarına ayrı bir boyut kazandırmaktadır. Bu çalışmada, Salda Gölü havzası ve çevresinde mevcut iklim koşulları ve iklim koşullarındaki değişikliklerin yeraltısuları üzerindeki olası etkisi incelenmiştir.

### 1.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Göller Bölgesi'nin güneybatısında yer alan Salda Gölü havzası ve çevresini oluşturan çalışma alanı yaklaşık olarak 295,63 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır. Burdur Gölü havzasının alt havzası konumundaki Salda Gölü havzası, Özel Çevre Koruma Bölgesi içerisinde uluslararası öneme sahip sulak alan olup kapalı havza özelliğindedir. Çalışma alanı içerisinde bulunan yerleşim merkezleri Yeşilova, Salda, Doğanbaba, Kayadibi, Işıklar, Düden, Niyazlar ve Karaatlı'dır (Şekil 1). Çalışma alanının en önemli yüzey suyu Salda Gölü'dür. Göl, yaklaşık 207,14 km<sup>2</sup> drenaj alanı, 44.354 km<sup>2</sup> yüzey alanı, 1139 m kotu ve 184 m'lik maksimum derinliğe sahiptir (BİÇDR, 2010). Çalışma alanında geniş alanlarda yüzeyleyen Kuvaterner alüvyon ve yamaç molozu ile Kayadibi yerleşim merkezi civarında yayılım gösteren kireçtaşları yeraltısuyu bulunduran önemli akifer ortamlardır. Çalışma alanında sıcak ve ılıman bir iklime sahip olup kış aylarında yaz aylarından fazla yağış düşmektedir. Bölgede 1991-2021 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklık 11.5 °C ile en düşük ortalama sıcaklık Ocak ayında ölçülen 0.7 °C, ortalama en yüksek sıcaklık ise Temmuz ayındaki 23.2 °C'dir. Ortalama yıllık yağış miktarı 423 mm olan bölgede, 8 mm yağışla Ağustos ayı (kurak ay), 57 mm yağışla Mayıs ayı (yağışlı ay) arasındaki yağış miktarı 49 mm'dir (URL - 1).

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

Çalışma alanında iklim değişikliğinin yeraltısuyuna etkisini belirleyebilmek için yeraltısuyu statik seviye temin edilmiştir. Salda Gölü Özel Çevre Koruma Bölgesi'ni temsil eden sondaj kuyularında ölçülen rasat verileri Burdur, DSİ 182. Şube Müdürlüğü'nden alınmıştır. Rasat verileri ile çalışma alanındaki yeraltısuyu seviyeleri takip edilerek değişimleri grafiklerle yorumlanmıştır. Ayrıca, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden çalışma alanını temsil edecek meteorolojik gözlem istasyonlarına ait veriler (yağış, sıcaklık, nem, güneşlenme oranı vb.) temin edilmiştir. Yağışın çalışma alanındaki dağılımını ve kurak-yağışlı dönemlerini belirlemek için "Eklenik Sapma" yöntemi kullanılmıştır. Sıcaklığa bağlı gerçekleşen buharlaşma miktarını belirlemek için "Thornthwaite" (Thornthwaite ve Mather, 1957) yöntemi uygulanmıştır. Yöntem ile denestirmeli su bütçesi hazırlanarak bölgedeki gerçek (Etr) ve potansiyel (Etp) buharlaşma miktarları hesaplanmış ve grafiklerle yorumlanmıştır. Ayrıca bölgeye ait iklimsel veriler "Standartlaştırılmış Yağış İndeksi-SYİ (Mckee vd., 1993)", "De Martonne Kuraklık İndeksi (De Martonne, 1925)" ve "Erinç" iklim sınıflandırması yöntemleri ile değerlendirilmiş ve çalışma alanının iklim kategorileri belirlenerek, iklim değişimi grafiklerle yorumlanmıştır.





Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası (Location map of the study area)

### 3.1. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi-SYİ Yöntemi (Standardized Precipitation Index-SPI)

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ), Mckee vd., (1993) tarafından yağışın zamana bağlı olarak değişiminin takibini ortaya koyabilmek için geliştirilmiştir. İndeks hesaplanırken aylık yağış veri seti, ideal olarak en az 30 yıllık sürekli bir dönem olan aylık bir süre için hazırlanır. Yağış dönemleri 3, 6, 12, 24 veya 48 aylık bir zaman ölçeği kümesi olarak belirlenebilmektedir. Veri kümelerinin her biri, yani seçilmiş olan zaman dilimi içerisinde olasılığın yağışla ilişkisini tanımlamak için uyarlanmıştır. SYİ değerleri eşitlik (1) ile hesaplanmaktadır.

$$SYİ = \frac{(x_{ij} - x_{im}^{ort})}{\sigma} \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de;

- SYİ : Standartlaştırılmış yağış indeksi
- $x_i$  : Aktüel yağış (mm)
- $x_i^{ort}$  : Ortalama yağış miktarı (mm)
- $\sigma$  : Standart sapmayı ifade etmektedir.

Gösterge olarak SYİ değerleri kullanılarak, her zaman ölçeği için fonksiyonel ve nicel olarak kuraklık ve nemlilik tanımı oluşturulabilmektedir. Bir zaman ölçeğinde kuraklık olayı, SYİ'nin sürekli olarak negatif olduğu ve SYİ'nin -1,0 veya daha düşük bir değere ulaştığı bir dönem olarak tanımlanır. Kuraklık, SYİ ilk sıfırın altına düştüğü anda başlar ve -1,0 veya daha düşük bir değerinden sonra SYİ'nin pozitif değeri ile sona erer. Yani, SYİ değerleri negatif ise "Kuraklık", pozitif değerde ise "Nemlilik" olarak değerlendirilir. İklim sınıflandırması, SYİ değerlerine göre Tablo 1'deki gibi tanımlanmaktadır.

**Tablo 1.** Standartlaştırılmış yağış indeksine göre iklim sınıflandırması  
(Classification of Climate by standardized precipitation index) (Mckee vd., 1993; Mckee vd., 1995; Tsakiris & Vangelis 2004)

SYİ Değerleri	İklim Kategorisi
$SYİ \leq -2,0$	Aşırı kurak
$-2,0 < SYİ \leq -1,5$	Çok kurak
$-1,5 < SYİ \leq -1,0$	Orta kurak
$-1,0 < SYİ \leq 0$	Hafif kurak
$0 < SYİ \leq 1,0$	Hafif nemli
$1,0 < SYİ \leq 1,5$	Orta nemli
$1,5 < SYİ \leq 2,0$	Çok nemli
$SYİ \geq 2,0$	Aşırı nemli

### 3.2. De Martonne Kuraklık İndeksi Yöntemi (Method of De Martonne Aridity Index)

De Martonne kuraklık indeksi, buharlaşmanın iklim ve kuraklık üzerine etkisini belirlemek için 1925 yılında Emmanuel De Martonne tarafından ortaya konulan bir kuraklık sınıflandırmasıdır. Yönteme göre uzun yıllar yağış ve sıcaklık verileri değerlendirilir ve yıllık, aylık ve mevsimlik olarak kuraklık indeksleri hesaplanır. De Martonne (1925) tarafından geliştirilen eşitlik (2) ile "yıllık ( $I_{YDM}$ )", eşitlik (3) ile "aylık ( $I_{ADM}$ )" ve eşitlik (4) ile de "mevsimlik ( $I_{MDM}$ )" kuraklık indeksleri hesaplanabilmektedir. İklim sınıflandırması,  $I_{DM}$  değerlerine göre Tablo 2'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$I_{YDM} = \frac{P_Y}{T_Y + 10} \quad (2)$$

$$I_{ADM} = \frac{12P_A}{T_A + 10} \quad (3)$$

$$I_{MDM} = \frac{4P_M}{T_M + 10} \quad (4)$$

Eşitlik (2, 3 ve 4)'te;

$I_{YDM}$  : Yıllık De Martonne kuraklık indeksi

$P_Y$  : Yıllık toplam yağış (mm)

$T$  : Yıllık ortalama sıcaklık (°C)

$I_{ADM}$  : Aylık De Martonne kuraklık indeksi

$P_A$  : Aylık toplam yağış (mm)

$T_A$  : Aylık ortalama sıcaklık (°C)

$I_{MDM}$  : Mevsimsel De Martonne kuraklık indeksi

$P_M$  : Mevsimsel toplam yağış (mm)

$T_M$  : Mevsimsel ortalama sıcaklık (°C) miktarını ifade etmektedir.

**Tablo 1.** De Martonne kuraklık indeksine göre iklim sınıflandırması  
(Classification of climate by De Martonne aridity index)(De Martonne, 1925)

$I_{DM}$ Değerleri	İklim Kategorisi
$I_{DM} < 10$	Kurak
$10 \leq I_{DM} < 20$	Yarı Kurak
$20 \leq I_{DM} < 24$	Orta Kurak (Akdeniz)
$24 \leq I_{DM} < 28$	Yarı Nemli
$28 \leq I_{DM} < 35$	Nemli
$35 \leq I_{DM} \leq 55$	Çok Nemli
$I_{DM} > 55$	Aşırı Nemli

### 3.3. Erinç İklim Sınıflandırması (Erinç Climate Classification)

Sırrı Erinç tarafından 1965 yılında geliştirilen iklim sınıflandırmasında, maksimum sıcaklık ve yağış etkinliği dikkate alınarak iklim kategorisi belirlenmektedir. Erinç yağış etkinlik indeksi eşitlik (5) ile hesaplanıp, iklim sınıflandırması,  $I_E$  değerlerine göre Tablo 3'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$I_E = \frac{P_Y}{T_{YOM}} \quad (5)$$

Eşitlik (5)'de;

$I_E$  : Erinç yağış etkinlik indeksi

$P_Y$  : Yıllık toplam yağış (mm)

$T_{YOM}$  : Yıllık ortalama maksimum sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) miktarını ifade etmektedir.

**Tablo 3.** Erinç iklim sınıflandırması (Erinç climate classification)(Erinç, 1965)

IDM Değerleri	İklim Kategorisi
$I_M < 8$	Tam Kurak
$8 < I_M < 15$	Kurak
$15 < I_M < 23$	Yarı Kurak
$23 < I_M < 40$	Yarı Nemli
$40 < I_M < 55$	Nemli
$I_M > 55$	Çok Nemli

## 4. Araştırma Bulguları (Research Finding)

### 4.1. Sondaj kuyuları (Boreholes)

Çalışma alanında özel/resmi olarak açılmış çok sayıda sondaj kuyusu yer almaktadır. Alanda ruhsatlı özel 123 adet şahıs kuyusu ve DSİ 182. Şube Müdürlüğü tarafından açılmış 16 adet resmi sondaj kuyusu bulunmaktadır. Salda Gölü havzası içerisinde izinli/izinsiz olmak üzere açılan sondaj kuyusu yaklaşık olarak 150'yi aşmaktadır. Sondaj kuyuları genellikle Yeşilova yerleşim merkezinde yoğunlaşırken, Salda, Niyazlar ve Kayadibi yerleşim merkezlerinde de mevcuttur. Sondaj kuyularından elde edilen yeraltı suları yerleşim merkezlerinde içme-kullanma ve sulama amaçlı kullanılmaktadır.

Çalışma alanı ve civarında DSİ 182. Şube Müdürlüğü tarafından açılmış ve aylık rasat ölçümü yapılan 3 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır. 42423 nolu sondaj kuyusu Kayadibi köyünde, 22221 nolu sondaj kuyusu Yeşilova Merkez ilçede ve 25115 nolu sondaj kuyusu ise Karaatlı köyünde yer almaktadır. Sondaj kuyularına ait teknik özellikler Tablo 4'de sunulmuştur. 25115 nolu kuyu çalışma alanının doğu sınırı dışında kalmaktadır. Ancak, söz konusu kuyu diğer kuyular gibi çalışma alanına ait alüvyon akiferi temsil ettiğinden verileri çalışmada kullanılmıştır. Aylık periyodik statik seviye ölçümleri 25115 nolu kuyuda 2000-2021 yılları arasında 42423 nolu kuyuda da 2015-2020 yılları arasında gerçekleştirilmiştir (Tablo 5, 6). 22221 nolu kuyuda ise 1989-2020 yılları arasında mevsimlik ölçümler yapılmıştır (Tablo 7). Bu 3 kuyuda ölçülmüş periyodik statik seviyelerin yıl bazında değişimleri grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 2a, 2b, 2c).

**Tablo 4.** Sondaj kuyularına ait teknik özellikler (Technical specifications of boreholes)

Kuyu Adı	Kayadibi	Yeşilova Merkez	Karaatlı
Kuyu No	42423	22221	25115
Pafta No	M23d3	M23d3	M23c4
Zemin Kotu	1177	1188	1140
Koordinat	X (D)	742427	742694
	Y (K)	4155238	4155974
Kuyu Derinliği (m)	100	75	65
Tip (Araştırma/İşletme)	Araştırma	İşletme	Araştırma
İl	Burdur	Burdur	Burdur
İlçe	Yeşilova	Yeşilova	Yeşilova
Köy / Mahalle	Kayadibi	Merkez	Karaatlı
Açıldığı Yıl	1992	1977	1978
Havza Adı	Burdur	Burdur	Burdur
Alt havza/Ova Adı	Yeşilova-Salda	Yeşilova-Yarışlı	Yeşilova-Yarışlı
Temsil Ettiği Akifer Türü	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon
		+Serpantin	Alüvyon

Kayadibi köyünde bulunan 42423 nolu kuyuda 2016-2020 yılları arası Limnigraf (Manuel) ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde 2016 yılında 3,5 m, 2017 yılında 1,89 m ve 2018 yılında 1,15 m seviye düşümleri tespit edilmiştir. Genel anlamda bakıldığında 2016-2018 yılları arasında YAS seviye düşümleri gözlenmiş olmasına

rağmen düşüm oranının giderek azaldığı görülmektedir. 2018 yılı Aralık ayından itibaren YAS seviyesinde artış başlamıştır. 2019 yılı YAS seviye yükselimi 1,09 m'dir. 2019 yılında başlayan YAS seviye yükselimi 2020-Haziran ayına kadar devam etmiştir. Ocak-Haziran ayları arasında YAS seviyesi 0,21 m'dir. 2020-Temmuz ayından itibaren 0.22 m'lik düşüm gerçekleşmiştir (Tablo 5).

Karaatlı köyünde bulunan 25115 nolu kuyuda ise 2000 yılı statik su seviyesi 2,67-3,24 m arasında değişirken, 2020 yılında statik su seviyesi 3,67-6,58 m arasında değişmektedir. Kuyuda genel olarak kurak aylarda seviye düşümü gözlenirken, yağışlı aylarda seviye yükselimi gözlenmiştir. Kuyuda statik seviye 2003 yılının Mart ayında 0,67 m ölçülürken, 2020 yılı Eylül ayında en yüksek düşüm miktarı görülmüş ve seviye 6,58 m olarak ölçülmüştür (Tablo 6).

Yeşilova Merkez ilçede bulunan 22221 nolu kuyuda en düşük statik seviye 21,3 m ile 1990 yılında Temmuz-Aralık dönemi için ölçülmüştür. En yüksek statik su seviye değeri ise 8.56 m ile 2012 yılı Ocak-Haziran döneminde tespit edilmiştir. 1989 yılından 2002 yılına kadar dalgalanmalar olmakla birlikte genel olarak YAS seviyesinde düşüm tespit edilmiştir. 2001 yılı kış mevsiminden itibaren gözlenen YAS seviye yükselimi 2002 yılında 1.44 m olarak ölçülmüştür. 2003-2005 yılları arasında tekrar seviye düşümleri tespit edilmiştir. 2006 yılında 1,19 m YAS seviyesinde yükselim ölçülmüştür. Ocak-2009 ve Ocak-2010 arasında yükselim söz konusudur. 2010 yılında seviye düşümü tespit edilse de 2011-Ocak ve 2012-Ocak ölçümleri arasında yine yükselim gerçekleşmiştir. En yüksek YAS seviye yükselimi 8,36 m ile 2014 yılında ölçülmüştür. 2015 yılında da yükselim bir miktar devam etmiştir. 2016 yılından 2019 yılı başlarına kadar YAS yine düşmüştür. 2019 ve 2020 yıllarında sırasıyla 1,35 ve 3,92 m'lik yükselim tespit edilmiştir. 2020 yılında, Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviyesi yükselmiştir. Aralık ayında bir önceki yılın Aralık ayı seviyesine ulaşılmıştır (Tablo 7).

**Tablo 5.** 42423 Nolu sondaj kuyusu aylık rasat verileri (Monthly observation data of borehole No. 42423)

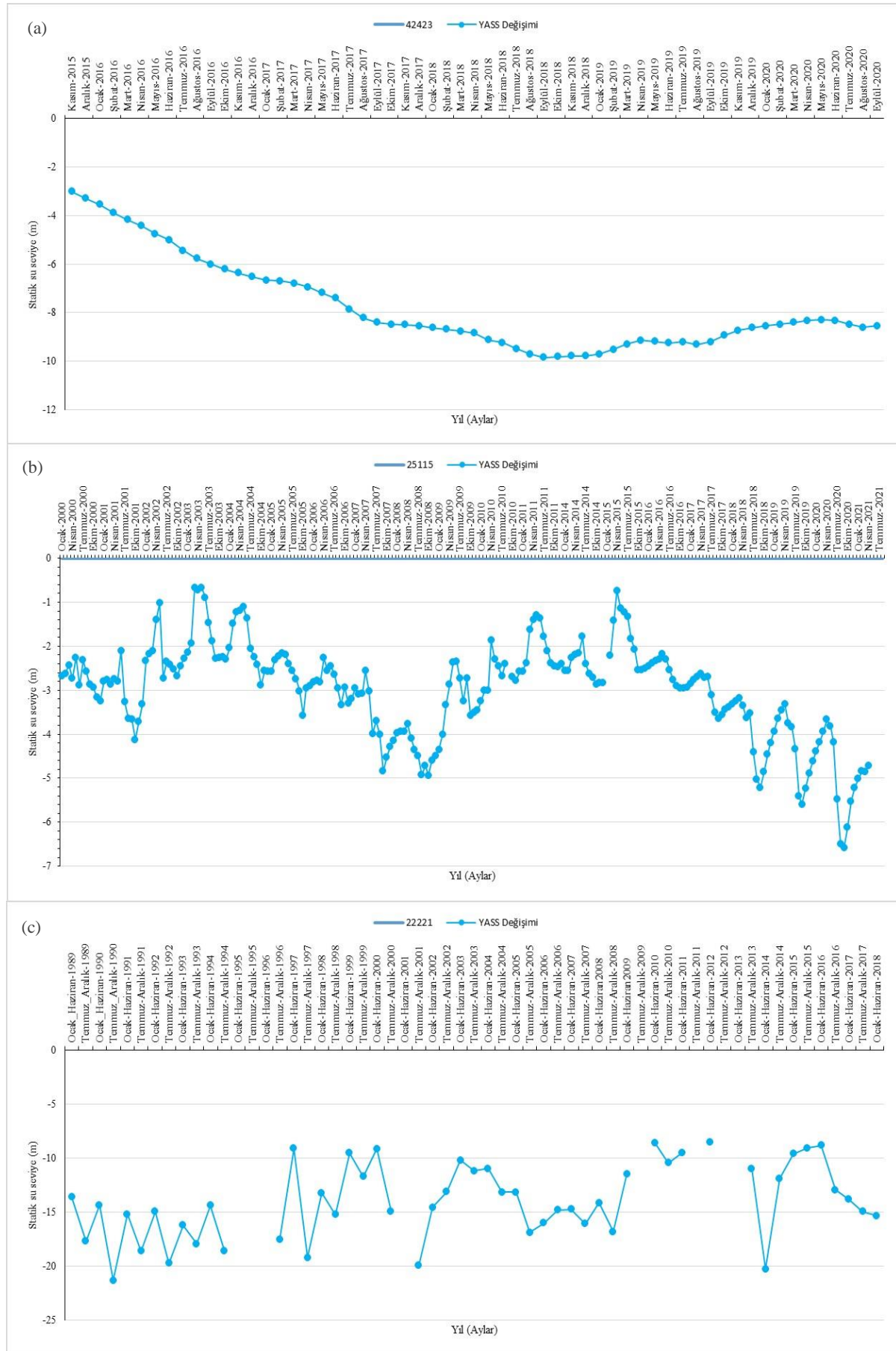
Yıllar	Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2015	Limnigraf	-3,02	-3,29										
	YAS kotu	1173,98	1173,71										
	Açıklama												
2016	Limnigraf	-3,55	-3,89	-4,17	-4,43	-4,75	-5,01	-5,44	-5,78	-6,01	-6,21	-6,37	-6,52
	YAS kotu	1173,45	1173,11	1172,83	1172,57	1172,25	1171,99	1171,56	1171,22	1170,99	1170,79	1170,63	1170,48
	Açıklama	2016 yılı statik su seviyesi 3,02-6,52 m arasında değişmektedir. Bu yılda yeraltısuyu kotu 1170,48-1173,45 m arasındadır. 2016 yılında 3,5 m seviye düşümü gözlenmiştir. Yılın bütün aylarında düzenli bir düşüm tespit edilmiştir.											
2017	Limnigraf	-6,66	-6,7	-6,79	-6,94	-7,18	-7,4	-7,86	-8,22	-8,4	-8,49	-8,5	-8,55
	YAS kotu	1170,34	1170,3	1170,21	1170,06	1169,82	1169,6	1169,14	1168,78	1168,6	1168,51	1168,5	1168,45
	Açıklama	2017 yılı statik su seviyesi 6,66-8,55 m arasında değişmektedir. Bu yılda yeraltısuyu kotu 1170,34-1168,45 m arasındadır. 2017 yılında 1,89 m seviye düşümü gözlenmiştir. Yılın bütün aylarında düzenli bir düşüm tespit edilmiştir.											
2018	Limnigraf	-8,63	-8,69	-8,77	-8,85	-9,13	-9,24	-9,48	-9,7	-9,84	-9,82	-9,79	-9,78
	YAS kotu	1168,37	1168,31	1168,23	1168,15	1167,87	1167,76	1167,52	1167,3	1167,16	1167,18	1167,21	1167,22
	Açıklama	2018 yılı statik su seviyesi 8,63-9,78 m arasında değişmektedir. Bu yılda yeraltısuyu kotu 1168,37-1167,22 m arasındadır. 2018 yılında 1,15 m seviye düşümü gözlenmiştir. Aralık ayı hariç yılın bütün aylarında düzenli bir düşüm tespit edilmiştir. Aralık ayından itibaren YAS seviye yükselimi başlamıştır.											
2019	Limnigraf	-9,71	-9,52	-9,3	-9,14	-9,18	-9,25	-9,21	-9,31	-9,2	-8,93	-8,73	-8,62
	YAS kotu	1167,29	1167,48	1167,7	1167,86	1167,82	1167,75	1167,79	1167,69	1167,8	1168,07	1168,27	1168,38
	Açıklama	2019 yılı statik su seviyesi 9,71-8,62 m arasında değişmektedir. Bu yılda yeraltısuyu kotu 1167,29-1168,38 m arasındadır. 2019 yılında bütün aylarda seviye yükselimi tespit edilmiştir. 2019 yılı yeraltısuyu seviye yükselimi 1,09 m'dir.											
2020	Limnigraf	-8,54	-8,48	-8,41	-8,32	-8,3	-8,33	-8,49	-8,6	-8,55			
	YAS kotu	1168,46	1168,52	1168,59	1168,68	1168,7	1168,67	1168,51	1168,4	1168,45			
	Açıklama	2020 yılında Ocak ve Eylül ayları arasında rasat verileri bulunmaktadır. 2019 yılında başlayan YAS seviye yükselimi 2020 Haziran ayına kadar devam etmiştir. Ocak-Haziran ayları arasında yeraltısuyu seviyesi 0,21 m'dir. Temmuz ayından itibaren 0.22 m'lik düşüm gerçekleşmiştir. 2020 yılı Eylül ayı YAS kotu 1168,45 m'dir.											

**Tablo 6. 25115 Nolu sondaj kuyusu aylık rasat verileri (Monthly observation data of borehole No. 25115)**

Yıl	Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2000	Limnigraf (m)	-2,67	-2,62	-2,43	-2,73	-2,26	-2,89	-2,32	-2,57	-2,86	-2,93	-3,16	-3,24
	YAS kotu (m)	1137,33	1137,38	1137,57	1137,27	1137,74	1137,11	1137,68	1137,43	1137,14	1137,07	1136,84	1136,76
	Açıklama	2000 yılı statik su seviyesi 2,67-3,24 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1137,33-1136,76 m arasındadır. 2000 yılında 0,57 m seviye düşümü gözlenmiştir. Yılın bütün aylarında düzenli bir düşüm tespit edilmiştir. Aralık ayı ile bir sonraki yılın Ocak ayı arasında 0,44 m seviye yükselimi gerçekleşmiştir.											
2001	Limnigraf (m)	-2,8	-2,76	-2,87	-2,75	-2,8	-2,1	-3,26	-3,64	-3,66	-4,12	-3,71	-3,32
	YAS kotu (m)	1137,2	1137,24	1137,13	1137,25	1137,2	1137,9	1136,74	1136,36	1136,34	1135,88	1136,29	1136,68
	Açıklama	2001 yılı statik su seviyesi 2,80-4,12 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1137,20-1135,88 m arasındadır. 2001 yılında Ocak-Ekim ayları arasında 1,32 m seviye düşümü gözlenmiştir. Kasım-Aralık aylarında seviye yükselimi gözlenmiştir. Aralık ayında Eylül ayı seviyesinden 0,34 m daha düşük yeraltı suyu ölçülmüştür. Aralık ayı ile bir sonraki yılın Ocak ayı arasında 0,99 m seviye yükselimi gerçekleşmiştir.											
2002	Limnigraf (m)	-2,33	-2,17	-2,1	-1,4	-1,02	-2,72	-2,34	-2,41	-2,52	-2,68	-2,45	-2,28
	YAS kotu (m)	1137,67	1137,83	1137,9	1138,6	1138,98	1137,28	1137,66	1137,59	1137,48	1137,32	1137,55	1137,72
	Açıklama	2002 yılı statik su seviyesi 1,02-2,68 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1138,98-1137,28 m arasındadır. Nisan-Mayıs aylarında seviye yükselimi gözlenmiştir. En düşük statik seviye Ekim ayında 2,68 m olarak ölçülmüştür. Ekim-Aralık ayları arasında 0,40 m yükselimi gerçekleşmiştir. Aralık ayı ile bir sonraki yılın Ocak ayı arasında 0,14 m seviye yükselimi tespit edilmiştir.											
2003	Limnigraf (m)	-2,14	-1,94	-0,67	-0,73	-0,68	-0,89	-1,47	-1,88	-2,28	-2,27	-2,25	-2,29
	YAS kotu (m)	1137,86	1138,06	1139,33	1139,27	1139,32	1139,11	1138,53	1138,12	1137,72	1137,73	1137,75	1137,71
	Açıklama	2003 yılı statik su seviyesi 0,67-2,29 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1139,33-1137,71 m arasındadır. Şubat ayından Mayıs ayına kadar seviye yükselimi gözlenmiştir. Haziran- Aralık ayları arasında ise sürekli düşüm tespit edilmiştir. Aralık ayı ile bir sonraki yılın Ocak ayı arasında 0,15 m seviye yükselimi gerçekleşmiştir.											
2004	Limnigraf (m)	-2,04	-1,48	-1,22	-1,19	-1,1	-1,37	-2,05	-2,24	-2,41	-2,89	-2,56	-2,57
	YAS kotu (m)	1137,96	1138,52	1138,78	1138,81	1138,9	1138,63	1137,95	1137,76	1137,59	1137,11	1137,44	1137,43
	Açıklama	2004 yılı statik su seviyesi 1,10-2,89 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1138,90-1137,11 m arasındadır. Şubat ayından Mayıs ayına kadar seviye yükselimi gözlenmiştir. Haziran- Aralık ayları arasında ise sürekli düşüm tespit edilmiştir.											
2005	Limnigraf (m)	-2,57	-2,32	-2,23	-2,16	-2,2	-2,4	-2,55	-2,74	-3,02	-3,57	-2,96	-2,9
	YAS kotu (m)	1137,43	1137,68	1137,77	1137,84	1137,8	1137,6	1137,45	1137,26	1136,98	1136,43	1137,04	1137,1
	Açıklama	2005 yılı statik su seviyesi 2,16-3,57 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1137,84-1136,43 m arasındadır. Şubat- Nisan ayları arasında seviye yükselimi gözlenmiştir. Mayıs ayından itibaren başlayan düşüm Kasım ayında sonlanmıştır. Kasım ayı ile bir sonraki yılın Ocak ayı arasında 0,15 m yeraltı suyu yükselimi tespit edilmiştir.											
2006	Limnigraf (m)	-2,81	-2,78	-2,81	-2,27	-2,56	-2,46	-2,65	-2,96	-3,33	-2,93	-3,3	-3,19
	YAS kotu (m)	1137,19	1137,22	1137,19	1137,73	1137,44	1137,54	1137,35	1137,04	1136,67	1137,07	1136,7	1136,81
	Açıklama	2006 yılı statik su seviyesi 2,27-3,33 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1137,73-1136,70 m arasındadır. En düşük seviye Eylül ayında ölçülmüş olup Ekim ayında seviye yükselimi tespit edilmiştir. Ancak, ekimden itibaren YAS düşümü devam etmiştir. Kasım ayı ile bir sonraki yılın Ocak ayı arasında 0,35 m yeraltı suyu yükselimi tespit edilmiştir.											
2007	Limnigraf (m)	-2,95	-3,1	-3,07	-2,56	-3,02	-3,99	-3,7	-4	-4,84	-4,52	-4,28	-4,15
	YAS kotu (m)	1137,05	1136,9	1136,93	1137,44	1136,98	1136,01	1136,3	1136	1135,16	1135,48	1135,72	1135,85
	Açıklama	2007 yılı statik su seviyesi 2,56-4,84 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1137,44-1135,16 m arasındadır. Ocak-Eylül ayları arasında sürekli düşüm gözlenmiştir. Eylül- ile bir sonraki yılın Ocak ayı arasında 0,87 m YAS yükselimi tespit edilmiştir.											
2008	Limnigraf (m)	-3,97	-3,94	-3,93	-3,77	-4,1	-4,35	-4,5	-4,93	-4,71	-4,94	-4,6	-4,5
	YAS kotu (m)	1136,03	1136,06	1136,07	1136,23	1135,9	1135,65	1135,5	1135,07	1135,29	1135,06	1135,4	1135,5
	Açıklama	2008 yılı statik su seviyesi 3,77-4,94 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1136,23-1135,06 m arasındadır. Bu yılda en yüksek seviye Nisan ayında, en düşük seviye Ekim ayında ölçülmüştür.											
2009	Limnigraf (m)	-4,35	-4	-3,33	-2,87	-2,36	-2,35	-2,73	-3,25	-2,73	-3,57	-3,51	-3,46
	YAS kotu (m)	1135,65	1136	1136,67	1137,13	1137,64	1137,65	1137,27	1136,75	1137,27	1136,43	1136,49	1136,54
	Açıklama	2009 yılı statik su seviyesi 2,35-4,35 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1137,65-1135,65 m arasındadır. Ocak-Haziran ayları arasında 2 m yeraltı suyu yükselimi tespit edilmiştir. Temmuz- Aralık ayları arasında 1,11 m seviye düşümü gözlenmiştir.											
2010	Limnigraf (m)	-3,25	-3	-3	-1,87	-2,3	-2,45	-2,68	-2,4		-2,7	-2,78	-2,58
	YAS kotu (m)	1136,75	1137	1137	1138,13	1137,7	1137,55	1137,32	1137,6	1140	1137,3	1137,22	1137,42
	Açıklama	2010 yılı statik su seviyesi 1,87-3,25 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1138,13-1136,75 m arasındadır. Ocak-Nisan ayları arasında 1,38 m yeraltı suyu yükselimi tespit edilmiştir. Mayıs- Aralık ayları arasında 0,71 m seviye düşümü gözlenmiştir.											
2011	Limnigraf (m)	-2,57	-2,38	-1,62	-1,4	-1,3	-1,37	-1,78	-2,1	-2,39	-2,46	-2,47	-2,4
	YAS kotu (m)	1137,43	1137,62	1138,38	1138,6	1138,7	1138,63	1138,22	1137,9	1137,61	1137,54	1137,53	1137,6
	Açıklama	2011 yılı statik su seviyesi 1,30-2,47 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1138,70-1137,53 m arasındadır. Ocak-Mayıs ayları arasında 1,27 m yeraltı suyu yükselimi tespit edilmiştir. Mayıs- Kasım ayları arasında 1,1 m seviye düşümü gözlenmiştir. Aralık ayında bir miktar artış tespit edilmiştir.											
2014	Limnigraf (m)	-2,56	-2,56	-2,26	-2,2	-2,15	-1,78	-2,4	-2,62	-2,71	-2,86	-2,84	-2,83
	YAS kotu (m)	1137,44	1137,44	1137,74	1137,8	1137,85	1138,22	1137,6	1137,38	1137,29	1137,14	1137,16	1137,17
	Açıklama	2012 ve 2013 yılları arasında ölçüm yapılmamıştır. 2014 yılı statik su seviyesi 1,78-2,86 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1138,22-1137,14 m arasındadır. Ocak-Haziran ayları arasında 0,78 m yeraltı suyu yükselimi tespit edilmiştir. Haziran- Ekim ayları arasında 1,08 m seviye düşümü gözlenmiştir.											
2015	Limnigraf (m)	-2,21	-1,41	-0,74	-1,13	-1,22	-1,32	-1,83	-2,08	-2,54	-2,53		-2,5
	YAS kotu (m)	1140	1137,79	1138,59	1139,26	1138,87	1138,78	1138,68	1138,17	1137,92	1137,46	1137,47	1137,5
	Açıklama	2015 yılı statik su seviyesi 0,74-2,54 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1139,26-1137,46 m arasındadır. Ocak-Haziran ayları arasında 1,15 m yeraltı suyu yükselimi tespit edilmiştir. Nisan ayından itibaren başlayan düşüm 1,76 m seviye düşümü gözlenmiştir.											
2016	Limnigraf (m)	-2,46	-2,39	-2,33	-2,3	-2,18	-2,29	-2,54	-2,77	-2,9	-2,95	-2,95	-2,93
	YAS kotu (m)	1137,54	1137,61	1137,67	1137,7	1137,82	1137,71	1137,46	1137,23	1137,1	1137,05	1137,05	1137,07
	Açıklama	2016 yılı statik su seviyesi 2,18-2,65 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1137,82-1137,05 m arasındadır. Ocak-Mayıs ayları arasında yeraltı suyu yükselimi gözlenmiştir. Haziran-Kasım ayları arasında ise seviye düşümü gerçekleşmiştir.											
2017	Limnigraf (m)	-2,85	-2,77	-2,7	-2,62	-2,71	-2,7	-3,11	-3,5	-3,65	-3,55	-3,44	-3,38
	YAS kotu (m)	1137,15	1137,23	1137,3	1137,38	1137,29	1137,3	1136,89	1136,5	1136,35	1136,45	1136,56	1136,62
	Açıklama	2017 yılı statik su seviyesi 2,62-3,65 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1137,38-1136,35 m arasındadır. Ocak-Haziran ayları arasında 0,15 m yeraltı suyu yükselimi tespit edilmiştir. Haziran- Ekim ayları arasında 0,85 m seviye düşümü gözlenmiştir.											
2018	Limnigraf (m)	-3,32	-3,25	-3,18	-3,35	-3,62	-3,53	-4,41	-5,02	-5,21	-4,86	-4,46	-4,19
	YAS kotu (m)	1136,68	1136,75	1136,82	1136,65	1136,38	1136,47	1135,59	1134,98	1134,79	1135,14	1135,54	1135,81
	Açıklama	2018 yılı statik su seviyesi 3,18-5,21 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1136,82-1134,79 m arasındadır. Ocak-Eylül ayları arasında sürekli düşüm gözlenmiştir.											
2019	Limnigraf (m)	-3,93	-3,65	-3,45	-3,31	-3,75	-3,84	-4,34	-5,41	-5,59	-5,23	-4,89	-4,62
	YAS kotu (m)	1136,07	1136,35	1136,55	1136,69	1136,25	1136,16	1135,66	1134,59	1134,41	1134,77	1135,11	1135,38
	Açıklama	2019 yılı statik su seviyesi 3,31-5,59 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1136,69-1134,41 m arasındadır. Ocak-Eylül ayları arasında sürekli düşüm gözlenmiştir.											
2020	Limnigraf (m)	-4,38	-4,18	-3,94	-3,67	-3,81	-4,18	-5,48	-6,49	-6,58	-6,11	-5,52	-5,21
	YAS kotu (m)	1135,62	1135,82	1136,06	1136,33	1136,19	1135,82	1134,52	1133,51	1133,42	1133,89	1134,48	1134,79
	Açıklama	2020 yılı statik su seviyesi 3,67-6,58 m arasında değişmektedir. Bu yılda yas kotu 1136,33-1133,42 m arasındadır. Ocak-Eylül ayları arasında sürekli düşüm gözlenmiştir.											
2021	Limnigraf (m)	-5,01	-4,84	-4,86	-4,72	arızalı	arızalı	arızalı					
	YAS kotu (m)	1134,99	1135,16	1135,14	1135,28								
	Açıklama	2020 yılı Ekim ayından itibaren başlayan yeraltı suyu yükselimi 2021 yılı Nisan ayına kadar devam ettiği görülmektedir. Daha sonraki aylarda ölçüm alınmamıştır.											

**Tablo 7.** 22221 Nolu sondaj kuyusu mevsimlik rasat verileri (Seasonal observation data of borehole No. 22221)

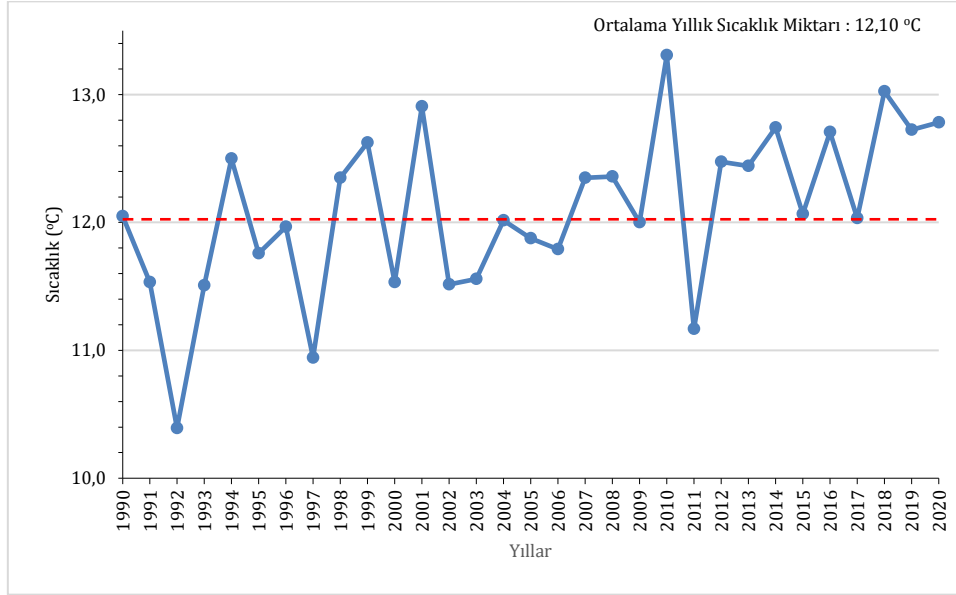
YIL	AY	Limnigraf (m)	YAS kotu (m)	YAS seviye farkı	Açıklama
1989	Ocak-Haziran	-13,62	1174,38	-4,08	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir.
	Temmuz-Aralık	-17,7	1170,3		
1990	Ocak-Haziran	-14,34	1173,66	-6,96	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Aralık ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-21,30	1166,7		
1991	Ocak-Haziran	-15,20	1172,8	-3,4	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Aralık ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-18,60	1169,4		
1992	Ocak-Haziran	-14,95	1173,05	-4,8	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Aralık ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-19,75	1168,25		
1993	Ocak-Haziran	-16,20	1171,8	-1,75	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Aralık ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-17,95	1170,05		
1994	Ocak-Haziran	-14,40	1173,6	-4,2	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Aralık ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-18,60	1169,4		
1996	Ocak-Haziran	-	-	-10,1	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Aralık ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-17,55	1170,45		
1997	Ocak-Haziran	-9,12	1178,88	-1,98	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Aralık ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-19,22	1168,78		
1998	Ocak-Haziran	-13,24	1174,76	-2,15	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Aralık ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-15,22	1172,78		
1999	Ocak-Haziran	-9,55	1178,45	-5,74	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Aralık ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-11,70	1176,3		
2000	Ocak-Haziran	-9,16	1178,84	-1,44	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviyesi yükselmiştir. Yükselim bir önceki yıldan itibaren devam etmektedir.
	Temmuz-Aralık	-14,90	1173,1		
2001	Ocak-Haziran	-	-	-1,00	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Aralık ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-19,90	1168,1		
2002	Ocak-Haziran	-14,57	1173,43	-3,73	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir.
	Temmuz-Aralık	-13,13	1174,87		
2003	Ocak-Haziran	-10,20	1177,8	1,19	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviyesi yükselmiştir. Yükselim bir önceki yıldan itibaren devam etmektedir.
	Temmuz-Aralık	-11,20	1176,8		
2004	Ocak-Haziran	-10,97	1177,03	-1,32	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Aralık ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-13,17	1174,83		
2005	Ocak-Haziran	-13,17	1174,83	-2,67	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Aralık ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-16,90	1171,1		
2006	Ocak-Haziran	-15,99	1172,01	-1,84	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Ocak ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-14,80	1173,2		
2007	Ocak-Haziran	-14,74	1173,26	-1,15	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Aralık ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-16,06	1171,94		
2008	Ocak-Haziran	-14,13	1173,87	-0,49	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Düşüm bir önceki yıldan itibaren devam etmiştir.
	Temmuz-Aralık	-16,80	1171,2		
2009	Ocak-Haziran	-11,47	1176,53	1,35	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviyesi yükselmiştir. Aralık ayında bir önceki yılın Aralık ayı seviyesine ulaşılmıştır.
	Temmuz-Aralık	-	-		
2010	Ocak-Haziran	-8,60	1179,4	8,36	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviyesi yükselmiştir.
	Temmuz-Aralık	-10,44	1177,56		
2011	Ocak-Haziran	-9,50	1178,5	0,5	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviyesi bir miktar yükselmiştir. Yükselim bir önceki yıldan itibaren devam etmektedir.
	Temmuz-Aralık	-	-		
2012	Ocak-Haziran	-8,56	1179,44	-4,12	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Aralık ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-	-		
2013	Ocak-Haziran	-	-	-1,15	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir.
	Temmuz-Aralık	-11,00	1177		
2014	Ocak-Haziran	-20,26	1167,74	1,35	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviyesi yükselmiştir.
	Temmuz-Aralık	-11,90	1176,1		
2015	Ocak-Haziran	-9,59	1178,41	-4,12	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir. Ancak, bir önceki yılın Aralık ayına göre Ocak ayında seviye yükselimi söz konusudur.
	Temmuz-Aralık	-9,09	1178,91		
2016	Ocak-Haziran	-8,82	1179,18	-1,15	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir.
	Temmuz-Aralık	-12,94	1175,06		
2017	Ocak-Haziran	-13,81	1174,19	-0,49	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviye düşümü gerçekleşmiştir.
	Temmuz-Aralık	-14,96	1173,04		
2018	Ocak-Haziran	-15,32	1172,68	1,35	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviyesi yükselmiştir.
	Temmuz-Aralık	-15,81	1172,19		
2019	Ocak-Haziran	-14,51	1173,49	3,92	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviyesi yükselmiştir.
	Temmuz-Aralık	-13,16	1174,84		
2020	Ocak-Haziran	-17,47	1170,53	-13,55	Ocak ve Aralık ayları arasında YAS seviyesi yükselmiştir.
	Temmuz-Aralık	-13,55	1174,45		



**Şekil 2.** Sondaj kuyularına ait yeraltısuyu seviye değişim grafikleri a)42423 Nolu sondaj kuyusu, b)25115 Nolu sondaj kuyusu c)22221 Nolu sondaj kuyusu (Graphs of groundwater level change in boreholes a)No. 42423, b)No. 21115, c)No. 22221)

## 4.2. Sıcaklık (Temperature)

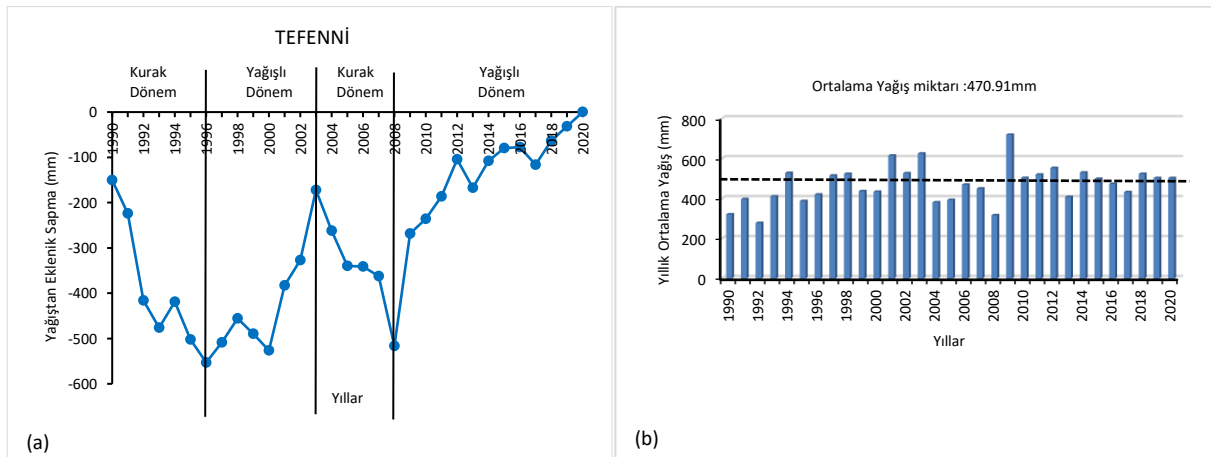
Çalışma alanı içerisinde bulunan Yeşilova (Burdur) Devlet Meteoroloji İstasyonu'nda (DMİ) 2012-2020 yılları arasında aylık ortalama sıcaklık değerleri ölçülmüştür. 8 yıllık süreçte en düşük sıcaklık (-1,80 °C) Ocak ayında yaşanırken, en yüksek sıcaklık (25,30 °C) Temmuz ayında gerçekleşmiş ve ortalama sıcaklık 12,77 °C'dir. Çalışma alanı ve civarının sıcaklığını temsil eden Tefenni (Burdur) Devlet Meteoroloji İstasyonu'nda (DMİ) ise 31 yıllık (1990-2020) aylık ortalama sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ölçümlere göre aylık ortalama sıcaklık 12,10 °C olarak belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Tefenni DMİ'ye ait ortalama yıllık sıcaklık değişim grafiği  
(Average annual temperature change graph of tefenni SMS)

## 4.3. Yağış (Precipitation)

Çalışma alanında yağışın dönemsel değişikliklerini belirleyebilmek için Tefenni (Burdur) Devlet Meteoroloji İstasyonu'nda (DMİ)'de 1990-2020 yılları arasında ölçülen yağış değerleri ile eklenik sapma grafikleri hazırlanmıştır. Tefenni DMİ'ye ait eklenik sapma grafiğinde, 1990-1996 yılları arası kurak dönem, 1996-2003 yılları arası yağışlı dönem, 2003-2008 yılları arası yağışlı dönem, 2003-2008 yılları arası kurak dönem ve 2008-2020 yılları arası yağışlı dönem temsil etmektedir (Şekil 4a). Çalışma alanındaki yıllık ortalama yağış miktarı ise 470,91 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 4b).



Şekil 4. Tefenni DMİ'ye ait a) Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma ve b) Yağış dağılım grafikleri  
(a) Additive deviation from average annual precipitation and b) Precipitation distribution graphic of Tefenni SMS)

## 4.4. Buharlaşma (Evaporation)

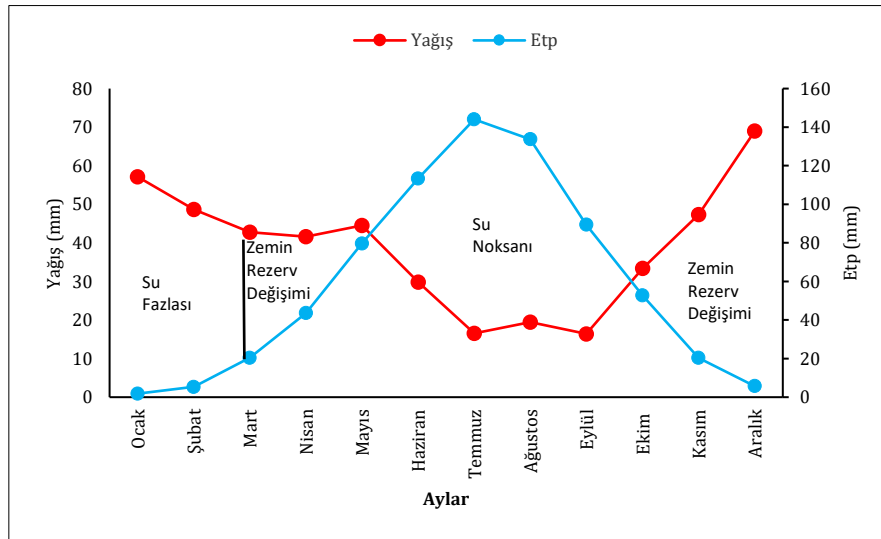
Çalışma alanında buharlaşma miktarını belirleyebilmek için Thornthwaite (Thornthwaite ve Mather, 1957)



yöntemi uygulanmıştır. Yöntemde Tefenni DMİ'ye ait 1990-2020 yılları arası gerçekleşen yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır. Elde edilen veriler ile yapılan denestirmeli su bütçesine göre çalışma alanındaki toplam ortalama yıllık yağış miktarı (P) 466,61 mm, yıllık toplam sıcaklık 145,16 °C, gerçek buharlaşma (Etr) 355,53 mm ve potansiyel buharlaşma (Etp) 710,27 mm olarak hesaplanmıştır (Tablo 8). Etp ve Etr değerleri karşılaştırılmak için yağış-Etp değişim grafiği hazırlanmıştır (Şekil 5). Grafiğe göre çalışma alanında Ocak, Şubat ve Mart aylarında zemin rezervi 100 iken Etp değerleri Etr değerlerine eşittir ve gerçekleşen buharlaşmalardan sonra geriye kalan miktar su fazlası olarak kaydedilmiştir. Mart ayından Mayıs ayı sonuna kadar yağış miktarı Etp'den düşük olup zemin rezerv değişimi gözlenmektedir. Haziran ayından Ekim ayının sonuna kadar devam eden düşük yağış ve yüksek Etp miktarları zemin rezervinin tükenmesine sebep olmuş ve su noksanı ortaya çıkmıştır. Kasım ayında yağış miktarının Etp miktarından fazla olmasıyla beraber zemin rezervi dolmaya başlamış ve Aralık ayında 63,20 mm seviyesine ulaşmıştır.

**Tablo 8.** Tefenni DMİ'ye ait Thornthwaite yöntemine göre denestirmeli su bütçesi  
(Compensated water budget according to Thornthwaite method of Tefenni DMİ)

TEFENNİ (1990-2020)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık sıcaklık ( t )	1,18	2,66	6,28	10,55	15,34	19,86	23,49	23,34	18,99	13,37	7,23	2,86	145,16
Aylık endeks ( i )	0,11	0,38	1,41	3,10	5,46	8,07	10,41	10,31	7,54	4,44	1,75	0,43	53,41
Etp (mm)	1,83	5,31	20,47	43,62	79,68	113,35	144,04	133,69	89,37	52,76	20,37	5,77	710,27
Yağış (mm)	57,16	48,63	42,76	41,64	44,51	29,84	16,53	19,43	16,42	33,40	47,31	68,97	466,61
Etr	1,83	5,31	20,47	43,62	79,68	92,69	16,53	19,43	16,42	33,40	20,37	5,77	355,53
Zemin Rezervi	100,00	100,00	100,00	98,02	62,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,94	63,20	551,02
Zemin Rezerv Değişimi	-	-	-	1,98	35,17	-62,85	0,00	0,00	0,00	0,00	26,94	90,14	-
Su Noksanı	-	-	-	-	-	20,66	127,51	114,26	72,95	19,35	-	63,20	417,94
Su Fazlası	55,33	43,32	22,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120,94
Enlem Düzeltme Katsayısı	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83	-



**Şekil 5.** Tefenni DMİ'ye ait yağış-etp değişim grafiği (Precipitation-Etp change graph of Tefenni SMS)

#### 4.5. Standartlaştırılmış Yağış İndeksinin Belirlenmesi (Determination of Standardized Precipitation Index)

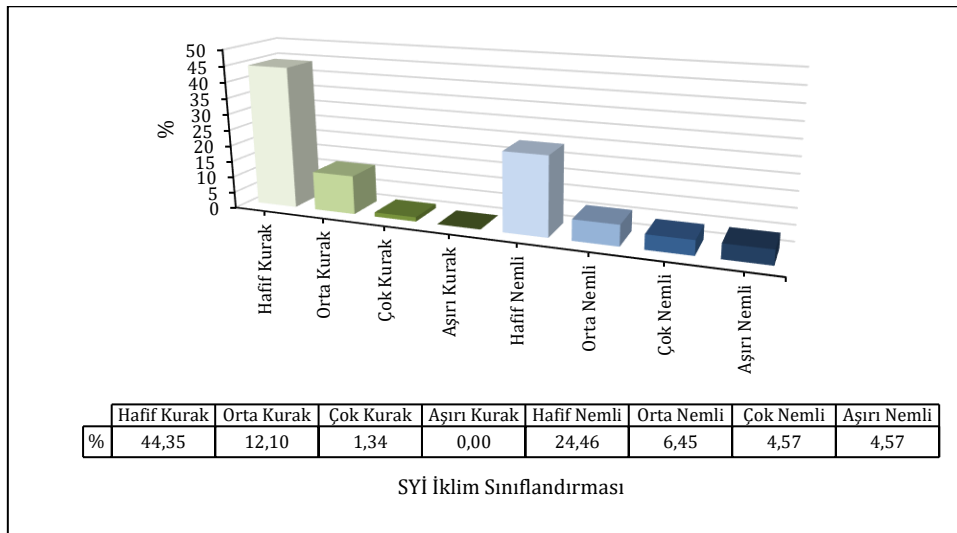
Bir bölgede SYİ yöntemine göre kuraklık-nemlilik sınıflandırması yapabilmek için en az 30 yıllık iklim verisinin olması gerekmektedir. Çalışma alanını temsil eden Yeşilova (Burdur) DMİ'nde 2012 yılından bu yana iklimsel ölçüm yapılmaktadır. Bu nedenle bu istasyonda ölçülen veriler SYİ yöntemi için yetersiz olduğundan çalışma alanına en yakın istasyon olarak 17892 nolu Tefenni (Burdur) DMİ'ye ait iklim verileri kullanılmıştır. Tefenni (Burdur) DMİ'ye ait 31 yıllık (1990-2020) yağış verileri ile bölgedeki kurak ve yağışlı dönemlerin şiddeti, büyüklüğü ve dağılımı belirlenmiştir. Yağış verileri kullanılarak Mc. Mckee (1993) tarafından geliştirilen eşitlik (1) yardımıyla aylık ve yıllık olarak SYİ değerleri hesaplanmıştır. SYİ değerlerine göre, 1990-2020 yılları arasında geçen 31 yıllık süre içerisinde, 372 ay süresince yağış takibi yapılmıştır. Toplam olarak 215 ay negatif SYİ değerleri, 145 ay pozitif SYİ değerleri elde edilmiştir. 31 yıl süresinde %44,35 (165 ay) oranında "Hafif Kurak", %12,10 (45 ay) oranında "Orta Kurak" ve % 1,34 (5 ay) oranında "Çok Kurak" dönemler belirlenmiştir. "Aşırı Kurak" ay hiç gözlenmemiştir. Ayrıca, %24,46 (91 ay) oranında "Hafif Nemli", %6,45 (24 ay) oranında "Orta Nemli", % 4,57 (17 ay) oranında "Çok Nemli" ve %4,57 (17 ay) oranında "Aşırı Nemli" dönemler belirlenmiştir. Bu analiz çalışma alanında % 57,80 oranında (215 ay) "Kuraklık" yaşanırken, %40,05 oranında (145 ay) "Nemlilik" yaşandığını göstermektedir. Şubat (1999, 2009), Mart (1995, 2015), Nisan (2003), Mayıs (1993), Haziran (2018, 2019), Temmuz (1998), Ağustos (1997), Eylül (2009, 2014), Ekim (2006, 2010), Kasım (2001, 2007) ve Aralık (2001) süresince "Aşırı Nemli"lik yaşanmıştır. Ocak (1990, 1992, 2008), Şubat (2017) ve Nisan ayında (2018) ise "Çok

Kurak” dönem gözlenmiştir (Tablo 9). En nemli ay 2001 yılının Aralık ayında (SYİ=3,57) yaşanırken, en kurak ay 1992 yılı Ocak ayında (SYİ=-1,64) yaşanmıştır (Şekil 6). 31 yıl süresince ise Şubat, Mayıs ve Eylül ayları (20’şer ay) en kurak aylar ve Ocak ayı (13 ay) en nemli ay olarak belirlenmiştir (Tablo 9). Uzun yıllar SYİ değerlerinin zamansal dağılımını (12 aylık) görebilmek için SYİ-zaman grafiği hazırlanmıştır (Şekil 7).

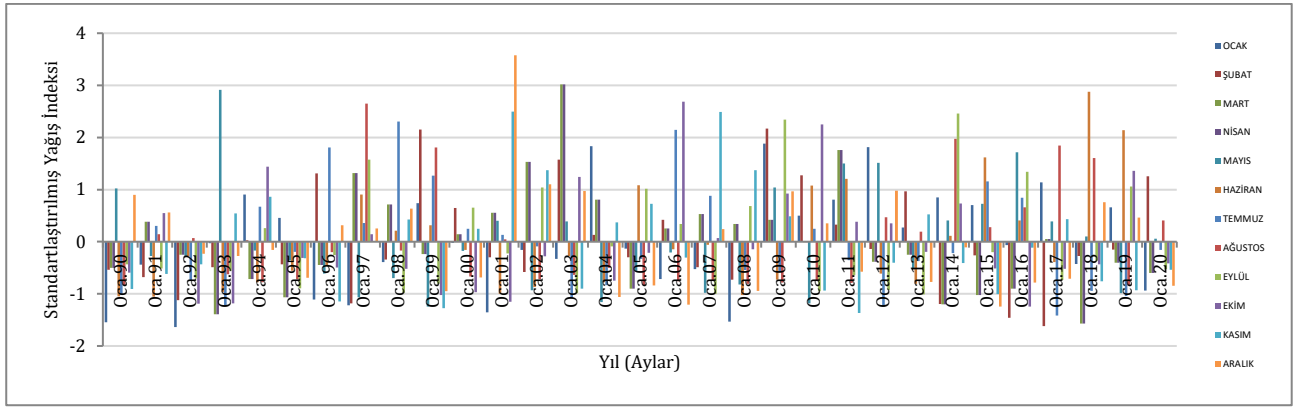
**Tablo 9.** Tefenni DMI’ye ait SYİ değerleri (SPI values of Tefenni SMS)

YIL	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
1990	-1,54	-0,54	-1,23	-0,50	1,02	-1,05	-1,02	-0,83	-0,43	-0,59	-0,90	0,90
1991	-0,44	-0,68	-1,14	0,39	-0,27	-1,06	0,31	0,14	-0,51	0,55	-0,62	0,56
1992	-1,64	-1,12	0,01	-0,25	-0,27	-0,28	-0,75	0,07	-0,70	-1,19	-0,43	-0,23
1993	-0,03	-0,49	-0,03	-1,39	2,91	-0,96	-1,22	-0,62	-0,56	-1,19	0,54	-0,27
1994	0,91	0,03	0,84	-0,72	-0,17	-0,77	0,67	-0,78	0,26	1,44	0,86	-0,16
1995	0,46	-0,43	2,21	-1,07	-0,36	-0,56	-0,19	-0,72	-0,89	-0,31	-0,32	-0,69
1996	-1,11	1,31	0,54	-0,45	-0,61	-0,45	1,81	-0,20	-0,25	-0,50	-1,15	0,32
1997	-1,22	-1,18	-0,28	1,32	-1,06	0,90	0,36	2,65	1,57	0,14	0,00	0,25
1998	-0,39	-0,34	1,34	0,72	-0,69	0,21	2,30	-0,17	-0,98	-0,52	0,43	0,64
1999	0,74	2,15	-0,26	-0,24	-1,24	0,32	1,27	1,81	-0,81	-1,02	-1,28	-0,95
2000	-0,02	0,65	0,49	0,15	-0,17	-0,16	0,25	-0,67	0,66	-0,97	0,25	-0,69
2001	-1,35	-0,30	-1,43	0,56	0,40	-1,00	0,13	0,05	-0,22	-1,15	2,50	3,57
2002	-0,16	-0,58	0,06	1,53	-0,93	-0,87	-0,09	-0,72	1,04	-0,28	1,37	1,10
2003	-0,33	1,58	1,09	3,02	0,39	-0,27	-1,07	-0,64	-0,98	1,25	-0,90	0,98
2004	1,83	0,13	-0,95	0,81	-1,16	-0,78	-0,83	-0,50	-0,09	-0,75	0,37	-1,06
2005	-0,13	-0,30	-0,57	-0,90	-0,56	1,08	-0,33	-0,83	1,01	-0,21	0,72	-0,84
2006	-0,72	0,42	0,42	0,26	-0,21	-0,14	2,15	-0,76	0,34	2,69	-0,31	-1,21
2007	-0,52	-0,49	-1,31	0,53	-0,98	-0,06	0,88	-0,75	-1,00	0,07	2,49	0,24
2008	-1,53	-0,73	-0,13	0,34	-0,82	-1,02	-0,54	-0,81	0,69	-0,14	1,37	-0,94
2009	1,88	2,17	-0,20	0,42	1,04	-0,73	-0,58	-0,78	2,34	0,92	0,49	0,97
2010	0,50	1,27	-1,20	-0,01	-1,18	1,08	0,25	-0,74	-0,95	2,25	-0,94	0,35
2011	0,81	0,33	-0,37	1,76	1,50	1,21	-0,35	-0,79	-0,64	0,38	-1,36	-0,57
2012	1,81	-0,14	-0,89	-0,39	1,52	-0,61	-1,25	0,47	-0,92	0,35	-0,40	0,98
2013	0,27	0,97	-0,15	-0,25	-0,52	-0,81	-0,37	0,19	-1,01	-0,20	0,53	-0,77
2014	0,85	-1,19	-0,03	-1,20	0,41	0,11	-0,22	1,97	2,46	0,74	-0,41	-0,11
2015	0,70	-0,26	2,61	-1,02	0,73	1,62	1,15	0,28	-0,20	-0,51	-1,01	-1,24
2016	-0,06	-1,46	1,62	-0,90	1,72	0,41	0,85	0,66	1,34	-1,25	-0,11	-0,78
2017	1,14	-1,62	-0,09	0,05	0,39	-0,39	-1,42	1,85	-0,73	-0,52	0,43	-0,71
2018	-0,42	-0,28	0,31	-1,57	0,10	2,88	-0,95	1,60	-0,36	-0,43	-0,76	0,76
2019	0,66	-0,15	-0,77	-0,40	-0,98	2,14	-1,04	-0,84	1,06	1,36	-0,93	0,46
2020	-0,94	1,26	-0,49	-0,60	0,06	0,00	-0,16	0,41	-0,52	-0,42	-0,54	-0,84

SYİ Değerlerine Göre İklim Sınıflandırması (McKee vd., (1993); McKee vd., (1995); Vermes (1998); Tsakiris & Vangelis (2004))				
	$-1,0 < SYİ \leq 0$	Hafif Kurak	$0 < SYİ \leq 1,0$	Hafif nemli
	$-1,5 < SYİ \leq -1,0$	Orta Kurak	$1,0 < SYİ \leq 1,5$	Orta nemli
	$-2,0 < SYİ \leq -1,5$	Çok Kurak	$1,5 < SYİ \leq 2,0$	Çok nemli
	$-2,0 \leq -SYİ$	Aşırı Kurak	$2,0 \geq SYİ$	Aşırı nemli



**Şekil 6.** Tefenni DMI’ye ait SYİ değerlerinin % dağılımı (% Distribution of Tefenni SMS SPI values)



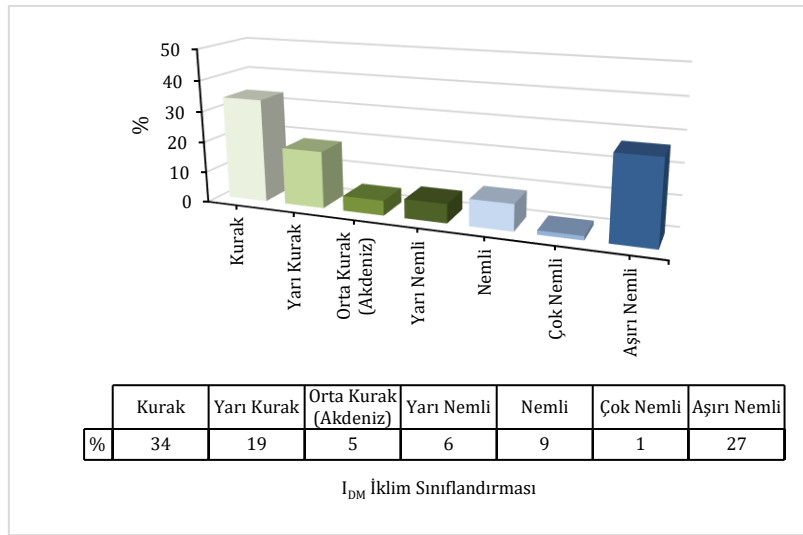
Şekil 7. Tefenni DMİ'ye ait 12 aylık SYİ-zaman grafiği (12 monthly SPI-Time graph of Tefenni SMS)

#### 4.6. De Martonne Kuraklık İndeksinin Belirlenmesi (Determination of De Martonne Aridity Index)

De Martonne kuraklık indeksi yöntemi ile çalışma alanındaki iklimin kategorisini belirleyebilmek için Tefenni (Burdur) DMİ'ye ait 31 yıllık (1990-2020) yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. De Martonne (1925) tarafından geliştirilen eşitlik (2) ve (3) yardımıyla aylık ( $I_{DMA}$ ) ve yıllık ( $I_{DMY}$ ) kuraklık indeks değerleri hesaplanmıştır. 31 yıllık (372 ay) süreçte çalışma alanında %35 (125 ay) "Kurak", %19 (69 ay) "Yarı Kurak", %5 (18 ay) "Orta Kurak (Akdeniz)", %27 (100 ay) "Aşırı Nemli", %1 (5 ay) "Çok Nemli", %9 (32 ay) "Nemli" ve %6 (23 ay) "Yarı Nemli" dönemler belirlenmiştir (Tablo 10, Şekil 8). Dolayısıyla, çalışma alanında 212 ay "Kuraklık" ve 160 ay "Nemlilik" gözlenmiştir. Kurak aylar "Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül" aylarında yaşanırken, nemli aylar "Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim ve Kasım" aylarında yaşanmıştır. En kurak aylar en düşük  $I_{ADM}$  değeri (0,00) ile 2017 yılı Temmuz, 2013 Eylül ve 2015 yılı Aralık aylarında, en nemli ay ise en yüksek  $I_{ADM}$  değeri (265,19) ile 2001 yılında Aralık ayında gözlenmiştir (Tablo 10).

Tablo 10. Tefenni DMİ'ye ait  $I_{ADM}$  değerleri ( $I_{ADM}$  values of Tefenni SMS)

YIL	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
1990	42,19	32,43	6,49	17,04	37,96	0,28	1,61	0,15	3,96	8,95	12,13	101,83
1991	32,38	29,84	7,59	30,06	18,72	0,20	7,44	8,30	3,39	24,77	20,12	123,84
1992	23,85	23,85	38,60	21,15	18,20	9,01	3,05	7,72	2,19	0,78	25,12	74,11
1993	50,81	43,33	33,52	4,38	68,55	1,26	0,84	1,84	2,96	0,85	48,53	45,46
1994	42,65	46,31	48,97	12,97	18,18	3,36	8,90	0,58	7,79	34,74	57,52	65,56
1995	33,05	29,22	79,31	9,84	15,57	5,46	5,46	1,05	0,78	14,01	33,00	28,15
1996	111,45	75,37	49,20	20,35	11,51	6,89	13,23	5,35	5,33	11,43	7,32	65,28
1997	12,94	14,92	33,00	56,48	5,40	22,60	7,62	31,89	18,95	19,84	32,43	74,98
1998	39,59	34,31	73,67	32,29	11,28	14,47	15,27	5,36	0,21	9,76	38,95	96,28
1999	105,19	108,58	26,94	20,65	2,92	15,76	11,35	22,11	1,37	3,02	4,96	12,87
2000	106,89	73,85	47,32	25,23	19,20	10,41	6,59	1,52	11,33	4,15	35,55	29,66
2001	35,91	37,02	2,07	32,21	27,26	0,81	6,22	7,30	5,10	1,38	92,39	265,19
2002	42,95	25,37	30,55	48,49	7,70	2,27	5,60	1,15	14,80	13,51	61,57	159,18
2003	78,16	135,86	65,82	74,18	25,69	8,91	1,47	1,77	0,17	32,75	13,24	124,13
2004	59,55	50,90	11,79	36,35	4,52	3,30	2,47	2,90	6,21	6,56	42,07	9,23
2005	38,30	40,58	19,27	11,30	12,94	24,66	4,46	0,14	14,10	16,04	54,90	20,30
2006	74,06	59,61	39,35	26,99	18,26	10,46	15,41	0,67	9,20	54,78	29,57	1,97
2007	35,48	32,41	5,20	35,04	6,63	10,92	9,27	0,77	0,08	17,90	87,86	82,40
2008	35,48	30,22	25,16	27,27	9,48	0,53	3,60	0,34	11,46	16,22	58,83	15,09
2009	108,10	106,39	30,37	30,59	37,63	3,76	3,56	0,55	24,13	28,76	44,71	97,59
2010	76,62	68,50	6,56	23,66	3,92	25,27	6,97	0,80	0,40	50,95	10,54	68,59
2011	60,94	55,18	25,07	53,56	47,68	26,98	4,42	0,50	2,44	24,91	3,97	35,15
2012	58,81	51,46	15,02	17,41	44,38	4,76	0,67	11,15	0,55	20,88	21,98	105,60
2013	76,56	63,89	26,76	19,96	12,43	2,86	4,46	8,55	0,00	16,11	40,94	28,62
2014	11,49	10,58	29,47	6,81	27,25	13,56	4,93	22,80	24,35	28,14	25,16	47,85
2015	41,69	39,05	84,30	10,48	30,50	32,92	10,94	9,47	5,11	9,82	10,25	0,00
2016	6,05	3,95	60,56	9,68	47,75	15,95	9,26	12,25	16,37	0,10	30,56	31,75
2017	1,19	0,74	28,38	25,24	27,13	7,68	0,00	22,78	1,75	10,45	45,04	24,41
2018	38,57	30,96	32,00	1,61	21,80	45,01	1,98	20,71	4,27	11,33	15,48	105,90
2019	44,57	37,89	15,14	19,57	6,56	36,12	1,63	0,11	13,81	33,68	11,14	81,76
2020	95,22	78,50	21,00	15,23	21,45	12,42	5,05	10,31	2,96	10,37	21,79	19,08
I <sub>DM</sub> Değerlerine Göre İklim Sınıflandırması (McKee vd., (1993); McKee vd., (1995); Vermes (1998); Tsakiris & Vangelis (2004))												
	20 ≤ I <sub>DM</sub> < 24		Orta kurak (Akdeniz)				24 ≤ I <sub>DM</sub> < 28		Yarı nemli			
	10 ≤ I <sub>DM</sub> < 20		Yarı kurak				28 ≤ I <sub>DM</sub> < 35		Nemli			
	I <sub>DM</sub> < 10		Kurak				35 ≤ I <sub>DM</sub> ≤ 55		Çok nemli			
							I <sub>DM</sub> > 55		Aşırı nemli			



Şekil 8. Tefenni DMİ'ye ait I<sub>DM</sub> değerlerinin % dağılımı (% distribution of Tefenni SMS I<sub>DM</sub> values)

#### 4.7. Erinç İklim Sınıflandırması ile Kuraklığın Belirlenmesi (Determination of Aridity by Erinç Climate Classification)

Erinç yağış etkinlik indeksi için Tefenni (Burdur) DMİ'ye ait 31 yıllık (1990-2020) yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama maksimum sıcaklık verileri kullanılmıştır. Elde edilen I<sub>E</sub> değerlerine göre çalışma alanında 31 yıl süresince "Kuraklık" hâkimdir. 1992 yılında en düşük yağış etkinlik indeksi değeri (7,90) ile "Tam Kurak" dönem gözlenmiştir. 2001 ve 2003 yıllarında ise "Yarı Kurak" dönem gözlenmiştir. Geriye kalan 28 yıl süresince "Kurak" dönem belirlenmiş ancak hiç "Nemlilik" gözlenmemiştir.

#### 4.8. Çalışma Alanındaki Yeraltısuyuna İklimin Etkisi (Effect of Climate on Groundwater in the Study Area)

Çalışma alanında yeraltısuyuna iklimin etkisini belirlemek için; bölgedeki rasat kuyularında ölçülen periyodik (kurak-yağışlı dönem) yeraltısuyu statik seviyeleri, eklenik sapma grafiklerinden elde edilen kurak ve yağışlı dönem verileri ile SYİ, De Martonne ve Erinç iklim sınıflandırma yöntemleri ile belirlenen veriler (Tablo 11) karşılaştırılmış ve bölgenin iklim kategorisi tespit edilmiştir.

Kayadibi (42423), Karaatlı (25115) ve Yeşilova (22221) yerleşim merkezlerindeki sondaj kuyularında uzun yıllar ölçülen statik seviye değerlerine göre, 42423 nolu kuyuda 4 yıllık süre içerisinde yaklaşık olarak 3m, 25115 nolu kuyuda 21 yıllık sürede yaklaşık olarak 5,5m ve 22221 nolu kuyuda ise 31 yıllık sürede yaklaşık olarak 4m statik seviye düşümleri gözlenmiştir. Ölçümlerde yağışlı (Nisan) ve kurak (Eylül) dönemler dikkate alındığında, yağışlı dönem seviye değerlerinin kurak dönem ölçümlerine göre yüksek olduğu gözlenmiştir. Söz konusu seviye yükselişi yeraltısuyunun yağıştan beslendiğinin bir göstergesidir. Kurak dönemde sondaj kuyularından yeraltısuyu çekiminin artması ve yağıştan beslenme oranının düşmesi yeraltısuyu seviye düşümlerini artırmaktadır.

Ayrıca, söz konusu dönemlerde yağışın etkisini belirlemek için hazırlanan eklenik sapma grafiklerine göre 1990-1996 ve 2003-2008 yılları arasında kurak dönemlerde sondaj kuyularında statik seviyelerin düştüğü, 1996-2003 ve 2008-2020 yılları arasında yaşanan yağışlı dönemlerde kuyulardaki statik seviyelerin kurak dönemlere göre arttığı belirlenmiştir. Söz konusu eğilim değişiminin yıllara bağlı olarak eklenik yağışlara göre etkilendiği gözlenmiştir. Eklenik sapmaya göre belirlenen 1990-1993 ve 2003-2008 yılları arasındaki gözlenen kurak dönemler SYİ, De Martonne ve Erinç iklim sınıflandırmalarındaki kurak yıllar ile uyumluluk göstermektedir (Tablo 11).

Ayrıca, kurak dönemlerdeki seviye düşümlerinin iklim etkisiyle değişimini belirlemek için uygulanan SYİ yönteminde de uzun yıllar bazında kurak aylar "Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos" olarak De Martonne yöntemi ile Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları olarak belirlenmiştir. Söz konusu kurak aylarda sondaj kuyularındaki yeraltısuyu seviyelerinde yeraltısuyu çekimi ve sıcaklığa bağlı olarak düşümler gözlenmiştir. Bu durum iklimin yeraltısuyu seviye değişimlerinde ne kadar etkili olduğunun göstergesidir.

**Tablo 11.** Tefenni DMI'ye ait yıllık SYİ, I<sub>YDM</sub> ve I<sub>E</sub> değerleri ve iklim kategorileri  
(Climate categories and SPI, I<sub>YDM</sub>, I<sub>E</sub> values of Tefenni SMS)

Yıllar	Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ)	İklim Kategorisi	De Martonne (I <sub>YDM</sub> )	İklim Kategorisi	Erinç (I <sub>E</sub> )	İklim Kategorisi	Eklenik Sapma	Yeraltısuyu Seviyesi
1990	-1,51	Orta Kurak	14,56	Yarı Kurak	8,92	Kurak	Kurak Dönem	Azalış
1991	-0,70	Hafif Kurak	18,44	Yarı Kurak	11,35	Kurak		
1992	-2,02	Hafif Kurak	13,41	Yarı Kurak	7,90	Tam Kurak		
1993	-0,69	Hafif Kurak	18,52	Yarı Kurak	11,32	Kurak		
1994	0,69	Hafif Nemli	23,49	Orta Kurak (Akdeniz)	14,06	Kurak		
1995	-0,81	Orta Nemli	17,81	Yarı Kurak	11,14	Kurak		
1996	-0,46	Hafif Kurak	19,13	Yarı Kurak	11,06	Kurak		
1997	0,33	Hafif Kurak	23,61	Orta Kurak (Akdeniz)	14,13	Kurak		
1998	0,47	Hafif Nemli	22,73	Orta Kurak (Akdeniz)	13,88	Kurak	Yağışlı Dönem	Artış
1999	-0,28	Hafif Nemli	19,32	Yarı Kurak	12,14	Kurak		
2000	-0,52	Hafif Kurak	19,26	Yarı Kurak	10,64	Kurak		
2001	1,47	Hafif Nemli	26,28	Yarı Nemli	16,05	Yarı Kurak		
2002	0,67	Hafif Nemli	24,47	Yarı Nemli	14,08	Kurak		
2003	1,72	Hafif Nemli	29,01	Nemli	17,18	Yarı Kurak		
2004	-0,87	Hafif Kurak	17,32	Yarı Kurak	10,89	Kurak		
2005	-0,75	Hafif Kurak	17,97	Yarı Kurak	10,62	Kurak	Kurak Dönem	Azalış
2006	0,08	Hafif Kurak	21,62	Orta Kurak (Akdeniz)	12,20	Kurak		
2007	-0,14	Hafif Kurak	20,13	Orta Kurak (Akdeniz)	11,81	Kurak		
2008	-1,56	Çok Kurak	14,16	Yarı Kurak	8,04	Kurak		
2009	2,70	Aşırı Nemli	32,63	Nemli	20,51	Kurak	Yağışlı Dönem	Artış
2010	0,42	Orta Nemli	21,60	Orta Kurak (Akdeniz)	13,21	Kurak		
2011	0,47	Hafif Nemli	23,98	Orta Kurak (Akdeniz)	13,57	Kurak		
2012	0,95	Orta Nemli	24,61	Yarı Nemli	13,73	Kurak		
2013	-0,59	Hafif Kurak	18,19	Yarı Kurak	11,28	Kurak		
2014	0,71	Hafif Nemli	23,31	Orta Kurak (Akdeniz)	14,10	Kurak		
2015	0,38	Orta Nemli	22,62	Orta Kurak (Akdeniz)	14,26	Kurak		
2016	4,00	Hafif Kurak	20,85	Orta Kurak (Akdeniz)	12,79	Kurak		
2017	-0,33	Hafif Kurak	19,61	Yarı Kurak	11,31	Kurak		
2018	0,64	Hafif Nemli	22,74	Orta Kurak (Akdeniz)	15,35	Kurak		
2019	0,42	Orta Kurak	22,12	Orta Kurak (Akdeniz)	13,69	Kurak		
2020	-1,00	Orta Kurak	16,19	Yarı Kurak	13,84	Kurak		
31 yıllık	SYİ	HAFİF KURAK	De Martonne (I <sub>YDM</sub> )	YARI KURAK	Erinç (I <sub>E</sub> )	KURAK		

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

Salda Gölü hem yeraltı hem de yüzey suları ile beslenen ve bu durumda su potansiyeli ve yönetimi açısından önem arz eden bir yeraltısuyu havzasıdır. Bu çalışmada havzadaki yeraltısularına iklimin etkisi araştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- Salda Gölü havzasında yıllık ortalama sıcaklık miktarı 12,0 °C, yıllık ortalama yağış miktarı 470,91 mm ve gerçek buharlaşma miktarı 355,53 mm olarak belirlenmiştir.
- Havzada uzun yıllar ölçülen ortalama yeraltısuyu düşüm miktarı yaklaşık olarak 4m civarındadır.
- Havzada uzun yıllara göre elde edilen eklenik sapma grafiklerine göre 1990-2020 yılları arasındaki 31 yıllık süreçte 19 yıl yağışlı dönem ve 12 yıl kurak dönem yaşanmıştır.
- Havzada iklim kategorisini belirlemek için Standartlaştırılmış Yağış İndeksi, De Martonne Kuraklık İndeksi, Erinç iklim sınıflandırması ve Eklenik Sapma yöntemleri kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.
- Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yöntemine göre bölgenin iklim kategorisi "Hafif Kurak", De Martonne kuraklık indeksi yöntemine göre "Yarı Kurak" ve Erinç iklim sınıflandırması ile "Kurak" olarak belirlenmiştir. Söz konusu 3 yöntemde elde edilen kurak geçen yıllar ile Eklenik Sapma yöntemi ile belirlenen "Kurak" dönemler de genel olarak örtüşmektedir.
- İklim sınıflandırması ile elde edilen sonuçlara göre; Salda Gölü havzası ve çevresinin ikliminin gelecek yıllarda kurak iklime geçiş sürecinde olduğu ve bölgenin genel kuraklaşma eğilimi içerisinde olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle bölgede meteorolojik ve hidrolojik parametrelerin değişim süreçleri periyodik olarak takip edilmelidir.

Gelecekte su kaynaklarının sürdürülebilirliği, yönetimi ve politikaları çerçevesinde yeraltısularına kuraklığın etkisinin belirlenmesi, izlenmesi ve kontrol altına alınabilmesi için iklim sınıflamalarına yönelik çalışmaların artması faydalı olacaktır. Bu tür çalışmalar, özellikle su gereksinimi fazla olan ürünlerin yetiştirildiği bölgelerde farklı su kullanım senaryoları önermek ve mevsimsel-aylık-yıllık bazlı kuraklık değerlendirmeleri yapmak konularında rehber olabilir.

### **Teşekkür (Acknowledgement)**

Bu çalışma, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü adına “Salda Gölü Özel Çevre Koruma Bölgesi Biyolojik Çeşitlilik Araştırma Projesi” kapsamında yapılmış olup yazarlar, projeyi finansal olarak destekleyen Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na ve projeyi yürüten Ekoİz-Çevre firması yetkililerine teşekkür ederler.

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

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

### **Kaynaklar (References)**

- BİÇDR, 2010. Burdur İl Çevre Durum Raporu, Burdur İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Burdur.
- De Martonne E., 1925. *Traité de géographie physique*, Vol. I: Notions generales, climat, hydrographie. *Geogr Rev*, 15, 336-337.
- Du, C., Chen, J., Nie, T., 2021. Spatial-temporal changes in meteorological and agricultural droughts in Northeast China: Change patterns, response relationships and causes. *Nat. Hazards*, 110, 155-173.
- Erinç, S., 1965. Yağış Muessiriyeti Üzerine Bir Deneme ve Yeni Bir İndis. İstanbul Üniversitesi, Coğrafya Enstitüsü.
- Handmer, J., Honda, Y., Kundzewicz, Z.W., Arnell, N., Benito, G., Hatfield, J., Mohamed, I.F., Peduzzi, P., Wu, S., Sherstyukov, B., 2012. Changes in impacts of climate extremes: human systems and ecosystems, managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation special report of the intergovernmental panel on climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 231–290.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. 15 Eylül 2020, [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf).
- Kumar, C.P., 2012. Climate change and its impact on groundwater resources. *International Journal of Engineering and Science*, 1 (5), 43-60.
- McKee, T.B., 1995. Drought monitoring with multiple time scales. In *Proceedings of 9th Conference on Applied Climatology*, Boston, 1995.
- McKee, T. B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993.. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Nava, A., Shimabukuro, J.S., Chmura, A.A., Luz, S.L.B., 2017. The impact of global environmental changes on infectious disease emergence with a focus on risks for Brazil. *ILAR J* 58, 393–400.
- Şarlak, N. Mahmood Agha, O.M.A., 2018. Spatial and temporal variations of aridity indices in Iraq. *Theoretical and Applied Climatology*, 133, 89-99.
- Tigkas, D., Vangelis, H. Tsakiris, G., 2013. The RDI as a Composite Climatic Index. *Eur. Water*, 41, 17–22.
- Trewartha, G.T., Horn, L.H., 1980. McGraw-Hill. New York, NY.
- URL – 1: <https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/burdur/salda-847778/>, Erişim tarihi: 14.11.2022, Erişim Saati: 15.52.
- WHO, 2017. (WHO report 2017). Global environmental change.



## PAMUK İPLİK BOYAMA SÜRECİNDE FDM MİKROKAPSÜL APLİKASYONU VE ISI DÜZENLEYEN İPLİK ÜRETİMİ

Saadet MIHÇI<sup>1</sup>, Sennur ALAY AKSOY<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Başyazıcıoğlu Tekstil San. ve Tic. A.Ş, Kayseri, Türkiye

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Faz Değiştiren Malzeme,  
PMMA-ko-GMA,  
Mikrokapsül,  
Pamuk İplik,  
Boyama.*

### Öz

Bu çalışmada, % 100 pamuk triko büküm ipliklere bobin boyama prosesinde faz değiştiren malzeme (FDM) içeren mikrokapsül aplikasyonu amaçlanmıştır. Bu amaçla çekirme metodu ile aplikasyon için uygun duvar yapısına sahip 1-tetradekanol çekirdekli mikrokapsüller üretilmiş ve karakterize edilmiştir. Mikrokapsüllerin morfolojileri SEM, kimyasal yapıları FT-IR spektroskopisi, ısı depolama/yayma özellikleri DSC analizi ve termal direnç özellikleri TGA analizi ile belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, nano boyutlu, küresel morfolojide kapsüller üretilmiş ve kapsüllerin 33,4 °C'de yaklaşık 125 j/g gizli ısı depolayabildiği ve 220 °C sıcaklıklara kadar termal olarak kararlı oldukları tespit edilmiştir. Üretilen mikrokapsüller katyonize edilmiş pamuk ipliklere boya banyosu ile birlikte çektirilmiştir. Boyanmış ve eş zamanlı olarak mikrokapsül applike edilmiş ipliklerin yapılarındaki mikrokapsül varlığı ve homojen dağılımı SEM görüntüleri ile doğrulanmıştır. Mikrokapsüllerin yapısındaki FDM'nin erimesi sırasında absorbe ettiği ısıdan kaynaklanan sıcaklık düzenleme (termoregülasyon) fonksiyonu ise Thermal History (T-History) testi ile ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına göre, FDM içerikli ipliklerin ham ipliğe göre daha yavaş ısındığı ve tüm test boyunca FDM içerikli ipliklerin yüzey sıcaklıklarının ham iplik yüzey sıcaklığına göre yaklaşık 5 °C daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak yapılan çalışmada bobin boyama prosesi ile ipliklere mikrokapsül aplikasyonu başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

## PCM MICROCAPSULE APPLICATION IN COTTON YARN DYEING PROCESS AND PRODUCTION OF THERMOREGULATING YARN

### Keywords

*Phase change material,  
PMMA-ko-GMA,  
Microcapsule,  
Cotton Yarn,  
Dyeing.*

### Abstract

In this study, it was aimed to apply the microcapsules containing phase change material (PCM) to 100% cotton knitwear twisted yarns in the bobbin dyeing process. For this purpose, 1-tetradecanol core containing microcapsules with suitable wall structure for exhaustion application were produced and characterized. The morphology of the microcapsules by SEM, chemical structures by FT-IR spectroscopy, heat storage/releasing properties by DSC analysis and thermal resistance properties by TGA analysis were determined. According to the results of the analysis, nano-sized, spherical morphology capsules were produced and it was determined that the capsules could store approximately 125 j/g latent heat at 33.4 °C and were thermally stable up to 220 °C temperatures. Produced microcapsules were exhausted to the cationized cotton yarns in dye bath. The presence and homogeneous distribution of microcapsules in the structures of dyed and simultaneously microcapsule-applied yarns were confirmed by SEM images. The temperature regulation (thermoregulation) function resulting from the heat absorbed by the PCM in the structure of the microcapsules was measured with the Thermal History (T History) test. According to the measurement results, it was determined that the yarns containing PCM heated more slowly than the raw yarn and the surface temperature of the yarns containing PCM was approximately 5 °C

\* İlgili yazar / Corresponding author: sennuralay@sdu.edu.tr, +90-246-211-1187

lower than the surface temperature of the raw yarn throughout the test. As a result, in the study, microcapsule application to the yarns was successfully carried out with the bobbin dyeing process.

**Alıntı / Cite**

Mihçi, S., Alay Aksoy, S., (2023). Pamuk İplik Boyama Sürecinde FDM Mikrokapsül Aplikasyonu ve Isı Düzenleyen İplik Üretimi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 592-606.

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

S. Mihçi, 0000-0002-6998-6328

S. Alay Aksoy, 0000-0002-5878-6726

**Makale Süreci / Article Process**

**Başvuru Tarihi / Submission Date** 12.04.2022

**Revizyon Tarihi / Revision Date** 25.01.2023

**Kabul Tarihi / Accepted Date** 20.02.2023

**Yayın Tarihi / Published Date** 28.06.2023



# PCM MICROCAPSULE APPLICATION IN COTTON YARN DYEING PROCESS AND PRODUCTION OF THERMOREGULATING YARN

Saadet MIHÇI<sup>1</sup>, Sennur ALAY AKSOY<sup>2†</sup>

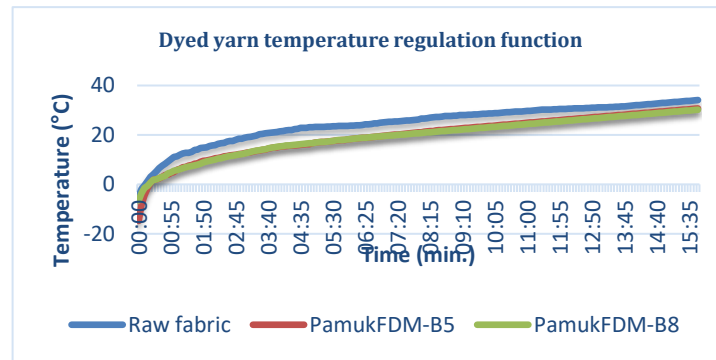
<sup>1</sup> Başyazıcıoğlu Tekstil San. ve Tic. A.Ş, Kayseri, Türkiye

<sup>2</sup> Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Textile Engineering, Isparta, Türkiye

## Highlights

- PCM microcapsules were prepared to be applied by exhaustion method.
- Produced microcapsules were exhausted to the cationized cotton yarns in dye bath.
- The bobbin dyeing process conditions were determined for microcapsule application.
- The yarns were found to offer remarkable temperature regulation performance.

## Graphical Abstract



**Figure.** FDM içerikli PamukFDM-B5 ve PamukFDM-B8 kodlu ipliklere ait T-History grafikleri (T-History graphs of FDM-containing PamukFDM-B5 and PamukFDM-B8 coded yarns)

## Purpose and Scope

In this study, it was aimed to determine the microcapsule production and dyeing process conditions suitable for the application of microcapsules containing phase change material (PCM) in the bobbin dyeing process of 100% cotton tricot twisted yarns.

## Design/methodology/approach

In the study, microcapsule production was carried out by emulsion polymerization method. Microcapsules were exhausted to cationized cotton yarns in the bobbin dyeing process. The chemical, morphological and thermal properties of the microcapsules were analyzed. The morphological and thermal properties of the yarns were analyzed.

## Findings

In this study, PCM microcapsules with nano-sized and spherical morphology were successfully fabricated. PCM microcapsules have suitable heat storage temperature (33.4 °C), high latent heat storage capacity (about 125 j/g) and sufficient thermal stability for textile application. In the bobbin dyeing process, the dye bath containing microcapsules was successfully applied to the yarns by exhaustion method. The presence of microcapsules in the structures of the yarns simultaneously dyed and PCM microcapsule applied were revealed by SEM images. The temperature regulation functions of the yarns was proved by thermal measurement.

## Originality

In this study, microcapsules with a wall structure that will allow the application of PCM microcapsules in cotton yarn dyeing process were produced. The process conditions and material pretreatment conditions that will allow efficient application of microcapsules to cotton yarns were investigated. There is a limited number of researches in the literature on the application of PCM microcapsules to textile materials by exhaustion method. This study is original in terms of the microcapsule structure produced and PCM microcapsule application to cotton yarns in the bobbin dyeing process by exhaustion method and has the potential to contribute to the literature.

<sup>†</sup> İlgili yazar / Corresponding author: sennuralay@sdu.edu.tr, +90-246-211-1187

## 1. Giriş (Introduction)

Son yıllarda, vücut-giysi-çevre sisteminde ısı ve nem transfer süreçlerinin aktif kontrolünde rol oynayan, çevresel koşullar ve aktivite seviyesindeki değişime adapte olabilen otomatik iklimlendirme özelliğine sahip giysi sistemlerinin veya bileşenlerinin üretimine yönelik araştırmalar dikkat çekici hale gelmiştir (Koncar, 2016). Otomatik iklimlendirme özelliklerine sahip tekstilleri imal etmek ve giysilerin termal konforunu iyileştirmek için kullanılan malzemelerden birisi de faz değiştiren malzemelerdir. Gizli ısı depolama malzemeleri olarak da bilinen faz değiştiren malzemeler (FDMler) faz değişim prosesleri boyunca gizli ısı enerjisi absorbe edip geri salabilen malzemelerdir. Bu maddeler belirli bir sabit sıcaklıkta eriyen ve katılaşıp ve bu sırada yüksek kapasitede gizli ısı enerjisi depolayan ve yayan maddelerdir (Giro-Paloma, 2016; Genç, 2016). Ortam sıcaklığı erime sıcaklığına ulaştığında, FDM erimeye başlar ve erimesi tamamlanıncaya kadar ortamdan gizli ısı absorbe eder. Sıcaklık katılma sıcaklığına kadar düştüğünde ise FDM katılma süreci tamamlanıncaya kadar depoladığı ısı enerjisini geri verir (Mondal, 2008). Bahsedilen FDMler katı-sıvı faz değişimi sırasında gizli ısı enerjisi depolama/yayma özelliği ile ani sıcaklık değişimi durumlarında termoregülasyon (sıcaklık düzenleme, sıcaklığın belirli bir aralıkta sabit kalmasını destekleme) fonksiyonu sunmaktadırlar.

Tekstil sektöründe özellikle katı-sıvı faz değişimi yapabilen organik FDMler önem kazanmıştır. Bunların sıvı fazda yapıdan akarak uzaklaşmalarının engellenmesi, çevreyle etkileşimlerinin sınırlandırılması ve ısı iletimlerinin artırılması gibi faydalar için katı fazlı bir yapı içerisine enkapsüle edilmeleri gerekmektedir. Tekstil uygulamaları için genellikle parafinik faz değiştiren maddeler önem kazanmıştır ve mikrokapsüllenmiş parafin örnekleri ticari olarak da mevcuttur. Bunlar arasında Rudolf Duraner firmasına ait RUCO®-THERM PCM 28 ve Devan Chemicals firmasına ait Thermic® olarak adlandırılmış mikrokapsüller sayılabilir. Bu mikrokapsül örneklerinde FDM olarak genellikle n-oktadekan (parafin) kullanılmıştır.

Mevcut araştırmalar ve endüstriyel uygulamalar incelendiğinde, mikrokapsüllerin kumaşlara genellikle yüksek aplikasyon verimliliği nedeniyle emdirme metodu ile applike edildiği görülmektedir. Bu seçimde mikrokapsül duvarının çektirme metodu ile aplikasyon için uygun bir kimyasal yapıya sahip olmaması da önem arz etmektedir. Çektirme metodu ile mikrokapsüllerin tekstil yapılarına aplikasyonu ile ilgili çalışmalarda farklı içerikli mikrokapsüllerin iplik veya kumaşlara aplikasyonunun mümkün olacağı, ancak bunun için mikrokapsül duvar yapısının liflere afinitesi olacak şekilde geliştirilmesinin gerekliliği ortaya konulmuştur. Vurgulanan önemli bir husus da emdirme metodu ile aplikasyonda mikrokapsüllerin liflere kalıcı bağlanmasını sağlamak için kullanılan binder (reçine) maddelerinin kumaşların tutum ve geçirgenlik gibi özelliklerini olumsuz yönde etkilemesidir. Devan Chemicals firmasına ait mikrokapsülleri diğer ticari mikrokapsül örneklerinden ayıran özellik, bağlayıcı madde olmadan doğrudan life bağlanmasını sağlayan reaktif gruplara sahip duvar yapılarıdır. Mikrokapsüller, melamin veya üre formaldehit iç duvara sahip olup epoksi, karboksilik asit vb. fonksiyonel gruplar içeren polimerler ile ikinci bir duvar oluşturacak şekilde kaplanmaktadırlar. Mevcut duvar yapısı mikrokapsüllerin life afinite göstermesini sağlamak yanında iyonik veya kovalent bağlar ile life bağlanmasını da sağlamaktadır (Gomes vd., 2013).

Literatürde mikrokapsüllerin çektirme metodu ile tekstillere aplikasyonu konulu çalışmaların son derece sınırlı olduğu dikkat çekmektedir (Monllor, 2007; Aydın vd., 2011; Bonet vd., 2012). Konu ile ilgili güncel literatür bilgileri incelendiğinde hoş koku maddesi, FDM ve termokromik sistem gibi farklı etken madde içeren mikrokapsüllerin çektirme metodu ile kumaşlara aplikasyonu üzerine çalışmalara rastlanmaktadır. Örneğin, Bonet ve arkadaşları (2015) lavanta kokusu içeren, melamin formaldehit duvarlı ticari mikrokapsülleri emdirme ve çektirme metodu ile pamuk kumaşa uygulanmış ve iki metodun performansını kıyaslamışlardır. Çalışmada, işlem verimliliği açısından mikrokapsüllerin aplikasyonu için en iyi yöntemin emdirme yöntemi olduğunu açıklanmıştır. Ayrıca, emdirme metodu ile aplikasyonda aplikasyon banyosuna daha az kimyasal madde ilavesinin yeterli olacağı, ancak çektirme banyosunu tekrar kullanarak banyodaki mikrokapsüllerin atık olarak bırakılmadan önce tekrar kumaşa çektirebileceği belirtilmiştir. Chirilă ve arkadaşları (2018), ticari gül esansiyel yağı içerikli mikrokapsülleri kozmetik tekstil olarak kullanımı planlanan pamuk ve pamuk/polyester karışımı örme tekstil yapılarına emdirme ve çektirme metotları ile applike etmişler ve aplikasyonların kalıcılığını araştırmışlardır. Öner ve arkadaşları (2019), çekirdek malzeme olarak n-oktadekan ve organik Hindistan cevizi yağı karışımı içeren melamin formaldehit duvarlı mikrokapsülleri çektirme yöntemini kullanılarak, %98 pamuk ve %2 elastan bileşimli streç denim kumaşa farklı konsantrasyonlarda uygulanmışlardır. Çalışma sonucunda, kumaşların gizli ısı depolama özelliği sundukları belirtilmiştir. Tözüm ve arkadaşları (2020, 2022a), sıcaklık düzenleme ve termokromik özellik kazandırmak amacıyla poli(metil metakrilat-ko-glisidil metakrilat) duvarlı, üç bileşenli termokromik sistem içeren mikrokapsülleri pamuk ve yün kumaşlara çektirme metodu ile uygulamışlardır. Araştırmacılar, mikrokapsüllerin duvar yapıları itibari ile pamuk ve yün liflerine karşı afinite sergilediğini ve çektirme metodu ile başarılı bir şekilde kumaşlara applike edilebildiğini belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar diğer çalışmalarında ise pamuk ve yün liflerine karşı afinite sergileyen poli(metil metakrilat-ko-metakrilik asit) duvarlı, farklı içerikte termokromik sistem çekirdekli mikrokapsülleri pamuk ve yün kumalara çektirme metodu ile

uyguladıkları çalışmalarında hem sıcaklık düzenleme hem de termokromik özellikleri sunabilen kumaşlar üretebildiklerini belirtmişlerdir (Tözüm vd., 2021; 2022b). Özsevinç ve Alkan (2023), lavanta yağı salım özellikli tekstil üretimi için kullanılabilecek kumaş üretimine odaklandıkları çalışmalarında, poliüretan (PU) duvar, lavanta yağı çekirdekli kapsülleri üretip pamuklu kumaşa çektirme metodu ile uygulamışlardır. Çalışmada mikrokapsüllerin kumaşa çektirme metodu ile başarılı bir şekilde applike edilebildiği belirtilmiştir.

Çektirme metodu kullanılarak tekstil yüzeylerine mikrokapsül aplikasyonu konulu patentler incelendiğinde Gomes ve arkadaşlarının buluşçu olarak yer aldığı patentte (2013), reaktif duvarlı mikrokapsüllerin liflere kimyasal bağlanması araştırılmıştır. Bağlayıcı madde kullanımına gerek kalmadan mikrokapsüllerin liflere bağlanmasını sağlayacak şekilde, art bir işlem ile mikrokapsül duvar yapısının glisidil metakrilat, akrilik asit gibi maddeler ile reaktif hale getirilebileceği belirtilmiştir. Çalışmada, FDM ve kontrollü salım yapılabilecek antibakteriyel, uçucu yağ, hoş koku gibi pek çok tür etken maddeyi içerebilecek mikrokapsüllerin emdirme ve püskürtme metodları ile aplikasyonu ve ardından yapılacak termofiksaj işlemine uygun oldukları gibi çektirme metodu ile de tekstillere applike edilebilecekleri belirtilmiştir. Çektirme metodu ile applike edilecek mikrokapsüllerin duvar yapılarının liflerdeki fonksiyonel gruplar ile zıt yüklü olacak şekilde modifiye edilmesi önerilmiştir.

Özetle, tekstil yapılarına mikrokapsül uygulamaları üzerine yapılan çalışmalar ve endüstriyel uygulamalar incelendiğinde genel olarak, kumaş halindeki materyale emdirme, çektirme ve kaplama gibi yöntemler ile mikrokapsül aplikasyonu gerçekleştirildiği görülmektedir. Ticari olarak mevcut mikrokapsüller incelendiğinde, hoş koku, FDM, antimikrobiyal madde gibi çeşitli aktif maddelerin tekstil materyallerine uygulanmak için mikrokapsüllendikleri görülmektedir. Üretici firmaların bu mikrokapsüllerin tekstil uygulaması için genellikle emdirme metodu, nadiren de çektirme metodunu önerdikleri görülmektedir. Mikrokapsül içerikli iplik üretimi için yapay iplik üretimi prosesinde iplik kesitine mikrokapsül yerleştirilmesi de ticari olarak kullanılan bir yöntemdir. Mikrokapsül katkılı iplikler bahsedilen yapay iplikler ile sınırlı olup, doğal elyaftan mamul şapel ipliklere mikrokapsül uygulanması sonucu geliştirilmiş ticari bir ürün örneği ulusal ve uluslararası pazarda mevcut değildir. Bu durumun en önemli nedeni geliştirilen mikrokapsül yapılarının çoğunun çektirme metodu ile lif tarafından verimli şekilde alınmasına olanak sağlayacak duvar yapısına sahip olmaması ve kumaş aplikasyonu açısından emdirme metodunun daha verimli bir metot olmasıdır. Ancak emdirme metodu ile kumaşa mikrokapsül aplikasyonu da kullanılan fazla miktardaki binder nedeniyle kumaş tutumunun, geçirgenlik ve mukavemet özelliklerinin önemli derece zayıflaması ve flotteye ilave edilen fazla miktardaki mikrokapsülün tümünün kumaşa aktarılamaması gibi ciddi dezavantajlara sahiptir. Tüm bu hususlar değerlendirildiğinde, şapel doğal veya yapay elyaftan mamul ipliklere ilave bir proses gerektirmeden ve iplik tutumunu olumsuz yönde etkilemeden mikrokapsül aplikasyonunun gerçekleştirilmesi için proses geliştirilmesi bu konuda önemli bir gelişme sağlayacaktır. Bu noktadan hareketle bu çalışmada tekstillere çektirme metodu ile applike edilme potansiyeli barındıran duvar yapısına (polimetil metakrilat-ko-glisidil metakrilat) sahip mikrokapsüller üretilmiş ve bobin boyama prosesi ile triko büküm pamuk ipliklerine uygulanma potansiyeli araştırılmıştır.

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

### 2.1. Materyal (Material)

Çalışmada, polimetil metakrilat-ko-glisidil metakrilat (PMMA-ko-GMA) duvarlı ve faz değiştiren madde içeren mikrokapsüller emülsiyon polimerizasyonu yöntemi ile üretilmiştir. Mikrokapsül üretiminde kullanılan kimyasal maddelere ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Üretilen mikrokapsüller % 100 Pamuk, Ne 20/1, 598 t/m bükümlü penye ring triko ipliğe applike edilmiştir. İplik ön işleminde katyonikleştirici (REWİN FSN, CHT) kullanılmış, katyonikleştirme işlemi hem asidik hem de bazik pH'ta applike edilerek uygun proses şartları belirlenmiştir. İpliklerin boyanması için reaktif boyarmaddeler (İndidex uyumlu, A grubu, Setaş Kimya) kullanılmıştır. Binder olarak akrilik esaslı binder (CHT Kimya) kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Mikrokapsül üretiminde kullanılan kimyasallar (Chemicals used in microcapsule production)

Kimyasal Madde	Kullanım Amacı
1-Tetradekanol (Alfa Aesar, %97)	Faz değiştiren malzeme
Metil metakrilat (MMA, Sigma Aldrich, %99)	Mikrokapsül duvar polimer sentezinde kullanılan monomer
Glisidil metakrilat (GMA, Sigma Aldrich, %97)98) monomer	Mikrokapsül duvar polimer sentezinde kullanılan komonomer
Etilen glikol dimetakrilat (EGDM, Sigma Aldrich, %98)	Mikrokapsül sentezinde kullanılan çapraz bağlayıcı
2,2'-azobis(2-metilpropionamidin) dihidroklorür (Aldrich, % 97)	Mikrokapsül sentezinde kullanılan başlatıcı
Polietilen glikol 1000 (PEG1000)	Mikrokapsül sentezinde kullanılan emülgatör

## 2.2. Metotlar (Methods)

### 2.2.1. Mikrokapsül Üretimi ve Karakterizasyonu (Microcapsule Production and Characterization)

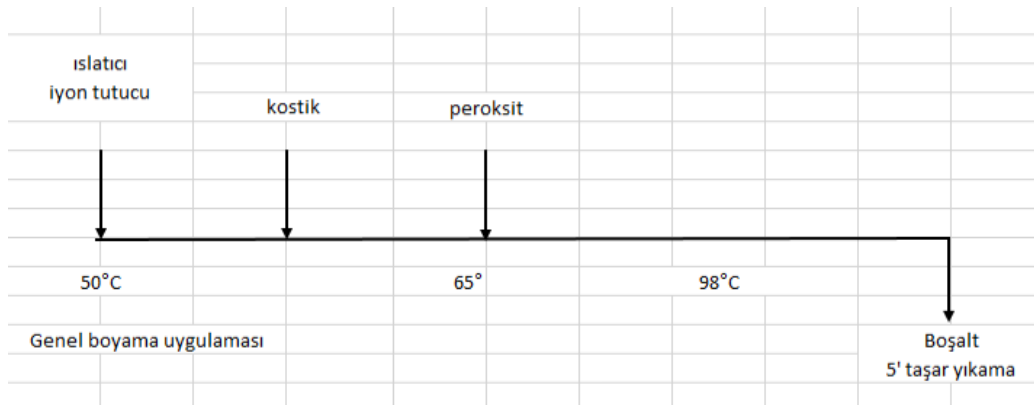
Çalışmada FDM içerikli mikrokapsül üretimi emülsiyon polimerizasyonu metodu ile gerçekleştirilmiştir. Yöntemde çekirdek/duvar madde oranı 1:0,5 olarak kullanılmıştır. Üretim aşamaları:

- 100 mL deiyonize su 50 °C'ye ısıtılıp içerisine 6,5 g 1-Tetradekanol ve 2 g PEG1000 eklenerek yarım saat boyunca 2000-3000 d/d karıştırma hızında karıştırılarak su içerisinde yağ emülsiyonu oluşturulmuştur.
- Hazırlanan emülsiyona 3,25 g monomer (MMA ve onun %10'u kadar GMA komonomer), 1,35 g EGDM çapraz bağlayıcı ve 1 g başlatıcı ilave edilmiş ve sıcaklık 80 °C'ye artırılarak polimerizasyon başlatılmıştır. Reaksiyon sırasında karıştırma hızı 1000-2000 d/d'ya ayarlanarak yaklaşık üç saat boyunca karıştırmaya devam edilmiş ve polimerizasyon gerçekleştirilmiştir. Bu süre sonunda üretilen mikrokapsüller 70 °C civarındaki sıcak su ile birkaç kez yıkanıp, durulanıp filtrelenmiş ve buzdolabında saklanmıştır (Özkayalar vd, 2020).

Üretilen mikrokapsüllerin morfolojilerini incelemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi kullanılmıştır. Analiz öncesi numunelerin yüzeyi altın kaplama ile kaplanarak iletken hale getirilmiştir. Mikrokapsüllerin kimyasal yapılarının aydınlatılabilmesi için Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi (FT-IR) Spektrometresi analizi uygulanmıştır. Analizler ile mikrokapsüllerin duvar yapısının oluşumu ve çekirdek maddenin kapsül yapısındaki varlığı araştırılmıştır. Analiz Perkin Elmer Spektrum BX cihazında, KBr pellet yöntemiyle, 4 cm<sup>-1</sup> çözünürlükte, 4000-400 cm<sup>-1</sup> orta kızıl ötesi bölgesinde ve 16 tarama sayısı ayarlarında gerçekleştirilmiştir. Mikrokapsüllerin termal kararlılıklarının incelenmesi amacıyla Termogravimetrik (TG) analiz, faz değişim sıcaklıkları ile ısı depolama ve yayma kapasitelerinin belirlenmesi için Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) analizi gerçekleştirilmiştir. TG analizi Perkin Elmer TGA7 cihazı kullanılarak 0-500 °C aralığında, 10 °C/d ısıtma hızında, azot gazı ortamında gerçekleştirilmiştir. DSC analizi Perkin-Elmer Jade DSC cihazı kullanılarak -5 °C – 65 °C sıcaklıkları arasında 1 °C/d ısıtma/soğutma oranında azot (N<sub>2</sub>) atmosferinde gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.2. İplik Ön Terbiye, Katyonikleştirme ve Boyama Prosesleri (Yarn Pretreatment, Cationization and Dyeing Processes)

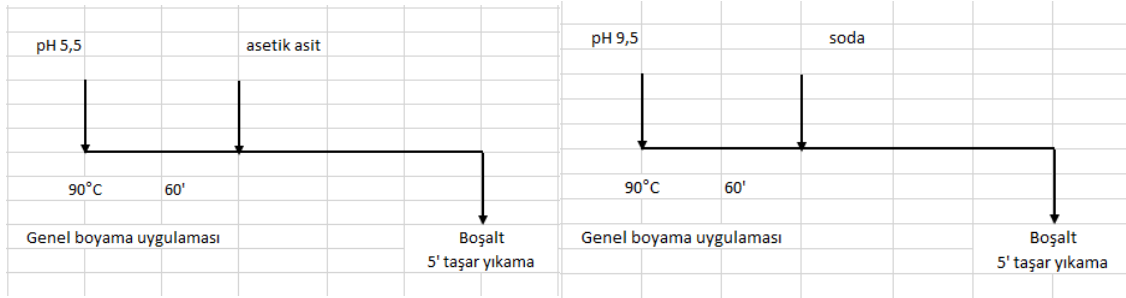
Kasar işlemi pamuk ipliklerinin yapısındaki renk veren maddelerin uzaklaştırılmasına yönelik bir işlem olup, yükseltgen maddeler ile işleme dayanmaktadır. Boyamadan önce kullanılacak ipliklerin yeterince beyaz ve hidrofil olması amacıyla Şekil 1'de verilen proses grafiğine uygun olarak kasar işlemi gerçekleştirilmiştir. İplikler, öncelikle ıslatıcı, iyon tutucu ve stabilizatör ile 50°C sıcaklıkta 6 dakika işlem yapıldıktan sonra banyoya kostik ilave edilmiş ve sıcaklık 65 °C'ye yükseltilmiştir. Ardından ortama hidrojen peroksit verilerek sıcaklık 98 °C'ye yükseltilmiş ve kasar işlemi tamamlanmıştır. Kasardan sonra iplikler 80 °C'de 10 dakika soğuk su ile yıkanmıştır.



Şekil 1. İplik kasar işlemine ait proses grafiği (Process graph of yarn bleaching process)

Kasar işlemi sonrası pamuk iplikleri, Tablo 3'te detayları verilen proses koşullarında ve Şekil 2'de verilen reaksiyon grafiğine uygun olarak katyonikleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Katyonikleştirme prosesinde bobinin iç dış farkını önlemek ve homojen işlem sağlayabilmek için farklı proses koşulları araştırılmış ve en uygun koşullar belirlenmiştir. Yapılan denemeler içerisinde konsantrasyon, pH ve sıcaklık parametreleri baz alınmıştır. Katyonikleştirme işlemi 1:7 flotte oranında hazırlanmış farklı konsantrasyonda katyonikleştirici içeren banyoda gerçekleştirilmiştir. Katyonikleştirme işlemi sonrası nötralizasyon işlemi yapılmıştır. Bu işlemde iplikler 0,5 g/L

asetik asit çözeltisinde 50 °C'de 10 dakika işleme tabi tutulmuştur.



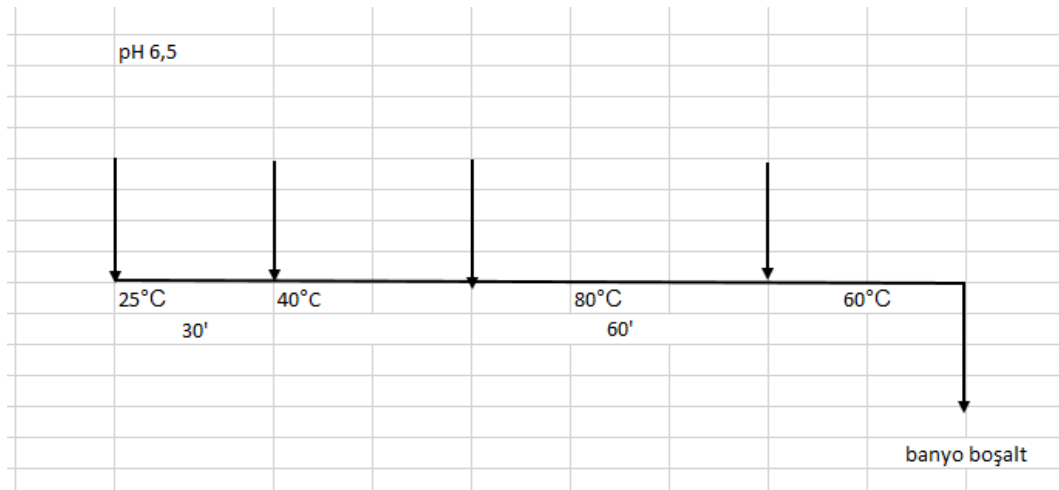
**Şekil 2.** Pamuk ipliği asidik ve bazik katyonikleştirme işlem grafikleri  
(Graphs of acidic and basic cationicisation process of cotton yarn)

Tablo 2'de bobin halinde iplik boyama prosesinde mikrokapsül aplikasyonu için kullanılan boya banyosunun içeriği verilmiştir. Katyonikleştirme işlemi uygulanmış iplikler bu banyoda Şekil 3'te verilen boyama grafiğine göre boyanmış ve mikrokapsül aplikasyonu yapılmıştır. Boyama sonrası ipliklere 0,5 g/L konsantrasyonda asetik asit içeren banyoda 50 °C'de 10 dakika nötralizasyon işlemi yapılmıştır. Boyanan iplikler 140 °C'de 5 dakika kurutulmuştur.

**Tablo 2.** Pamuk ipliği boyama yönteminde mikrokapsül aplikasyonu için banyo içeriği  
(Bath content for microcapsule application in cotton yarn dyeing)

Reçeteye İlave Edilen Madde		Konsantrasyon (g/L)
Boyarmadde	Sarı boyarmadde (Dyestuff Yellow (R18101))	0,01
	Kırmızı Boyarmadde (Dyestuff Red (R1800))	0,05
	Koyu Mavi Boyarmadde (Dyestuff Navy Blue)	0,09
Mikrokapsül	PMMA-ko-GMA/1-tetradekanol	3
Binder	Akrilik esaslı	1
Soda	Sodyum bikarbonat	5
Tuz	Sodyum klorür	5

\*: Proseste 200 g ağırlığında bobinler kullanılmış olup 6 gram kapsül banyo içerisine ilave edilmiştir.



**Şekil 3.** Pamuk iplik bobin boyama ve mikrokapsül aplikasyon işlem grafiği  
(Cotton yarn bobbin dyeing and microcapsule application process graph)

Tablo 3'te, farklı koşullarda katyonikleştirme işlemi uygulanmış ve ardından, Tablo 2'de verilen banyo şartlarında ve Şekil 3'te verilen boyama grafiğine göre boyanmış ve mikrokapsül aplikasyonu yapılmış pamuk ipliklerine ait bilgilere yer verilmiştir.

**Tablo 3.** FDM mikrokapsüllerin, % 3 konsantrasyonda farklı kationizasyon koşullarında, bobin boyama yöntemi ile applike edildiği pamuk iplik numuneleri (Cotton yarn samples in which PCM microcapsules were applied by bobbin dyeing method under different cationisation conditions at 3% concentration)

Numune kodu	Kationizasyon		Süre (dak)	Kationikleştirici konsantrasyonu (%)	Boyama ve mikrokapsül aplikasyon prosesi
	Sıcaklık (°C)	pH			
PamukFDM-B1	90	5,5	60	20	Şekil 3'te verilen grafiğe göre
PamukFDM-B2	90	9,5	60	20	
PamukFDM-B3	90	5,5	60	30	
PamukFDM-B4	90	9,5	60	30	
PamukFDM-B5	70	5,5	60	20	
PamukFDM-B6	70	9,5	60	20	
PamukFDM-B7	70	5,5	60	30	
PamukFDM-B8	70	9,5	60	30	

### 2.2.3. İplik Test ve Analizleri (Yarn Testing and Analyses)

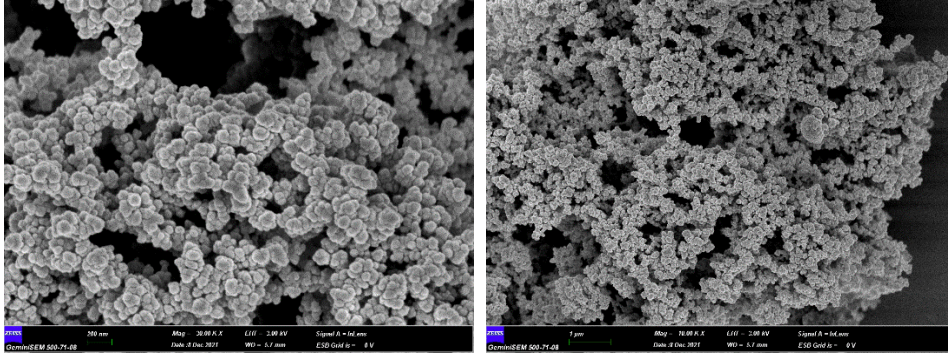
Mikrokapsül uygulanmış ipliklerin yapısını, mikrokapsül varlığı ve dağılımını incelemek için SEM analizi kullanılmıştır. Analiz öncesi numunelerin yüzeyi altın kaplama ile kaplanarak iletken hale getirilmiştir.

FDM mikrokapsül uygulamasından kaynaklanan kumaş yüzey sıcaklıklarındaki değişim Thermal History (T-History) test metodu kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler için yalıtımlı, poliüretan köpükten ibaret, iç ortam sıcaklığı termostata bağlı ampul ile kontrol edilen kutu kullanılmıştır. T-history testinde, daha önceden soğuk ortamda kondisyonlanmış numunenin, sıcak yalıtımlı bir kutu içinde ısınması sırasında yüzeyindeki sıcaklık değişimi termal kamera veya termokupl kullanılarak ölçülmektedir (Demirbağ ve Alay-Aksoy, 2016; Genç ve Alay-Aksoy, 2016; Alay-Aksoy vd., 2017). Ölçüm sonucunda, belirli bir zaman diliminde numunenin yüzey sıcaklığındaki değişim izlenmektedir. Kapsül uygulanmış ve uygulanmamış numunenin yüzey sıcaklıkları arasındaki fark, iplik/kumaş yapısındaki kapsüllenmiş FDM'nin sıcaklık düzenleme etkisi olarak değerlendirilmektedir. İncelenecek numunenin soğuk ortamda kondisyonlanmasının nedeni, yapıdaki FDM'nin katılaşmasını sağlamaktır. Üretilen iplik numuneleri öncelikle kondisyonlanmış ve daha sonra sıcak yalıtımlı bir kutu içinde ısınması sırasında yüzeyindeki sıcaklık değişimi termal kamera kullanılarak ölçülmüştür. FDM mikrokapsül içerikli ipliklerin ısı depolama özelliklerini belirleyebilmek için benzer şekilde kondisyonlanmış kapsül içermeyen iplikler üzerinde de termal kamera ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Örnekler sıcak ortama alındığı andan itibaren yüzeylerinde termal kamera (Fluke TiX500 9Hz Thermal Imager) ile her 30 saniyede bir ölçülen sıcaklıkların zamana bağlı değişim grafikleri (T-history grafikleri) çizilmiştir. Ölçümler, kapsül uygulanmış ve uygulanmamış iplikler için tekrarlanmış ve her iki iplik sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

### 3.1. Mikrokapsül Analiz Sonuçları (Microcapsule Analysis Results)

Emülsiyon polimerizasyonu yöntemi ile üretilen PMMA-ko-GMA duvarlı, 1-tetradekanol çekirdekli mikrokapsüllere ait SEM görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde, homojen parçacık boyutlarına sahip, küresel morfolojili mikrokapsüllerin elde edildiği görülmektedir. SEM görüntüleri üzerindeki boyut skalası incelendiğinde, kapsüllerin nano boyutlara sahip oldukları ve boyutlarının yaklaşık 150 nm ile 400 nm arasında değiştiği belirlenmiştir. Mikrokapsüller morfoloji ve parçacık boyutu özellikleri itibari ile literatürde mevcut aynı yöntem ile üretilmiş polimetil metakrilat ve kopolimer duvarlı, FDM veya termokromik sistem çekirdekli mikrokapsüllere benzer özellikler sergilemektedir (Alay vd., 2010; Alay d., 2011; Tözüm vd., 2018, 2020, 2022a, 2022b).



Şekil 4. FDM mikrokapsüllere ait SEM görüntüsü (SEM image of FDM microcapsules)

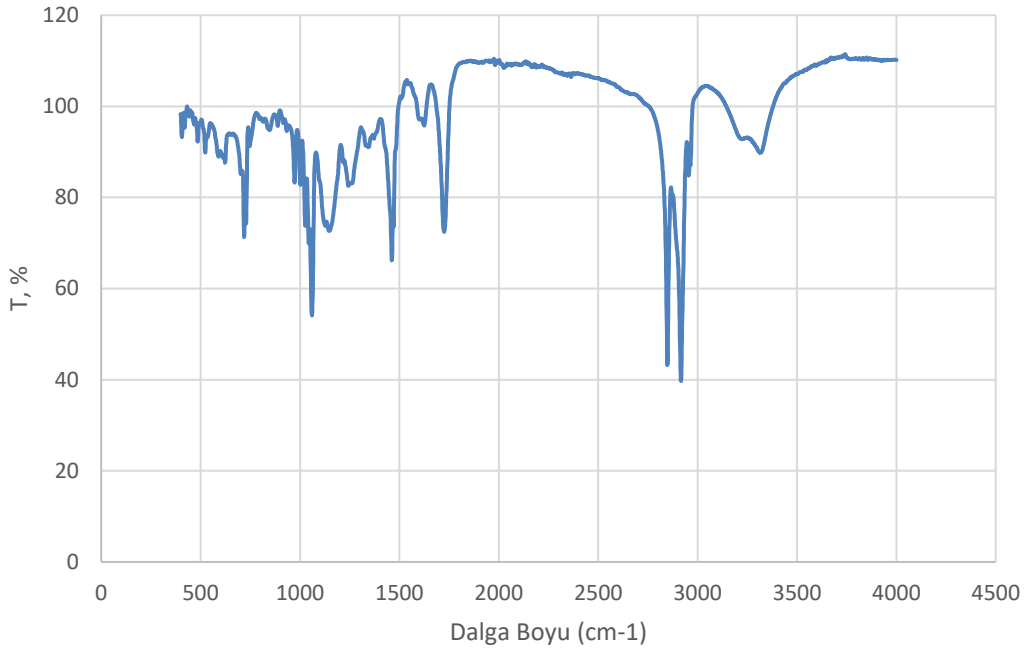
Şekil 5'te emülsiyon polimerizasyonu yöntemi ile üretilen PMMA-ko-GMA duvarlı ve 1-tetradekanol çekirdekli FDM mikrokapsüllere ait FT-IR spektrumu verilmiştir. Tablo 4'te ise mikrokapsül üretiminde kullanılan malzemelere ait spektrumlarından elde edilen bilgilere yer verilmiştir. Mikrokapsüle ait spektrum incelendiğinde;

- 2953  $\text{cm}^{-1}$ , 2919  $\text{cm}^{-1}$  ve 2849  $\text{cm}^{-1}$  dalga boylarındaki pikler, 1-tetradekanol yağ alkolüne ait ve glisidil metakrilat monomerlerindeki epoksi grubuna ( $\text{CH}_2\text{-O-CH}$ ) ait C-H gerilme pikleridir. 1461  $\text{cm}^{-1}$ , 1456  $\text{cm}^{-1}$  ve 1435  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikler C-H gerilme pikleri olup, mikrokapsüllerin yapısındaki tetradekanole ait C-H gerilme piklerine aittir.
- MMA ve GMA monomerlerine ait sırasıyla 1635  $\text{cm}^{-1}$  ve 1633  $\text{cm}^{-1}$ 'de ortaya çıkan  $\text{-C=C-}$  bağına ait gerilme piklere mikrokapsüllere ait spektrumda rastlanmamaktadır. Bu bulgu MMA ve GMA monomerleri arasındaki polimerleşmenin gerçekleştiğine işaret etmektedir. Zira iki monomerin (MMA ve GMA) polimerleşmesi radikalik katılma reaksiyonu sırasında bu bağların açılarak monomerlerin oluşan radikaller üzerinden birbirlerine bağlanması şeklinde gerçekleşmektedir.
- GMA monomerine ve MMA monomerine ait karbonil grubuna ( $\text{C=O}$ ) ait gerilme pikleri mikrokapsüllere ait spektrumlarda birleşerek 1729  $\text{cm}^{-1}$ 'de kuvvetli bir pik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu pik mikrokapsül duvar yapısının varlığının diğer bir kanıtıdır (Tözüm, 2020).

Mikrokapsüllerin yapısındaki glisidil metakrilat ko-monomeri epoksi fonksiyonel grubu içermektedir. Bu grup selüloz moleküllerine karşı afinite (moleküller arası çekim) sağlayarak boyama banyosundaki mikrokapsüllerin selüloz lifleri tarafında çekilmesine olanak sunmaktadır.

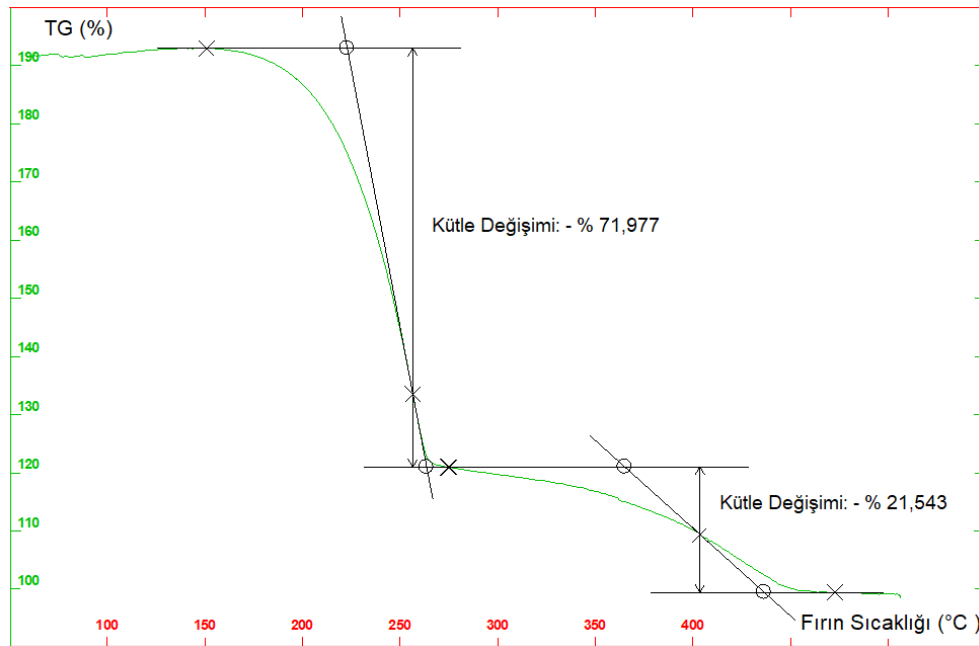
**Tablo 4.** Mikrokapsül üretiminde kullanılan malzemelere ait FT-IR spektroskopi bilgileri (FT-IR spectroscopy information of materials used in microcapsule production)(Alay Aksoy, vd., 2017; Tözüm vd., 2018; Tözüm vd, 2020; Tözüm vd., 2021)

Maddeler	FT-IR spektrum bandları
1-tetradekanol	3327 $\text{cm}^{-1}$ -O-H gerilme bandıdır. 2922-2850 $\text{cm}^{-1}$ C-H gerilme pikleridir. 1467 $\text{cm}^{-1}$ C-H gerilme pikidir. 724 $\text{cm}^{-1}$ karakteristik sallanma pikidir.
Metil metakrilat monomeri	1741 $\text{cm}^{-1}$ karbonil grubuna ait gerilme pikidir. 1100-1300 $\text{cm}^{-1}$ arasındaki pikler ester yapısındaki $\text{-C-O}$ gerilme titreşimine aittir. 1635 $\text{cm}^{-1}$ monomerdeki $\text{C=C}$ pikidir.
Glisidil metakrilat (GMA) monomeri	2992 $\text{cm}^{-1}$ epoksi grubundaki ( $\text{CH}_2\text{-O-CH}$ ) C-H gerilme pikidir 1720 $\text{cm}^{-1}$ karbonil pikidir ve monomerin yapısındaki karbonil grubuna aittir. 1633 $\text{cm}^{-1}$ monomerin yapısındaki $\text{-C=C-}$ gerilmesine aittir 1305-1166-1010 $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikler ester yapısındaki $\text{-C-O-}$ gerilme pikleridir. 761 $\text{cm}^{-1}$ epoksi halkasındaki C-H eğilme titreşimine aittir.



**Şekil 5.** Mikrokapsüllere ait FT-IR spektrumu (FT-IR spectrum of the microcapsules)

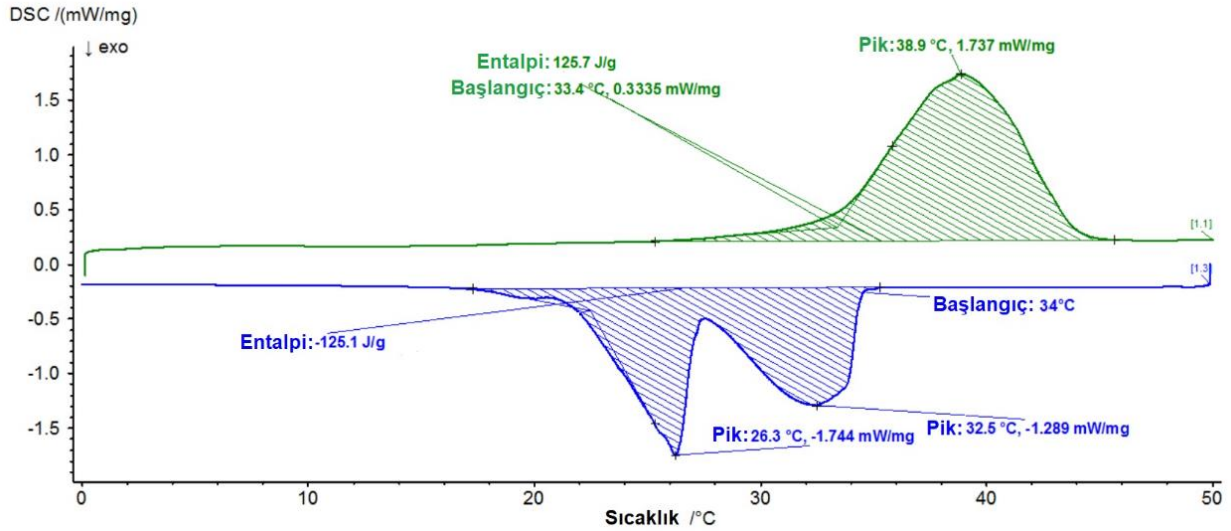
Üretilen PMMA-ko-GMA duvarlı 1-tetradekanol çekirdekli FDM mikrokapsüllere ait TGA eğrileri Şekil 6'da verilmiştir. TGA eğrileri incelendiğinde, mikrokapsüllerin iki aşamalı termal bozunma davranışı sergiledikleri belirlenmiştir. İlk bozunma %72 kütle kaybı ile sonlanmıştır. Kapsüllerde görülen bu kütle kaybı, mikrokapsül çekirdek maddesini oluşturan 1-tetradekanolün sıcaklık artışına bağlı olarak termal parçalanmasından ve buharlaşarak duvar yapısından uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Mikrokapsülünmemiş 1-tetradekanol yaklaşık 135-150 °C civarında başlayan ve 260 °C civarında sonlanan tek adım termal parçalanmaya maruz kalmaktadır (Geng vd., 2018; Wang vd., 2020; Tözüm, 2020). Mikrokapsülünmüş 1-tetradekanol bozunması mikrokapsül duvar yapısının varlığı ve termal direnci nedeniyle gecikmiştir (222 °C ve üzerinde bozunma). Mikrokapsüllere ait yaklaşık 365 °C'de başlayan ikinci termal bozunma ise duvar yapıyı oluşturan çapraz bağlı PMMA-ko-GMA kopolimer yapının termal parçalanmasından kaynaklanmaktadır (Tözüm vd., 2021) ve % 22'lik kütle kaybı ile sonlanmıştır.



**Şekil 6.** FDM mikrokapsüllere ait TGA eğrisi (TGA curve of the PCM microcapsules)



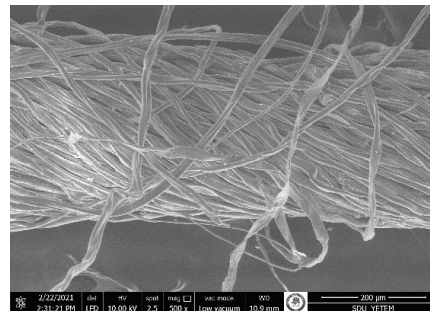
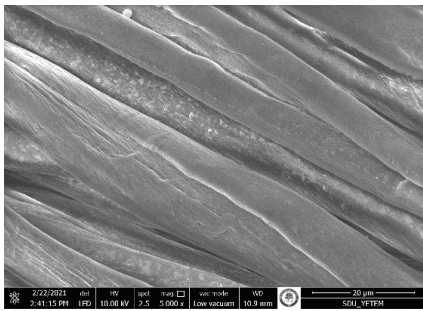
P(MMA-ko-GMA)/FDM mikrokapsüllere ait DSC grafiği Şekil 7'de verilmiştir. DSC grafiğine göre mikrokapsüllerin erime sıcaklığı 33,4 °C iken soğutulduğunda ortaya çıkan sıvı-katı ve katı-katı faz geçiş sıcaklıkları sırasıyla 34 °C ve 28 °C'dir. Mikrokapsüller erimeleri sırasında 125,7 j/g gizli ısı enerjisi depolamaktadırlar. Mikrokapsüllerin sıvı-katı ve katı-katı faz değişimi boyunca yaydıkları gizli ısı değerleri ise toplam 125,1 j/g'dir. DSC analizi sonuçları ve literatürde mevcut benzer çalışmalara ait sonuçlar değerlendirildiğinde mikrokapsüllerin termal enerji depolama malzemesi olarak kullanılabilir nitelikte yüksek enerji depolama kapasitesine sahip olduğu (Geng vd., 2018; Tözüm vd., 2020) ve tekstil materyallerine aplikasyon için uygun faz değiştirme sıcaklıklarına sahip olduğu belirlenmiştir (Sarier ve Önder, 2012).



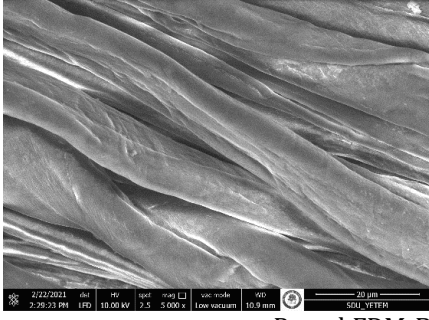
Şekil 7. FDM mikrokapsüle ait DSC eğrisi (DSC curve of the PCM microcapsule)

### 3.2. İplik Test ve Analizleri (Yarn Testing and Analyses)

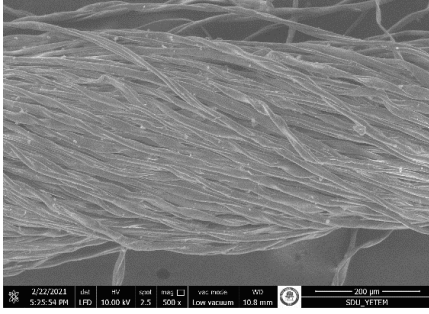
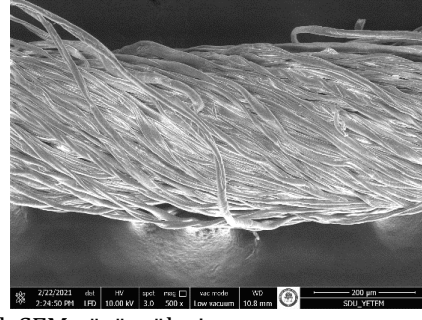
Çalışma kapsamında üretilen FDM kapsül içerikli pamuk ipliklerine (PamukFDM B1-B8, Tablo 3) ait SEM görüntüleri Şekil 8'de verilmiştir. SEM görüntülerine göre, tüm ipliklerin yapısında mikrokapsül varlığı tespit edilmiştir ve kapsüllerin iplik yapısındaki liflerin yüzeylerine oldukça homojen olarak dağıldıkları belirlenmiştir. Katyonizasyon koşullarına göre iplik yapısına applike edilen mikrokapsül miktarı değişmiş ve yapısında daha fazla miktarda mikrokapsül varlığı tespit edilmiş iplikler PamukFDM-B5 ve PamukFDM-B8 kodlu örnekler olarak belirlenmiştir. Her iki ipliğin katyonikleştirme işlemi 70 °C'de gerçekleştirilmiştir ve ardından ipliklere bobin boyama prosesi ile % 3 konsantrasyonda FDM mikrokapsüller applike edilmiştir. PamukFDM-B5 numaralı ipliğe pH 5,5'de % 20 konsantrasyonda, PamukFDM-B8 ipliğine pH 9,5'de % 30 konsantrasyonda katyonikleştirme işlemi yapılmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde katyonikleştirme pH değerinin mikrokapsül alımı üzerine belirgin bir etkisinin olmadığı ancak katyonikleştirici maddenin konsantrasyonu arttıkça mikrokapsül alımının arttığı belirlenmiştir.



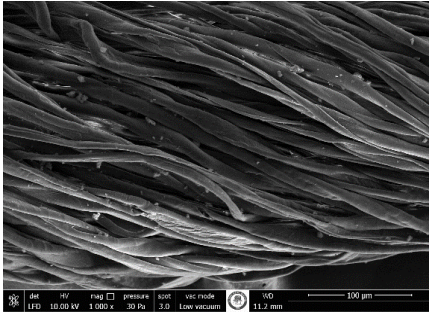
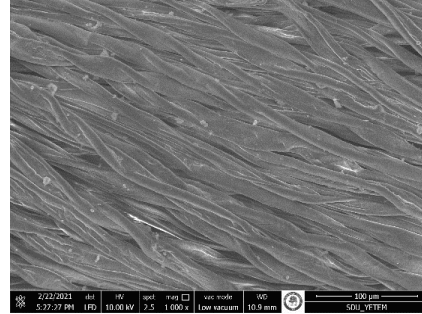
PamukFDM-B1 iplik SEM görüntüleri



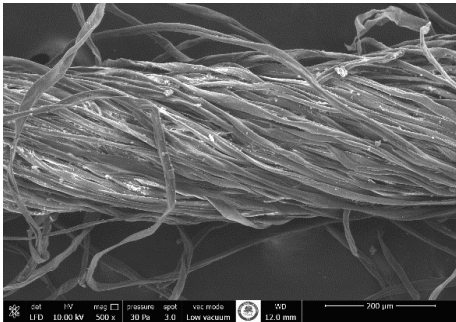
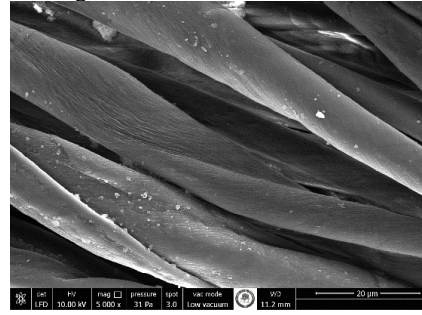
PamukFDM-B2 iplik SEM görüntüleri



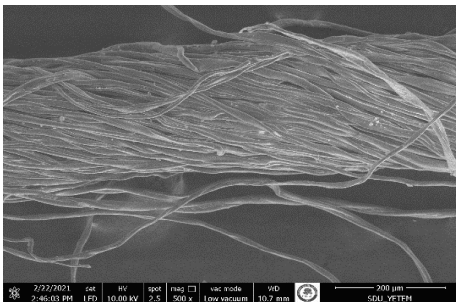
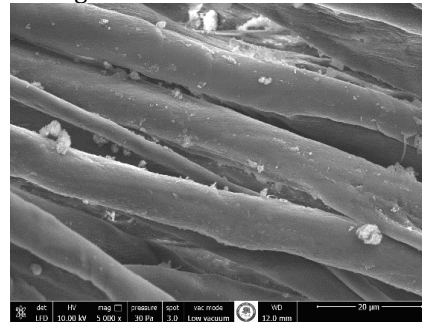
PamukFDM-B3 iplik SEM görüntüleri



PamukFDM-B4 iplik SEM görüntüleri

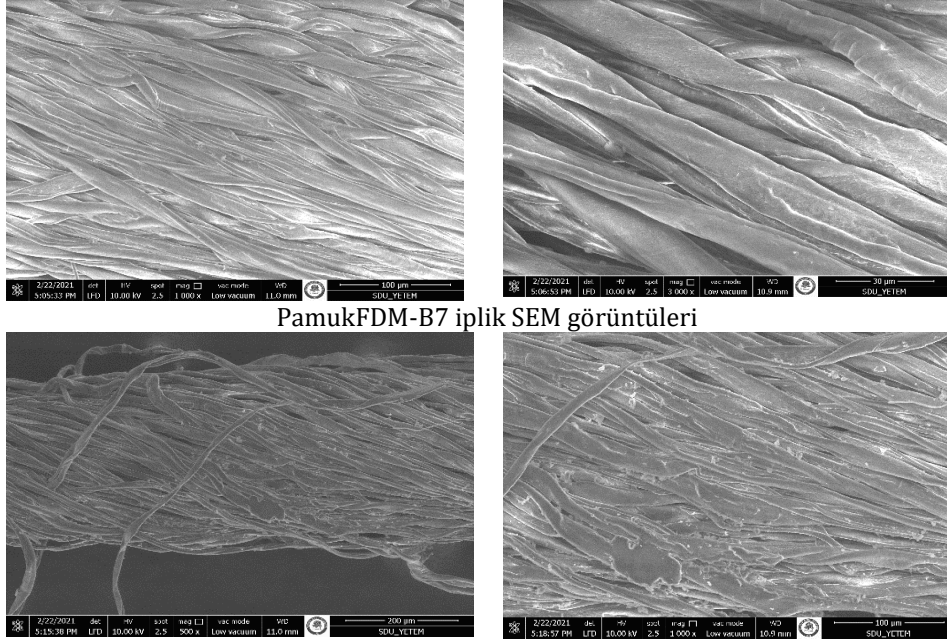


PamukFDM-B5 iplik SEM görüntüleri



PamukFDM-B6 iplik SEM görüntüleri





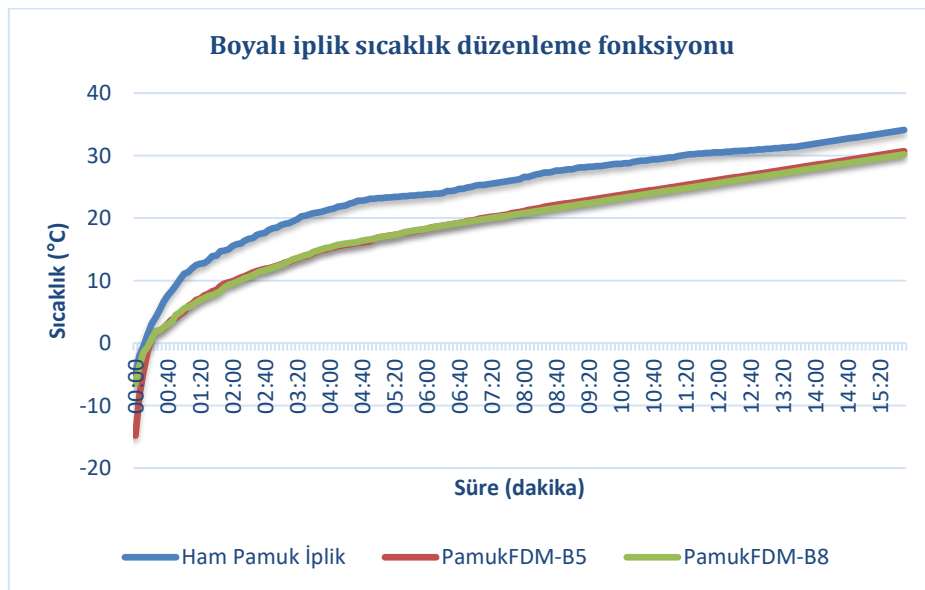
PamukFDM-B7 iplik SEM görüntüleri

PamukFDM-B8 iplik SEM görüntüleri

Şekil 8. İplik SEM görüntüleri (SEM images of the yarn)

### 3.3. İplik Termoregülasyon Özelliklerinin Tayini (Determination of Yarn Thermoregulation Properties)

İplik yapılarındaki FDM'den kaynaklanan termoregülasyon (sıcaklık düzenleme) özelliklerini belirlemek için yapılan T-history ölçümü sonucunda ham malzemeden (FDM mikrokapsül içermeyen iplik) farklı olarak FDM içerikli ipliklerin yüzeylerindeki sıcaklık farkı değerleri tespit edilmiştir. Şekil 9'da FDM mikrokapsülünün uygulandığı pamuk ipliklere ait zamana bağlı sıcaklık değişim grafiği (T-History grafiği) verilmiştir. Grafik incelendiğinde, FDM içerikli ipliklerin ham ipliğe göre daha yavaş ısındığı ve test süresi boyunca FDM içerikli ipliklerin yüzey sıcaklıklarının ham iplik yüzey sıcaklığına göre yaklaşık 5 °C daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu sıcaklık farkı FDM kapsül içerikli ipliklerin yapısındaki FDM'nin soğuk ortamda katılaştıktan (kondisyonlama sırasında) sonra sıcak ortama alındığında erimesi boyunca ortamdan ısı absorbe etmesinden kaynaklanmaktadır. Ham ipliğe göre mikrokapsül içeren ipliklerde daha yavaş ve düşük sıcaklıklara ısınma eğilimi dikkate alındığında, bu ipliklerden üretilen kumaşların ani sıcaklık değişimi durumunda ve sıcak ortama geçişte vücut sıcaklığının dengede kalması için önemli seviyede sıcaklık düzenleme etkisi sunabileceği sonucuna varılmıştır (Alay Aksoy vd., 2017; Tözüm vd., 2020; Yılmaz vd., 2022).



Şekil 9. FDM içerikli PamukFDM-B5 ve PamukFDM-B8 kodlu ipliklere ait T-History grafikleri (T-History graphs of FDM-containing PamukFDM-B5 and PamukFDM-B8 coded yarns)

#### 4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, triko bükümlü % 100 pamuk ipliklere bobin boyama prosesi ile FDM mikrokapsül uygulaması amaçlanmıştır. Bu amaç için çektirme metodu ile uygulama için uygun duvar yapısına sahip (hidroksil fonksiyonel gruplu), 1-tetradekanol çekirdekli mikrokapsüller üretilmiş ve bobin boyama prosesi ile ipliklere çektirilmiştir. Çalışmada, küresel morfolojiye ve nano parçacık boyutlarına sahip kapsüller üretilmiştir. Mikrokapsüller, 33,4 °C'de 125,7 j/g gizli ısı depolarken, sırasıyla 34 °C ve 28 °C olan sıvı-katı ve katı-katı faz geçiş sıcaklıkları sırasında 125,1 j/g ısıyı geri yaymışlardır. Termal gravimetrik analiz sonuçlarına göre mikrokapsüllerin 220 °C sıcaklıklara kadar termal olarak kararlı oldukları tespit edilmiştir.

Üretilen mikrokapsüller farklı koşullarda katyonize edilmiş pamuk ipliklere boya banyosu ile birlikte çektirilmiştir. Boyanmış ve eş zamanlı olarak mikrokapsül aplikasyonu edilmiş ipliklerin yapılarındaki mikrokapsül varlığı SEM görüntüleri ile doğrulanmıştır. SEM görüntülerine göre farklı koşullarda mikrokapsül aplikasyonu edilmiş tüm ipliklerin yapısında mikrokapsül varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca, mikrokapsüllerin iplik yapısındaki liflerin yüzeyinde oldukça homojen dağıldıkları ve genellikle katyonikleştirici madde konsantrasyonunu arttıkça ipliğe aplikasyonu edilen kapsül miktarının arttığı belirlenmiştir. Mikrokapsüllerin yapısındaki FDM'nin erimesi sırasında absorbe ettiği ısıdan kaynaklanan sıcaklık düzenleme (termoregülasyon) fonksiyonu ise T-History testi ile belirlenmiştir. Test sonuçlarına göre, FDM içerikli ipliklerin ham ipliğe göre daha yavaş ısındığı ve tüm test boyunca FDM içerikli ipliklerin yüzeyinde ölçülen sıcaklıklarının ham iplik yüzey sıcaklığına göre yaklaşık 5 °C daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, çalışmada amaçlandığı şekilde bobin boyama prosesi ile boyamaya ilave olarak ipliklere mikrokapsül uygulaması başarılı bir şekilde gerçekleştirilebildiği ve elde edilen ipliklerin dikkate değer bir sıcaklık düzenleme performansı sunabildikleri ortaya konulmuştur.

#### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2020-7974 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Bu çalışmanın iplik boyama işlemleri ve iplik testleri Başyazıcıoğlu Tekstil San. ve Tic. A.Ş. (Kayseri) firması bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı ilgili kurum/kuruluşlara teşekkürlerini sunarlar.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

#### Kaynaklar (References)

- Alay Aksoy, S., Alkan, C., Tözüm, M. S., Demirbağ, S., Altun Anayurt, R., & Ulcay, Y., 2017. Preparation And Textile Application Of Poly (Methyl Methacrylate-Co-Methacrylic Acid)/N-Octadecane And N-Eicosane Microcapsules. *The Journal of the Textile Institute*, 108(1), 30-41.
- Alay, S., Alkan, C., & Göde, F., 2011. Synthesis And Characterization Of Poly (Methyl Methacrylate)/N-Hexadecane Microcapsules Using Different Cross-Linkers And Their Application To Some Fabrics. *Thermochimica Acta*, 518(1-2), 1-8.
- Alay, S., Göde, F., & Alkan, C., 2010. Preparation And Characterization Of Poly (Methylmethacrylate-Coglycidyl Methacrylate)/N-Hexadecane Nanocapsules As A Fiber Additive For Thermal Energy Storage. *Fibers and Polymers*, 11(8), 1089-1093.
- Aydın, N., Öztürk, G., Karaboyacı, M., Alay, S., 2011. Koku İçeren Mikrokapsül Uygulanmış Akrilik El Örgüsü İpliklerden Örülen Kumaşların Karakterizasyonu, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15(1), 67-74.
- Bonet, M. Á., Capablanca, L., Monllor, P., Díaz, P., & Montava, I., 2012. Studying Bath Exhaustion As A Method To Apply Microcapsules On Fabrics. *Journal of the Textile Institute*, 103(6), 629-635.
- Bonet Aracil, M., Monllor, P., Capablanca, L., Gisbert, J., Díaz, P., & Montava, I., 2015. A Comparison Between Padding And Bath Exhaustion To Apply Microcapsules Onto Cotton. *Cellulose*, 22(3), 2117-2127.
- Chirilă, L., Popescu, A., Chiriac, L., Roxana, R., Constantinescu, E. C. M., Chelaru, C., & Raşcov, M., 2018. Functional Finishing of Textiles Using Bioactive Agents Based on Natural Products. ICAMS 2018 – 7th International Conference on Advanced Materials and Systems, Bucharest, Romania.
- Demirbağ, S., & Aksoy, S. A., 2016. Encapsulation Of Phase Change Materials By Complex Coacervation To Improve Thermal Performances And Flame Retardant Properties Of The Cotton Fabrics. *Fibers and Polymers*, 17(3), 408-417.
- Genç, E., 2016. Tekstil Uygulamaları İçin Fonksiyonel Duvarlı Mikrokapsül Üretimi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 137, Isparta.
- Geng, X., Li, W., Wang, Y., Lu, J., Wang, J., Wang, N., ... & Zhang, X., 2018. Reversible Thermochromic Microencapsulated Phase Change Materials For Thermal Energy Storage Application In Thermal Protective Clothing. *Applied Energy*, 217, 281-294.
- Giro-Paloma, J., Martinez, M., Gabeza, L., Fernandez, A., I., 2016. Types, Methods, Techniques, and Applications for Microencapsulated Phase Changematerials (MPCM). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1059-1075.
- Gomes, J. I. N. R., Vieira, R. M. M. V., & Barros, S. M. P. C. (2013). Microcapsules With Functional Reactive Groups For Binding To Fibres And Process Of Application And Fixation, United States Patent No. 8,404,345 (PCT/B2006/OSO605). Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

- Koncar, V., 2016. Introduction To Smart Textiles and Their Applications. In Koncar, V. (Ed.) Smart Textiles and Their Applications (1-8), Woodhead Publishing Association with The Textile Institute, 695p, Duxford.
- Mondal, S., 2008. Phase Change Materials for Smart Textiles-an Overview. Applied Thermal Engineering, 28, 1536-50.
- Monllor, P., Bonet, M. A., Cases, F., 2007. Characterization Of The Behaviour Of Flavour Microcapsules In Cotton Fabrics. European Polymer Journal, 43(6), 2481-2490.
- Öner, E., Saraç, E., Kahraman, M., 2019. A Study On Developing Thermo-Regulating Denim Fabric By Integrating Of Microencapsulated Phase Change Material Using Exhaustion Method. Annals of The University of Oradea, Fascicle of Textiles-Leatherwork, 20(1).
- Özkayalar, S., Adıgüzel, E., Aksoy, S. A., & Alkan, C., 2020. Reversible Color-Changing And Thermal-Energy Storing Nanocapsules Of Three-Component Thermochromic Dyes. Materials Chemistry and Physics, 252, 123162.
- Özsevinç, A., & Alkan, C., 2023. Polyurethane shell medicinal lavender release microcapsules for textile materials: An environmentally friendly preparation. Industrial Crops and Products, 192, 116131.
- Sarier, N., & Onder, E., 2012. Organic Phase Change Materials And Their Textile Applications: An Overview. Thermochimica acta, 540, 7-60.
- Tözüm, M. S., Aksoy, S. A., & Alkan, C., 2018. Microencapsulation Of Three-Component Thermochromic System For Reversible Color Change And Thermal Energy Storage. Fibers and Polymers, 19(3), 660-669.
- Tözüm, M. S., Alkan, C., & Alay Aksoy, S., 2020. Preparation Of Poly (Methyl Methacrylate-Co-Ethylene Glycol Dimethacrylate-Co-Glycidyl Methacrylate) Walled Thermochromic Microcapsules And Their Application To Cotton Fabrics. Journal of Applied Polymer Science, 137(24), 48815.
- Tözüm, M. S., Alay Aksoy, S., & Alkan, C., 2021. Manufacturing Surface Active Shell And Bisphenol A Free Thermochromic Acrylic Microcapsules For Textile Applications. International Journal of Energy Research, 45(5), 7018-7037.
- Tözüm, M. S., Alay Aksoy, S., & Alkan, C., 2022a. Development Of Reversibly Color Changing Textile Materials By Applying Some Thermochromic Microcapsules Containing Different Color Developers. The Journal of The Textile Institute, 113(10), 2159-2168.
- Tözüm, M. S., Alkan, C., & Aksoy, S. A., 2022b. Developing Of Thermal Energy Storing Visual Textile Temperature Indicators Based On Reversible Color Change. Journal of Industrial Textiles, 51(2\_suppl), 1964S-1988S.
- Wang, H., Gui, P., Zhu, Y., & Hu, S., 2020. Preparation and Characterization of Poly (melamine-urea-formaldehyde) Tetradecanol Microcapsules Coated with Silver Particles. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed., 35(2), 327-334.
- Yılmaz, D., Özen, Ö., Özkayalar, S., Alay Aksoy, S., & Söğüt, B., 2022. An Innovative Method for Microcapsule Based Functional Yarn Production. Journal of Natural Fibers, 19(14), 8051-8064.



## YERLEŞİM YERİ PLANLAMA ÇALIŞMALARINDA COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNİN KULLANIMI: MENEMEN (İZMİR) ÖRNEĞİ

Anıl ALKAN\*

Menemen Belediyesi, Etüt ve Proje Müdürlüğü, Menemen, İzmir, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Coğrafi Bilgi Sistemleri,  
İzmir,  
Kent Jeolojisi,  
Mühendislik Jeolojisi,  
Yerleşime Uygunluk.*

### Öz

İmar planı uygulamalarına veri kaynağı teşkil eden "İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt" çalışmaları, kapsamlı saha ve laboratuvar çalışmalarıyla birlikte "Yerleşime Uygunluk Haritaları"nın oluşturulmasında katkı sağlamaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışmalar; şişme, oturma ve sıvılaşma gibi farklı problemler sergileyen zemin koşullarının belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu zemin koşullarına göre kent yerleşim alanlarının sınıflandırılması, kentin jeolojisinin ortaya konulmasında büyük öneme sahiptir. Çalışmalardan elde edilen arazi ve laboratuvar verilerinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı uygulamalara aktarılması pek çok farklı parametreyi bir arada değerlendirme imkanı sunmakla birlikte karar verme süreçlerini de hızlandırmaktadır. Ayrıca, tüm zemin parametreleri ve yerleşime uygunluk haritalarının CBS yardımıyla bir arada değerlendirilmesi sağlıklı yapılaşma faaliyetleri açısından da büyük önem teşkil etmektedir. İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt çalışmaları kapsamında; İzmir İli, Menemen İlçesi'nde Menemen Belediyesi tarafından 16 mahalleyi kapsayan toplamda 9353,51 hektar alanda "İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Çalışması" gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, zemin özelliklerinin belirlenmesi için jeofizik çalışmalar (rezistivite, düşey elektrik sondaj ve sismik kırılma) ile birlikte 123 adet (toplamda 1543 metre) sondaj faaliyeti gerçekleştirilmiştir. Karot örnekleri içerisinde seçilen numuneler; zemin ve kaya mekaniği deneylerine tabi tutulmuştur. Tüm saha çalışmaları ve deney sonuçları değerlendirilerek ilgili alanların zemin özellikleri belirlenmiştir. Bununla birlikte, zemin özellikleri CBS ortamında işlenerek kategorize edilmiş ve "Yerleşime Uygunluk Haritaları" hazırlanmıştır. Söz konusu zemin parametrelerinin ve "Yerleşime Uygunluk Haritaları'nın" CBS ortamında erişilebilir olması, Menemen Belediyesi'nin "Kentsel Planlama" süreçleri için önemli bir veri bankası kaynağı oluşturmuştur. Sonuç olarak, bu çalışmada oluşturulan veri bankasının "Kentsel Planlama" karar verme mekanizmasının hızlanmasında ve sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesinde önemli oranda katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## USE OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS IN SETTLEMENT PLANNING STUDIES: THE CASE OF MENEMEN (İZMİR)

### Keywords

*Geographic  
Information Systems,  
İzmir,  
Urban Geology,  
Engineering Geology,  
Eligibility for Residence.*

### Abstract

Both extensive fieldwork, laboratory studies and "The Geological-Geotechnical Survey Based on the Urbanization Plan" studies, contribute to the creation of "Settlement Suitability Maps". These studies aim to determine soil conditions that exhibit different problems such as swelling, soil settlement and liquefaction. The classifying of the urban settlement areas is reckoned with the geology of the area. Digitizing the fieldwork and laboratory data and transferring them to Geographic Information System (GIS) based applications provides the opportunity to evaluate many different parameters together, and accelerates the decision-making processes. In addition, the evaluation of all soil parameters and maps of suitability for settlement together with the aid of GIS is of great importance for proper construction activities. In this study; "The Geological-Geotechnical Study Based on

\* İlgili yazar / Corresponding author: alkan\_anl@yahoo.com.tr, +90-444-8008-2033

the Urbanization Plan", implemented by the Menemen Municipality in the Menemen District of Izmir, was carried out on a total area of 9353.51 hectares, covering 17 neighborhoods. Within the scope of this study, 123 drilling activities in total of 1543 m length were carried out and the samples were subjected to Attenberg limits, sieve analysis, consolidation, triaxial compressive strength, water content, point loading tests, and also geophysical studies. According to the results of the test data, the soil properties were determined. The soil properties were processed and categorized in the GIS environment and "Settlement Suitability Maps" were prepared. The availability of the soil parameters and "Settlement Suitability Maps" in the GIS environment has created a valid database resource for the "Urban Planning" processes of the Municipality of Menemen. As a result, it is thought that the data bank created in this study will contribute significantly to the acceleration and healthy evaluation of the "Urban Planning" decision-making mechanism.

**Alıntı / Cite**

Alkan, A., (2023). Yerleşim Yeri Planlama Çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı: Menemen (İzmir) Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 607-630.

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

A. Alkan, 0000-0001-7166-0485

**Makale Süreci / Article Process**

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	28.11.2022
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	21.02.2023
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	22.02.2023
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

# USE OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS IN SETTLEMENT PLANNING STUDIES: THE CASE OF MENEMEN (İZMİR)

Anıl Alkan<sup>1†</sup>

Menemen Belediyesi, Etüt ve Proje Müdürlüğü, Menemen, İzmir, Türkiye

---

## Highlights

- Geoscientific data classification using Geographic Information Systems.
- Creating a Geographical Information Systems-based database to be used in Urban Planning processes.
- Creating Settlement Suitability Maps with the help of Geographical Information Systems based programs.

---

## Purpose and Scope

The aim of this study is to collect and evaluate geoscientific data in Geographic Information System-based programs in urban planning studies and to accelerate decision-making processes.

## Design/methodology/approach

The samples taken within the scope of the geological and geophysical studies carried out were subjected to laboratory activities. During the field activities of the study, Google Earth Pro program was used effectively. The locations of the drilling and geophysical studies were transferred to this program, enabling the monitoring of all contents together and the comparison of the results. The created data set was transferred to the ready maps with the help of Geographic Information Systems-based programs and the ground classification process was carried out in order to benefit from the urban structuring.

## Findings

With this study, the geological-geotechnical activities and ground properties that are the basis of the Zoning Plan of the Menemen District of İzmir Province were determined. The data obtained were categorized by processing in Geographic Information Systems-based programs and "Settlement Suitability Maps" were created. While categorizing the soils and creating the Settlement Suitability Maps, it creates a data source before the construction activities to be carried out; It allows the pre-detection of areas that may contain soil problems such as swelling, settlement and liquefaction.

## Originality

It is thought that the data bank created in this study will contribute significantly to the acceleration and healthy evaluation of the "Urban Planning" decision-making mechanism. Having easily accessible data integrated into Geographical Information Systems-based programs in the inventory of local municipalities will enable the problems to be encountered in urban development areas in the future to be revealed as soon as possible, and will provide a significant acceleration in the operation.

---

## 1. Giriş (Introduction)

Günümüzde kent nüfuslarının hızlı bir şekilde artışına bağlı olarak güvenli yeni yerleşim alanlarına olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Ancak, deprem, sel ve heyelan gibi doğal afetler; insan yerleşimleri, sanayi tesisleri, ulaşım-alt yapı güzergâhları ve benzeri yerleşim alanlarını olumsuz etkilemektedir. Örneğin, 30.10.2020 tarihinde merkez üssü Ege Denizi, Seferihisar-İzmir açıkları olan (Sisam Adası'nın hemen kuzeyinde, ülkemiz sınırları içinde Seferihisar ilçesinin kıyı kesimlerine yaklaşık 22 km uzaklıkta), aletsel büyüklüğü Mw=6.6 (AFAD), Mw=6.9 (B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü) büyüklüğünde, yerin 14.9 km derininde bir deprem meydana gelmiştir. 41. güne kadar aletsel büyüklüğü en çok 5.1 olan 5099 adet artçı deprem kaydedilmiştir. Deprem özellikle zemin etkisi ve yapısal problemlerden dolayı İzmir kent merkezinde Bayraklı mevkiinde can ve mal kaybına sebep olmuştur. Hasarın Bayraklı'da ve 7-10 katlı binalarda yoğunlaşmasının sebebi zemin büyütme etkisi nedeniyle bu binalara daha fazla deprem kuvvetlerinin etki etmiş olmasıdır (Çınar vd., 2020). Afetlerin yerleşim alanlarını en az şekilde etkilemesi ve doğru arazi kullanımı için "Kentsel Planlama" vazgeçilmezdir (Uzunçubuk, 2019). Bu kapsamda, belirli bir alan veya bölge için yapılan imar planları, sağlıklı yapılaşma ve kentlerin oluşturulabilmesi bakımından önemli bir role sahiptir. Bu planlar uzun vadeli ve geniş çaplı olmakla birlikte ileriye dönük olarak şehirleşmenin ve fiziki imkânların yüksek standartlarda oluşturulmasını amaçlamaktadır.

---

<sup>†</sup> İlgili yazar / Corresponding author: alkan\_anl@yahoo.com.tr, +90-444-8008-2033



Planlama süreçlerine veri kaynağı teşkil eden “İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Çalışmaları” sağlıklı kentleşmenin temel yapı taşı oluşturmaktadır. Yerleşim alanlarında saha ve laboratuvar çalışmalarıyla elde edilen verilerin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı programlarda depolanması birçok parametrenin bir arada değerlendirilmesine ve kategorize edilmesine imkân sağlamaktadır. CBS her türlü coğrafi bilginin etkin olarak kullanıldığı, depolandığı, güncellendiği, analizlerinin yapıldığı ve sonuç ürün olarak haritaların sunulduğu çok yönlü bir sistemdir (Çabuk 2015). Bilgi sistemleri oluşturmanın ve kullanmanın temel amacı, mevcut veriler ile bir veri tabanı oluşturularak bilginin analiz edilmesini ve ihtiyaçlar doğrultusunda depolanmasını sağlamaktır. CBS birçok alanda olduğu gibi jeolojik çalışmalarda da önemli bir kullanım alanına sahiptir. Üretilen veri kaynakları, çalışılan alanların jeolojik yapı ve jeomorfolojisinin yorumlanmasında büyük katkı sağladığı gibi bir takım sayısal sonuçların da elde edilmesinde önemli kolaylıklar sağlamaktadır (Arca vd., 2011). CBS ile mevcut verilerden elde edilen analizler sayesinde hem doğru bilgiye ulaşmak hem de veri üzerinde çalışmak daha kolay hale gelmektedir (GISITU, 2012). Herhangi bir bölge için; kaya ve toprak zemin sınıflama haritası, kazılabilirlik haritası, topografik veriler kullanılarak eğim haritası, sondaj verileri depolanarak aynı özellikteki litolojik birimler için veya kaya kütlesi puanlarına göre mühendislik sınıflamasını gösteren harita ve kesitler, yerleşime uygun alanların seçimi, heyelan tehlike haritası, sıvılaşma potansiyeli haritalarının oluşturulması CBS'nin jeolojide uygulama alanlarına ait en tipik örneklerdir (Çelik, 2006).

Türkiye’de İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Çalışmaları baskı formatta tesliminin yanı sıra Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı bünyesinde oluşturulan Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı Yer Bilimsel Etüt Bilgi Sisteminde (YERBİS) yüklenilmekte, kontrolleri yetkili personeller tarafından baskı ve sayısal veri bütünlüğü üzerinden sağlanmaktadır. Yer bilimsel etüt sürecine ait tüm raporlara hızlı ve güvenilir bir sistemden erişebilmeyi, harita servisleri ile web ortamında veri girişi, indirme ve veri yükleme işlemlerini yapmaya imkân sağlayan CBS altyapısında geliştirilen bu bilgi sistemi jeolojik-jeoteknik birçok verinin bir arada değerlendirilmesine ve çevrede gerçekleştirilen diğer çalışmalarla kıyaslanabilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada Ege Bölgesi’nde İzmir İli sınırları içerisinde yer alan 200.904 nüfuslu Menemen İlçesinin şehir planlama çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt faaliyetlerine ait verilerin bir araya getirilerek CBS tabanlı veri bankası oluşturulması hedeflenmiştir. Yerel belediyeler bünyesinde İmar Planına Esas çalışmalara ait uygulamaların kullanılmasıyla oluşturulmuş olan CBS tabanlı veri bankaları, ilçe bütününde sağlıklı bir kentleşmeye imkân sağlamakla birlikte yapılaşma faaliyetleri esnasında gerçekleştirilen etüt çalışmalarının da değerlendirilmesinde verilerin birbirleri ile kıyaslanabilmesine katkı sunmaktadır. İlçe belediyeler bünyesinde zemin parametrelerinin tüm bu çalışmalar ile ortaya konulması, büyükşehir belediyeleri tarafından gerçekleştirilecek uygulamalara altlık teşkil edecek olmakla birlikte bu doğrultuda oluşturulacak veri bütünlüğü ile tüm bir kent genelinde sağlıklı yapılaşmaya olanak sağlayacaktır.

## 2. Çalışma Alanının Jeolojisi (Geology of Study Area)

İzmir ve çevresinin bölgesel jeolojik özellikleri değerlendirildiğinde Prekambriyen’den günümüze kadar oluşmuş çeşitli yaş ve türdeki kaya birimlerinin yüzlek verdiği gözlemlenmektedir (Şengör vd., 1984., Okay ve Siyako, 1991), (Şekil 1a,b). Çalışma sahasında yaşlıdan gence doğru; Kretase yaşlı melanaj birimleri, Erken Miyosen yaşlı kumtaşı-silttaşı-kireçtaşı birimi, Orta-Geç Miyosen yaşlı bazalt-andezit birimi, Orta Miyosen yaşlı kireçtaşı birimi ve Kuvaterner yaşlı alüvyon-alüvyon yelpazesi birimleri gözlenmektedir. İnceleme alanının kuzey, güney ve batısı genellikle alüvyon birimlerden oluşurken doğusu ise kaya birimlerden oluşmaktadır (Şekil 1c).

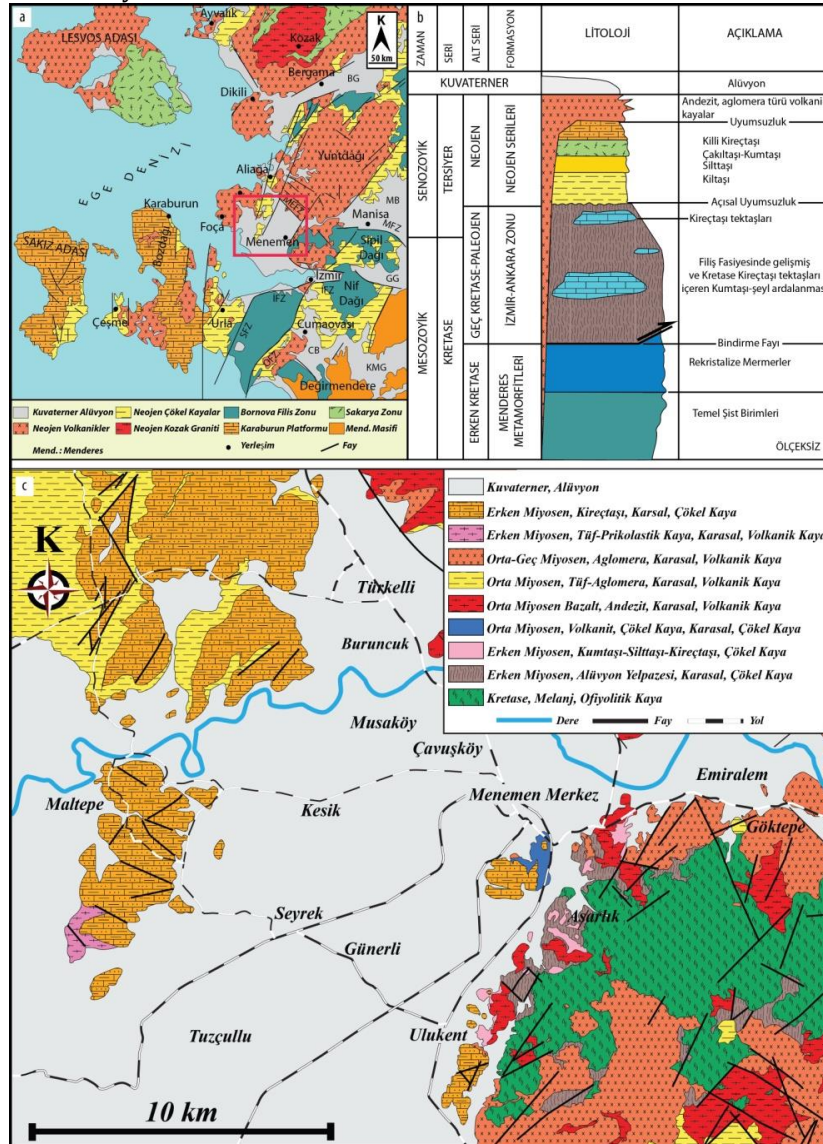
İnceleme alanında gerçekleştirilen saha çalışmaları ve araştırma sondajı verilerine göre; çalışma sahası jeolojisini genel olarak Kuvaterner yaşlı alüvyon birimi oluşturmaktadır. Yapılan elek analizi sonuçlarına göre, alüvyon birimin genellikle siltli kum, çakıllı kumlu kil, siltli killi kum, silt, kum, iri bloklu çakıllı kum birimlerini içerdiği tespit edilmiştir. Alüvyonun üst kesimleri silt, alt kesimleri ise killi, çakıllı-kumlu, killi-kumlu, kumlu, killi-çakıllı seviyelerden oluşmaktadır. Alt seviyelerde şist ve filiş formasyonuna ait birimler bulunur. Delta alanının çevresindeki yüksek kesimlerden gelen akarsuların ağızlarında gözlenen çeşitli boyutlarda birikinti koni ve yelpazeler önem taşırlar. Alüvyon yelpazeleri çalışma sahası içerisinde Hatun Dere, Asarlık Deresi ve Koyundere mevkii çevresinde saptanırken, iri bloklu çakıllı kum biriminden oluştuğu gözlemlenmektedir.

Bölgede kısa süren bir Eosen transgresyonu olmasına rağmen, ardından gelen regresyon ve uzun bir aşınım devresi çökellerini büyük ölçüde ortadan kaldırmış ve Neojen başlarına kadar herhangi bir çökeltme safhası olmamıştır (Düzbastılar, 1976). Tersiyer birimler; Miyosen-Geç Miyosen yaşlı gölsel çökeller ve Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı andezitik, bazaltik volkanizma ürünleri ile temsil edilmektedir. Erken Miyosen yaşlı kumtaşı-silttaşı-kireçtaşı birimleri Ulukent ve Yahşelli çevresinde saptanmıştır. Bu birimler, açık kahve-kırmızımsı renkli, orta ve tamamen ayrıışmış zemin özelliği göstermektedirler.

Yine Ulukent ve Menemen Merkezde Orta Miyosen yaşlı sütlü kahve-sarımsı renkli, az-orta derecede ayrıışmış, orta sert-zayıf sertlikte ve orta derecede çatlaklı kireçtaşı ve marn birimleri gözlemlenmektedir. Bu lokasyonlarda marn ve kireçtaşı birimleri yer yer volkanitleri örttüğü gibi yer yer volkanitler tarafından şapka şeklinde örtülmektedirler. Bu durum yerel faylanmalara bağlı olarak Neojen tortullarını kesip yüzeye çıkan volkanitlerin bu tortulları örtmesi şeklinde açıklanabilir (Semenderoğlu 1990).

Orta-Geç Miyosen yaşlı andezit ve bazalt birimleri çalışma sahasında Türkelli, Buruncuk, Yahşelli, Ulukent, Göktepe, Emiralem ve Menemen Merkez de çeşitli lokasyonlarda gözlenmektedir. Andezit birimi, bej-gri renkli ve mühendislik özellikleri açısından, az-orta derecede ayrıışmış, orta-sert sertlikte, orta derecede çatlaklı ve yer yer silis dolguludur. Bazalt birimi, siyah renkli, az-orta derecede ayrıışmış, orta-sert sertlikte, orta dereceli çatlaklı ve yer yer silis dolguludur.

Geç Miyosen yaşlı killi kireçtaşı-kil taşı ve tuf birimleri Maltepe Bölgesi ve çevresinde yüzeyleme vermektedir. Killi kireçtaşı-kil taşı birimi, sütlü kahve-sarımsı renkli ve mühendislik özellikleri açısından az-orta derecede ayrıışmış orta sert-zayıf sertlikte ve orta derecede çatlaklıdır. Tuf birimi ise, beyaz, kirli beyaz-krem renkli az-orta derecede ayrıışmış orta sert-zayıf sertliktedir.



**Şekil 1.** a) İzmir ve çevresine ait basitleştirilmiş jeoloji haritası (Uzel vd.,2012) (Simplified geological map of Izmir and its surroundings), b) Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (ölçeksizdir) (Generalized stratigraphic section of the region (not to scale)), c) Çalışma sahası ve çevresi 1/25.000 ölçekli genel jeoloji haritası (MTA jeoloji haritalarından revize edilerek alınmıştır) (1/25.000 scale general geological map of the study area and its surroundings (revised from MTA geological maps))

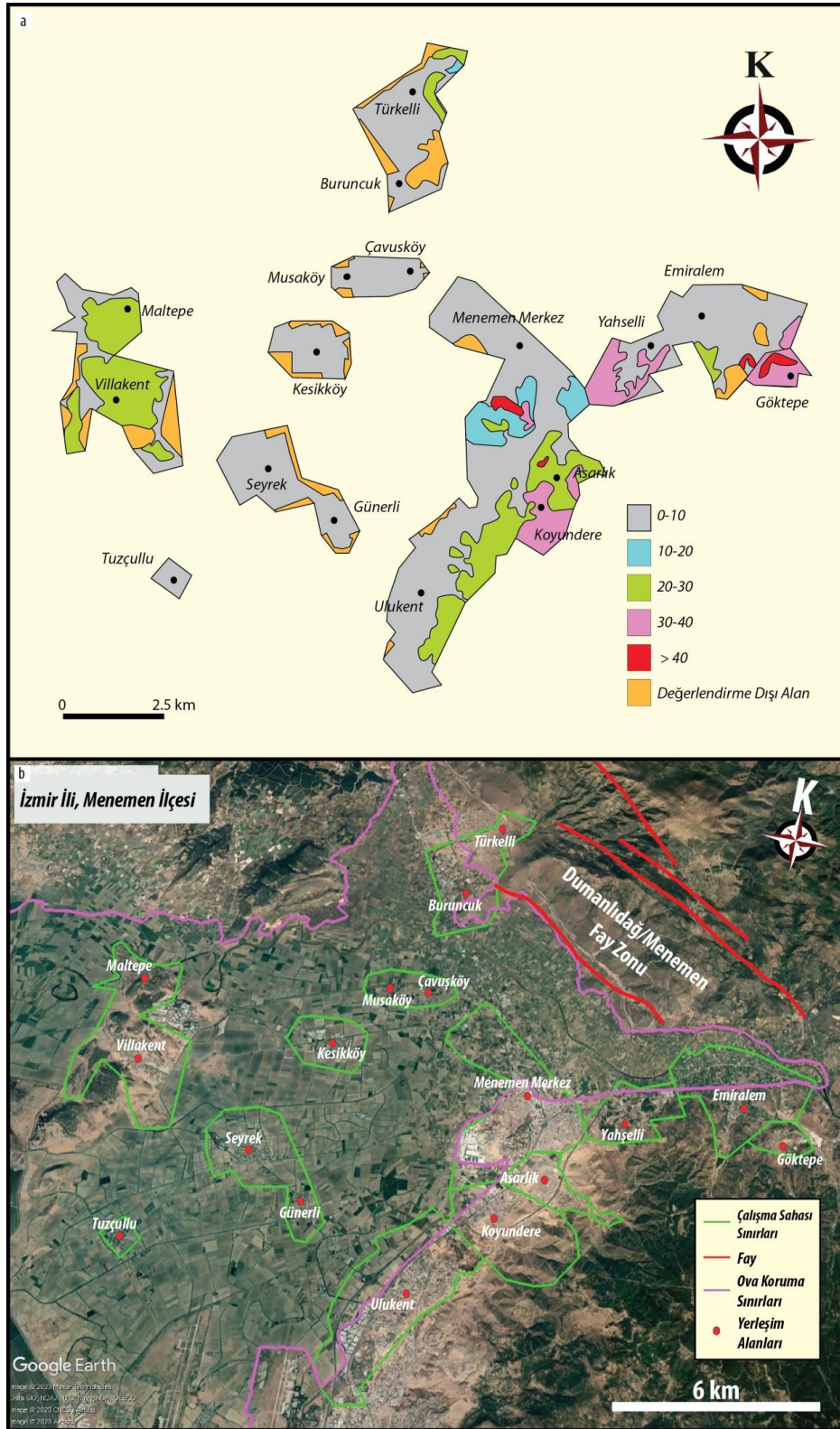
Çalışma sahası içerisinde Asarlık ve Koyundere hattının üst kesimlerinde Kretase yaşlı ofiyolitik melanj birimleri gözlenmektedir (Şekil 1c).

### 3. Yapısal Jeoloji ve Jeomorfoloji (Structural Geology and Geomorphology)

Menemen Ovası Gediz Havzası içerisinde, Gediz Nehrinin denize döküldüğü çöküntüde yer alan bir delta ovasıdır. Menemen'in üzerinde yer aldığı Gediz deltası ve Gediz grabeni geniş düzlükler oluşturmaktadır (Şekil 2a,b). Graben morfoloji içerisinde alüvyon yelpazesi ve nehir çökellerinden oluşan Kuvaterner çökelleri, graben kenarındaki faylar tarafından kesilerek yükseltilmiş ve basamaklı bir morfoloji kazanmıştır (Öğdüm, 1983).

Menemen kuzeyindeki Dumanlıdağ volkan kompleksi ile Gediz nehri taşkın ovası arasında yer alan ve KB-GD doğrultusunda uzanan faylar Menemen fay zonu olarak adlandırılmaktadır. Bu fay zonu ilk kez Şaroğlu vd. (1987, 1992) tarafından haritalanmış ve Dumanlıdağ fay zonu olarak tanımlanmıştır (Şekil 2b). Bu çalışmada fay adlamasında ilke olarak en yakın büyük yerleşme adının kullanılması nedeniyle Menemen Fay Zonu adlaması tercih edilmiştir. Kabaca biri birine paralel uzanan K60B genel doğrultulu dört eğim atımlı normal fay parçasından meydana gelen fay zonunun toplam uzunluğu 15 km'dir. Zondaki faylardan Dumanlıdağ zirvesinde yer alanların tümü Miyosen yaşlı strato-volkan konisini oluşturan lavları kesmektedir (Öğdüm, 1983, Eşder vd., 1991) (Şekil 2b). Fay zonunun genişliği 5 km'yi bulmaktadır. Fay zonunun kuzeybatı bölümünü oluşturan fay 8 km uzunluğundadır. Bu parça zonun genel doğrultusundan farklı olarak K50B uzanımlıdır. Zonun ortasında yer alan en uzun fay ise 12 km uzunluğundadır. Menemen fay zonunu meydana getiren faylardan en güneydeki ise Menemen kuzeyindeki Gediz nehri taşkın ovası ile Dumanlıdağ yükselimi arasında morfolojik diskordans oluşturmaktadır. K55B doğrultulu bu çizgisellik 8 km uzunluğundadır. Fay volkanitlerle Menemen ovasının alüvyonları arasında dokanak oluşturur (Şekil 2b).

Çalışma sahasında eğim %0 ile %35 arasında değişmektedir. İnceleme alanının genellikle batı, kuzey, güney kesimleri düz ova niteliğinde olup, eğimi %0-10 arasında değişmektedir. Ova dışında kalan özellikle inceleme alanının doğu kesimlerinde ise eğim değerleri %10-20, %20-30 ve %30-35 arasında değişmektedir (Şekil 2a).

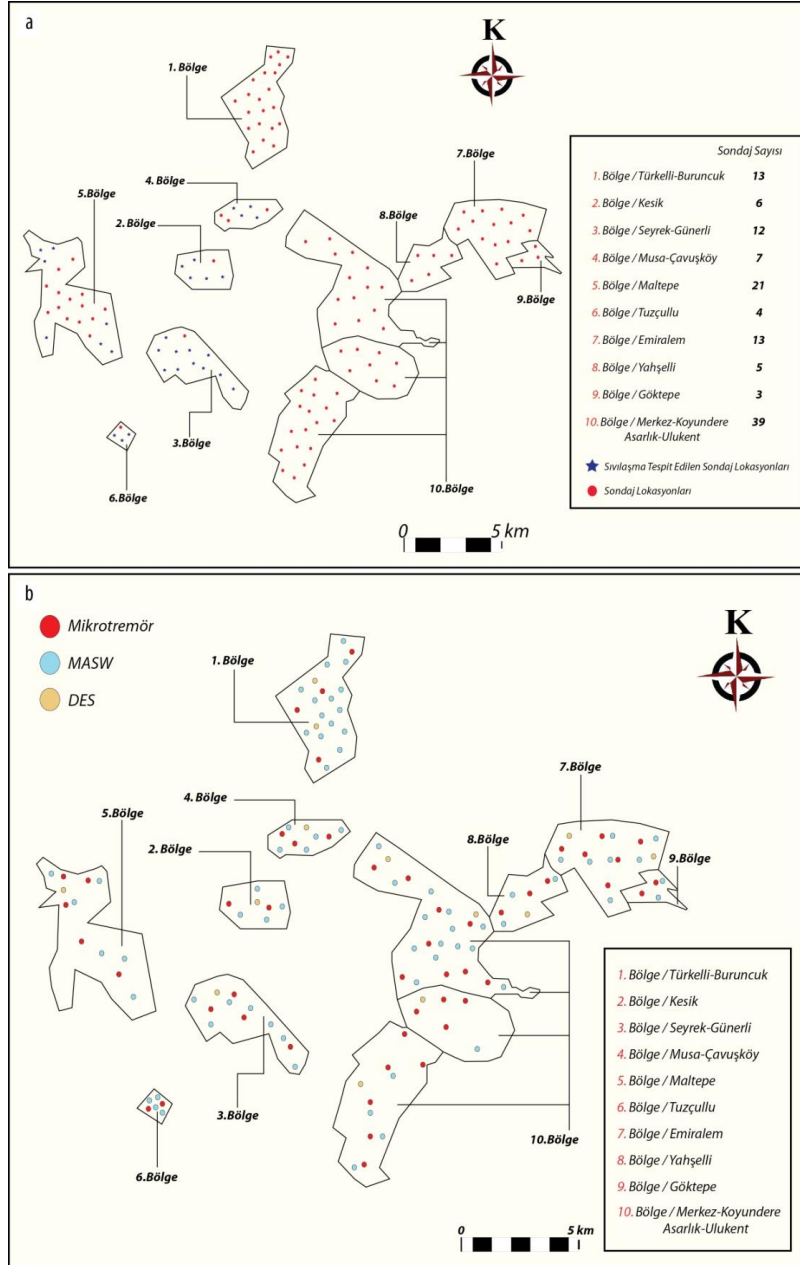


**Şekil 2.** (a) Çalışma sahasına ait eğim haritası (Slope map of the study area) (b) Çalışma sahası morfolojisini ve yerleşim alanlarını gösteren Google Earth görüntüsü (Google Earth image showing worksite morphology and residential areas)

Musaköy-Çavuşköy, Tuzçullu, Kesik, Seyrek-Günerli yerleşimlerinin eğimleri %0-10 arasında olup, tamamen düz ova niteliğindedir (Şekil 2a,b). Maltepe yerleşiminde eğim dağılımı %0-10, %10-20, %20-30 ve %30-40 arasında değişmektedir. Türkelli-Buruncuk yerleşimlerinde ise eğim dağılımı %0-10, %10-20, %20-30 ve %30-35 arasında değişmektedir (Şekil 2a). Kesik, Seyrek-Günerli, Musaköy-Çavuşköy ve Tuzçullu yerleşimlerinin tamamı ile Maltepe ve Türkelli-Buruncuk yerleşimlerinin ise bir kısmı düz ova niteliğindedir. (Şekil 2a,b). Emiralem, Yahşelli, Göktepe, Menemen Merkez, Ulukent, Asarlık, Koyundere yerleşimlerini kapsayan inceleme alanı, birbiriyle iç içe bağlantılı olmasından dolayı eğim durumu genel değerlendirilmiştir. İnceleme alanında genel anlamda topoğrafik eğim %0-%10, %10-%20, %20-%30 ve %30-%40 arasında belirlenmiştir (Şekil 2a).

#### 4. Materyal ve Metot (Material and Method)

Çalışma kapsamında sondaj ve jeofizik çalışmaların gerçekleştirileceği lokasyonlar belirlenerek uygulamalar yapılmış bu uygulamalar dahilinde alınan örnekler laboratuvar çalışmalarına tabii tutulmuştur. İnceleme alanında yer alan birimleri tanımlayacak şekilde derinlikleri 5 ile 25 metre arasında değişen ve toplam derinliği 1,543 m olan 123 adet sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir (Şekil 3a), (Tablo 1). Türkelli yerleşim alanında eğimin çok yüksek olduğu kesimlerde sondaj çalışması yapılamadığından, 8 adet gözlem noktası oluşturulmuştur. Jeofizik çalışmalar kapsamında, 71 Serim Yüzey Dalgasının Çok Kanallı Analizi (Masw)-Kırılma, 13 Serim Düşey Elektrik Sondajı (DES) ve 50 Adet Mikrotremör ölçümü gerçekleştirilmiştir (Tablo 1).



**Şekil 3.** (a)Çalışma sahasında gerçekleştirilen sondaj faaliyetleri ve (b) jeofizik çalışmalara ait lokasyonları gösteren harita (Map showing the locations of (a) adrilling activities and (b) geophysical studies carried out in the study area)

**Tablo 1.** Çalışma sahasında gerçekleştirilen jeolojik-jeoteknik uygulamalar  
(Geological-geotechnical applications in the study area)

<i>Yerleşim Yeri</i>	<i>Sondaj (Adet)</i>	<i>Araştırma Çukurları (Adet)</i>	<i>Masw-Kırılma (Adet)</i>	<i>Mikrotremör (Adet)</i>	<i>DES (Adet)</i>
<i>Türkelli-Buruncuk</i>	13	8	14	4	2
<i>Kesik</i>	6	0	4	2	1
<i>Seyrek-Günerli</i>	12	0	7	4	1
<i>Musaköy-Çavuşköy</i>	7	0	6	3	1
<i>Maltepe</i>	21	0	6	5	1
<i>Tuzçullu</i>	4	0	4	2	0
<i>Emiralem</i>	13	0	7	6	1
<i>Yahşelli</i>	5	0	4	3	1
<i>Göktepe</i>	3	0	2	2	1
<i>Menemen Merkez-Koyundere-Asarlık-Ulukent</i>	39	0	17	19	4
<b><i>TOPLAM</i></b>	<b>123</b>	<b>8</b>	<b>71</b>	<b>50</b>	<b>13</b>

İnceleme sahasında farklı profillerde 71 adet MASW- Kırılma çalışması yapılarak zemine ait tabakaların yapısal durumu, fiziksel koşulları ve dinamik elastik parametreleri belirlenmiştir (Şekil 3b). MASW- Kırılma uygulamalarında Lakkolit X-M3 marka 24 kanallı Sismik cihaz kullanılmıştır. Ofset mesafesi 3.00 m, jeofon aralığı 3.00 m olan toplam 36.00 metre serilim yapılmış olup, örnekleme aralığı 1 ms, örnekleme frekansı 5.000 Hz ve kayıt uzunluğu 1 sn seçilerek 10 Hz ve 4.5 Hz düzey jeofonlar ile ölçüm yapılmıştır. Sismik kaynak olarak ise 10 kg ağırlığında balyoz kullanılmıştır.

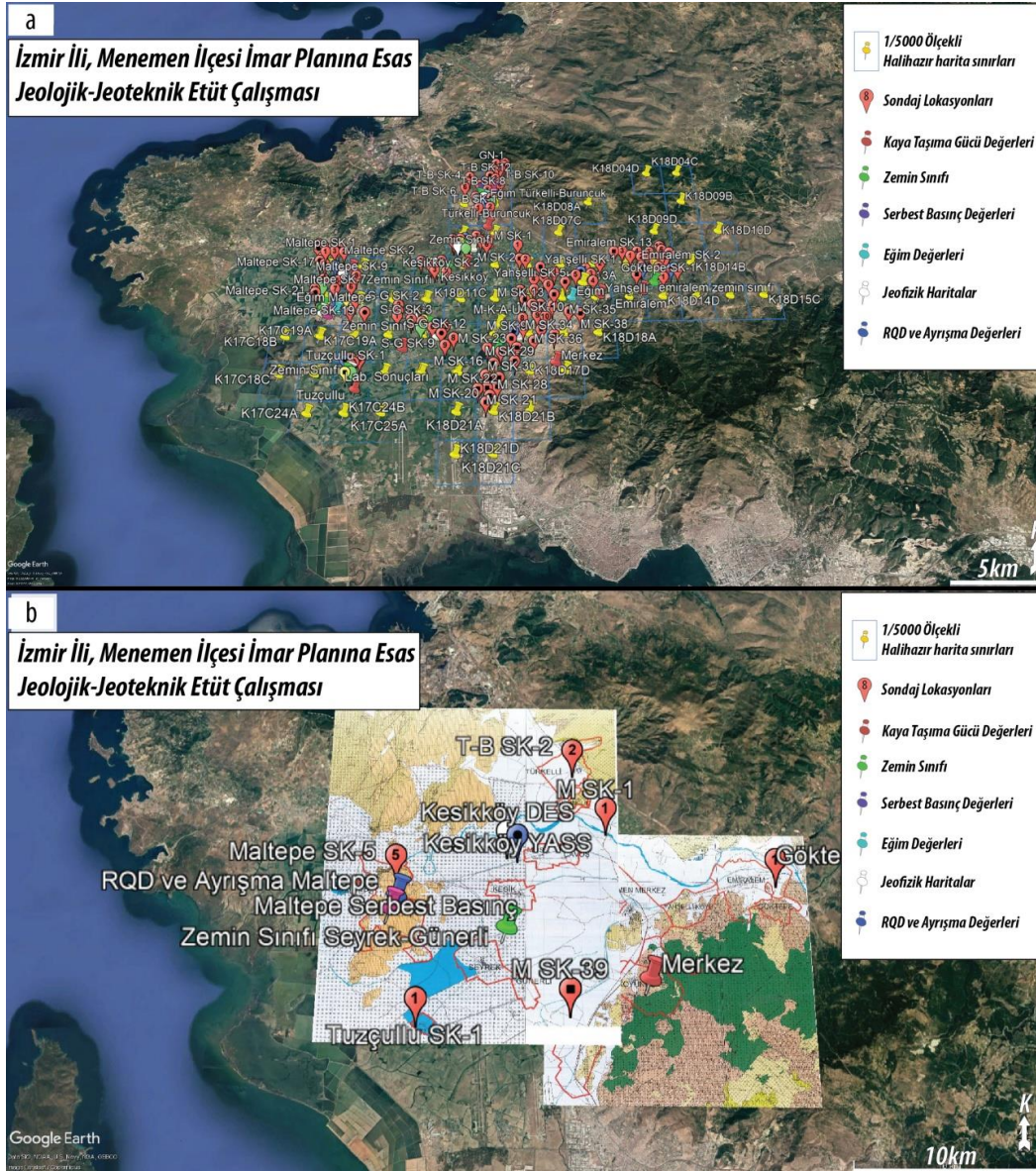
Bununla birlikte 71 profil Sismik Kırılma çalışması gerçekleştirilerek inceleme alanı zeminine ait tabakaların P hızları bu yöntemle düz ve ters atışlar yapılarak tespit edilmiştir (Şekil 3b). MASW çalışmaları sismik kırılma çalışmaları ile aynı hat boyunca yapılmış ve dispersiyon eğrilerinden yararlanılarak Vs hızları tespit edilmiştir. Tespit edilen Vs hızları sismik kırılma çalışmaları ile bulunan tabaka kalınlıklarına denk gelen Vs hızlarının ortalaması alınarak hesaplanmıştır. MASW çalışmaları ile elde edilen veriler ile yeraltı hız yapısı, zeminin dinamik elastik özellikleri, zemin hakim titreşim periyotları ve zemin büyütme belirlenmiştir.

Çalışma sahasında 13 lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen arazi verileri IPI2win(Lite) tarafından geliştirilen bir Shareware yazılımı olan IPI2win programı yardımıyla değerlendirilip ortamın öz direnç, kalınlık ve derinlikleri tanımlanmıştır (Şekil 3b). DES çalışmaları toplam serim uzunluğu AB/2 =250-300m olarak yapılmıştır. Çalışma alanının jeolojik yapısına ve çalışma amacına göre en iyi sonucu verecek olan Schlumberger dizilim türü ile ölçümler alınmıştır.

Bu çalışmalarla birlikte veri çeşitliliğini sağlamak amacıyla 50 lokasyonda Mikrotremör (titreşimcik) ölçümü yapılarak, inceleme alanını oluşturan birimlerinin zemin hâkim titreşim periyotları ile zemin büyütme değerleri tespit edilmiştir (Şekil 3b). Mikrotremör ölçümlerinde, üç bileşen sismometre (AMBROGEO, HVSR 3, ECHO TROMO) hız ölçer mikrotremör kullanılmıştır. Sismometreler ivme, hız ve yer değiştirmeye duyarlı olup bu üç büyüklükten biri seçilerek kayıt alınabilmektedir. Kayıtlarda güç kaynağı olarak 12V'luk akü kullanılmıştır. Arazide kayıtlar doğrudan cihaz ile sayısal olarak alınmıştır. Alınan kayıtların örnekleme frekansı 100 Hz'dir. Mikrotremör ölçümlerinden zaman ortamında elde edilen üç bileşen kayıtları, H/V spektral oran yöntemi veya tek istasyon mikrotremör yöntemi olarak adlandırılan Nakamura yöntemine göre değerlendirilmiş, spektral analiz ile frekans ortamına aktarılıp spektral oranları alındığında, zeminin fiziksel özelliklerini yansıtan parametreler (baskın periyod ve büyütme) belirlenmiştir (Nakamura 1989).

Sondaj çalışmaları, kamyon üzerine monteli Crealius D-900 tipinde rotary sistem çalışan sondaj makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Arazi incelemeleri sırasında sondajlardan alınan örselenmiş (SPT) ve örselenmemiş (UD) zemin örneklerinden ve karot örneklerinden zeminin tipik özelliklerini belirleyecek olanlar seçilerek Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı onaylı laboratuvarlarda, Atterberg limitleri, su içeriği, birim hacim ağırlık ölçümü, kesme kutusu, konsolidasyon deneyleri ve elek analizi gibi zemin mekaniği, üç eksenli sıkışma, tek eksenli basınç ve nokta yükleme deneyleri gibi kaya mekaniği deneylerine tabi tutulmuştur. Saha gözlemleri, jeofizik ölçümler, sondaj faaliyetleri ve laboratuvar sonuçları değerlendirilerek zemin sınıflandırmaları yapılmış ve sonuç olarak Yerleşime Uygunluk Haritaları oluşturulmuştur.

Çalışmanın saha faaliyetleri aşamasında Google Earth Pro programı etkin olarak kullanılmıştır. Sondaj ve jeofizik çalışmalara ait lokasyonlar bu program üzerine aktarılarak tüm içeriklerin beraber takibine imkan sağlanmıştır (Şekil 4a,b).



**Şekil 4.** a) Jeolojik-jeoteknik etüt çalışmalarına ait lokasyonların Google Earth Pro programında görünümü ve b) Çalışmalarla ait lokasyonlar ve çalışma sahasına ait genel jeoloji haritalarının Google Earth Pro programında görünümü ((a) View of the locations of geological-geotechnical studies in Google Earth Pro program and (b) View of the locations of the studies and the general geological maps of the study area in the Google Earth Pro program))

Bu çerçevede oluşturulan veri seti, MapInfo programı yardımıyla sayısallaştırılan 1/5000 ve 1/1000 Ölçekli hali hazır haritalar üzerine aktarılmıştır. Sondaj loglarının ve jeofizik çalışmalara ait verilerin bir arada değerlendirilerek zemin gruplamalarının gerçekleştirilmesi işlemi veri görüntüleme, düzenleme ve çözümleme yetenekleri sağlayan çoklu platform destekli ve açık kaynaklı bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan QGIS programı yardımıyla sağlanmıştır. Hali hazır haritaların ve saha çalışmalarına ait verilerin bir arada değerlendirilerek sonuç haritalarının (Eğim Haritaları, Yerleşime Uygunluk Haritaları, Jeoloji Haritaları), oluşturulması işlemi NetCAD programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Jeoloji Haritalarının çizilmesi ve diğer sonuç haritalarıyla korelasyonları Adobe Illustrator programında gerçekleştirilmiştir.

## 5. Bulgular (Results)

Çalışma İzmir İli, Menemen İlçesi'nde İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt faaliyetleri kapsamında planlanmış olup 16 mahallede toplam 9353,51 hektar alanda gerçekleştirilmiştir. Jeofizik ölçümler, sondaj faaliyetleri, alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar çalışmalarının dağılımını gösterebilmek adına birbirlerine olan uzaklıkları dikkate alınarak çalışma sahası;

1. Bölge Türkelli-Buruncuk, 2. Bölge Kesik, 3. Bölge Seyrek-Günerli, 4. Bölge Musaköy-Çavuşköy, 5. Bölge Maltepe, 6. Bölge Tuzçullu, 7. Bölge Emiralem, 8. Bölge Yahşelli, 9. Bölge Göktepe, 10. Bölge Menemen Merkez, Koyundere, Asarlık ve Ulukent yerleşimleri olmak üzere on alana bölünmüştür (Şekil 3a,b).

### 5.1. Saha ve Laboratuvar Çalışmaları (Field and Laboratory Studies)

Çalışma alanının en kuzeyinde yer alan Türkelli-Buruncuk inceleme alanında; 0.00-0.30 metrede nebati toprak, 0.30-15.00 metreler arası killi kum, siltli kum, çakıllı kumlu kil ve siltli çakıl (Birleştirilmiş zemin sınıflama sistemine (USCS-ASTM D2487-11) göre SC-SM-CL-GM) birimleri saptanmıştır. Türkelli-Buruncuk yerleşimindeki inceleme alanının alüvyon birimi dışında kalan bir kısmı ise volkanik birimlerden andezit ve bazalt birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 1c). Bu alanda gerçekleştirilen jeofizik çalışmalar neticesinde Türkelli yerleşiminin kuzeyine doğru gidildikçe Vs ve Vp hızlarının artış sergilediği gözlenmektedir. Vs ve Vp hızlarındaki bu artış daha sıkı zemine giriş şeklinde yorumlanmıştır, saha gözlemlerinde topografik olarak yükseltinin artıyor olması da bu verileri desteklemektedir. Bu kısımdaki Vp hızları 700-2000 m/s aralığında, Vs hızları ise 450-868 m/s aralığında değişim sunmaktadır. Türkelli yerleşiminin güneyine doğru gidildikçe sismik hız değerlerinin azaldığı belirlenmiş olup, Vp hızları 300-900 m/s ve Vs hızları 237-420 m/s aralığında değerler almaktadır.

Türkelli yerleşiminde gerçekleştirilen düşey elektrik sondaj (DES) çalışması sonucunda; yüzeyde yaklaşık 1,2m kalınlık sunan 34 ohm-m özdirenç değeri veren örtü tabakasından sonra ortalama 14,8m derinliğe kadar siltli kum biriminin bulunduğu (yaklaşık 22 ohm-m özdirenç değeri sunan) sondaj loglarıyla birlikte değerlendirilerek belirlenmiştir. Bu derinlik seviyesinden sonra ise özdirenç değerlerinin 28m derinliğe kadar 8 ohm-m ve devamında 190m derinliğe kadar 30 ohm-m seviyelerine yükselerek siltli kum biriminin devam ettiği gözlenmiştir. Yerleşim alanında iri bloklu alüvyon biriminden oluşan zemin için SPT N30 değerinin 17-refü (R) arasında, Vs30 değerinin 178 m/s – 384 m/s arasında değiştiği gözlemlenmekle birlikte, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY 2018) göre yerel zemin sınıflaması ZD olarak saptanmıştır. Yine bu alanda Miyosen yaşlı volkaniklerden andezit ve bazalt biriminden oluşan zeminlerin Vs30 değerleri 446 m/s – 794 m/s arasında değiştiğinden Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yerel zemin sınıflamaları ZC, ZB olarak belirlenmiştir (TBDY 2018).

Türkelli yerleşiminin güneyinde yer alan Buruncuk yerleşiminde Alüvyon zeminde Vp hızları 320-1110 m/s aralığında, Vs hızları ise 147-197 m/s aralığında değerler sunmaktadır. Topografik olarak yükseltinin başladığı alanın doğusunda hızlar artış göstermektedir. Yüzeyden ortalama 2-3m derinliğe kadar gevşek zeminden (Vs hızı 193-196m/s aralığında değişim sunan) sonra sıkı zemine giriş artan Vs hız değerlerinden açıkça gözlenmektedir. Buruncukta gerçekleştirilen DES çalışması sonucunda; yaklaşık 168 m derinlik seviyesine kadar sondaj loglarından da hareketle siltli kumlu kil nitelikli alüvyon birimlerin varlığı (6-16 ohm-m arası değişim sunan) muhtemeldir.

Türkelli-Buruncuk inceleme alanındaki alüvyon biriminde zeminlerin hesaplanan kıvamlilik indisinleri "yumuşak-çok sert" aralığında kıvamlilik özelliği göstermektedir. Alüvyon biriminde Terzaghi-Peck formülü ( $Cc=0.009*(LL-10)$ ) kullanılarak hesaplanan zemin sıkışabilirlik değerleri Türkelli-Buruncuk inceleme alanı için 0.207-0.306 arasında "orta" sıkışabilir özellikte tespit edilmiştir (Terzaghi vd., 1996). Bu alanda yer alan alüvyon biriminde zeminler üzerinde yapılan Atterberg Limitleri deneyi sonucunda elde edilen verilere göre 1.Bölge Türkelli-Buruncuk inceleme alanı için en düşük Plastisite İndisi %16, en yüksek %22 olarak belirlenmiştir. Zeminin plastisite derecesi "plastik" ve kuru dayanımı "orta" olarak belirlenmiştir (Şekil 5).

Mt31, Mt32, Mt33, Mt34 mikrotremör ölçümleri 1.Bölge Türkelli, Buruncuk yerleşim alanlarını kapsamakta olup Zemin Hakim Titreşim Periyotlarına göre sırasıyla "A, B, B, B", "düşük, orta, orta, orta tehlike düzeyi" ölçütüne girmektedir (Şekil 3b).



<b>Türkelli-Buruncuk</b>	<b>Musaköy-Çavuşköy</b>	<b>Kesikköy</b>
<p>SPT N : 17-R  Çakıl : %  Kum : %3.97-59.36  Kil+Silt : %15.00-75.32  Likit Limit <math>W_{LL}</math> : %NP-44  Plastik Limit <math>W_{PL}</math> : %NP-22  Plastisite İndisi <math>W_{PI}</math> : %NP-22  Su muhtevası (Wn) : %7.62-22.63  Zemin Sınıfı : CL,SC,GM,SM  DES : 30-34 ohm-m  Vp : 300-2000 m/s  Vs : 237-868 m/s  Vs30 : 178-794 m/s</p>	<p>SPT N : 5-R  Çakıl : % 0.00-0.52  Kum : % 0.00-13.62  Kil+Silt : % 15.47-98.21  Likit Limit <math>W_{LL}</math> : % NP-63  Plastik Limit <math>W_{PL}</math> : % NP-29  Plastisite İndisi <math>W_{PI}</math> : % NP-35  Su muhtevası (Wn) : % 7.89-45.57  Zemin Sınıfı : CL,MH,SM,ML  DES : 4-83 ohm-m  Vp : 318-1900 m/s  Vs : 143-231 m/s  Vs30 : 176-213 m/s</p>	<p>SPT N : 5-R  Çakıl : % 0.00-5.23  Kum : % 0.00-9.30  Kil+Silt : % 16.26-97.14  Likit Limit <math>W_{LL}</math> : % NP-53  Plastik Limit <math>W_{PL}</math> : % NP-28  Plastisite İndisi <math>W_{PI}</math> : % NP-28  Su muhtevası (Wn) : % 11.13-49.61  Zemin Sınıfı : CL,CH,SM,ML  DES : 1-3.83 ohm-m  Vp : 350-1600 m/s  Vs : 105-194 m/s  Vs30 : 147-177 m/s</p>
<b>Maltepe</b>	<b>Seyrek-Günerli</b>	<b>Tuzçullu</b>
<p>SPT N : 1-R  Çakıl : % 0.00-0.53  Kum : % 0.00-56.82  Kil+Silt : % 13.67-97.91  Likit Limit <math>W_{LL}</math> : % NP-54  Plastik Limit <math>W_{PL}</math> : % NP-32  Plastisite İndisi <math>W_{PI}</math> : % NP-30  Su muhtevası (Wn) : % 8.10-41.29  Zemin Sınıfı : CL,CH,SC,ML,MH,GM  DES : 1-84 ohm-m  Vp : 250-3500 m/s  Vs : 140-1040 m/s  Vs30 : 169-923 m/s</p>	<p>SPT N : 5-R  Çakıl : % 0.00-0.52  Kum : % 0.00-13.62  Kil+Silt : % 15.47-98.21  Likit Limit <math>W_{LL}</math> : % NP-63  Plastik Limit <math>W_{PL}</math> : % NP-29  Plastisite İndisi <math>W_{PI}</math> : % NP-35  Su muhtevası (Wn) : % 7.89-45.57  Zemin Sınıfı : CL,CH,ML,SM  DES : 17-364 ohm-m  Vp : 268-1626 m/s  Vs : 120-245 m/s  Vs30 : 159-221 m/s</p>	<p>SPT N : 5-R  Çakıl : % 0.00-0.78  Kum : % 1.69-5.66  Kil+Silt : % 17.22-98.67  Likit Limit <math>W_{LL}</math> : % NP-51  Plastik Limit <math>W_{PL}</math> : % NP-23  Plastisite İndisi <math>W_{PI}</math> : % NP-29  Su muhtevası (Wn) : % 7.18-43.61  Zemin Sınıfı : CL,CH,ML,SM  DES : -  Vp : 340-1850 m/s  Vs : 137-190 m/s  Vs30 : 174-175 m/s</p>
<b>Emiralem</b>	<b>Yahşelli</b>	<b>Menemen-Koyundere-Asarlık-Ulukent</b>
<p>SPT N : 9-R  Çakıl : % 0.00-4.09  Kum : % 0.00-9.81  Kil+Silt : % 15.07-97.61  Likit Limit <math>W_{LL}</math> : % NP-45  Plastik Limit <math>W_{PL}</math> : % NP-25  Plastisite İndisi <math>W_{PI}</math> : % NP-23  Su muhtevası (Wn) : % 8.98-34.7  Zemin Sınıfı : CH,SM,ML  DES : 5.5-113 ohm-m  Vp : 342-1443 m/s  Vs : 167-686 m/s  Vs30 : 208-528 m/s</p>	<p>SPT N : 14-R  Çakıl : % 0.00-0.36  Kum : % 6.19-9.15  Kil+Silt : % 64.31-95.16  Likit Limit <math>W_{LL}</math> : % 33-52  Plastik Limit <math>W_{PL}</math> : % 18-25  Plastisite İndisi <math>W_{PI}</math> : % 14-28  Su muhtevası (Wn) : % 16.45-30.05  Zemin Sınıfı : CL,CH  DES : 38-76 ohm-m  Vp : 350-1536 m/s  Vs : 198-645 m/s  Vs30 : 483-539 m/s</p>	<p>SPT N : 12-R  Çakıl : % 0.00-26.43  Kum : % 0.00-47.59  Kil+Silt : % 8.53-95.85  Likit Limit <math>W_{LL}</math> : % 33-52  Plastik Limit <math>W_{PL}</math> : % 18-25  Plastisite İndisi <math>W_{PI}</math> : % 14-28  Su muhtevası (Wn) : % 8.44-45.21  Zemin Sınıfı : CL,SC,GM,SM,ML,GC  DES : 11.6-91 ohm-m  Vp : 300-1233 m/s  Vs : 126-718 m/s  Vs30 : 161-613 m/s</p>

**Şekil 5.** İnceleme alanında yer alan zemin özelliklerini gösteren diyagram  
(Diagram showing ground properties in the study area)

2. Bölge Kesikköy inceleme alanında; 0.00-0.3 metrede nebati toprak, 0.3-15.00 metreler arası siltli kum, çakıllı kumlu kil, inorganik kil birimi ve siltli killi kum (Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre (USCS-ASTM D2487-11) SM-CL-CH-ML), 15.00-40.00 metreler siltli kum ve çakıllı kumlu kil siltli killi kum birimi (Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre SM-CL) saptanmıştır. Tamamıyla alüvyon üzerinde bulunan Kesikköy yerleşiminde yapılan sismik çalışmalar, gevşek alüvyon birimlerin etkisini açıkça göstermektedir. Vp hızları 350-1600 m/s aralığında, Vs hızları ise 105-194 m/s aralığında değerler sunmaktadır.

Bu alanda gerçekleştirilen DES çalışması sonucunda, yaklaşık 67m derinlik seviyesine kadar özdirenç değerlerinin 1-3,8 ohm-m arasında değişim gösterdiği gözlenmekle birlikte killi alüvyon birimlerin etkisi sondaj loglarıyla beraber değerlendirilerek saptanmıştır. 2.Bölge Kesikköy inceleme alanının jeolojisini oluşturan

alüvyon biriminin SPT N30 değerinin 5-R arasında, Vs30 değerinin ise 147 m/s – 177 m/s arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Bu doğrultuda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yerel zemin sınıflaması ZE, ZF olarak belirlenmiştir (TBDY 2018).

Alüvyon biriminde zeminlerin hesaplanan kıvamlilik indisleri “çok yumuşak-çok sert” aralığında kıvamlilik özelliği göstermektedir. Bu birimde Terzaghi-Peck formülü ( $Cc=0.009*(LL-10)$ ) kullanılarak hesaplanan zemin sıkışabilirlik değerleri Kesikköy inceleme alanı için 0.225 ile 0.387 arasında “orta” sıkışabilir özellikte olarak tespit edilmiştir (Terzaghi vd., 1996). İnceleme alanında yer alan alüvyon biriminde zeminler üzerinde yapılan Atterberg Limitleri deneyi sonucunda elde edilen verilere göre Kesikköy inceleme alanı için en düşük Plastisite İndisi %13, en yüksek %28 olarak belirlenmiştir. Zeminin Plastisite derecesi “az plastik” – “plastik” arasında ve kuru dayanımı “düşük” ile “orta” olarak belirlenmiştir. Laboratuvarında yapılan konsolidasyon deneyi sonuçlarından elde edilen şişme yüzdesine ve şişme basınç değerlerine bağlı olarak; Kesikköy’e ait kil ve siltlerin şişme dereceleri “Düşük-Orta” derecededir (Şekil 5).

2.Bölge Kesikköy inceleme alanında alüvyon birimde açılan 6 adet sondajda 1.5-2 ve 2.5-3 m seviyelerinde yer altı suyuna rastlanmış olup, Seed De Albe yöntemi ile sıvılaşma analizi yapılmıştır. Yapılan sıvılaşma analizi sonucunda SK-1, SK-2, SK-3, SK-4, SK-5 no’lu sondajlarda sıvılaşma tespit edilmiş olup, SK-6 no’lu sondajda CH-CL birimleri tespit edildiğinden sıvılaşma beklenmemektedir (Şekil 3a).

Mt38, Mt39 mikrotremör ölçümleri 2.Bölge Kesik yerleşim alanını kapsamakta olup Zemin Hakim Titreşim Periyotlarına göre sırasıyla “D, D”, “çok yüksek, çok yüksek tehlike düzeyi” ölçütüne girmektedir (Şekil 3b).

3.Bölge; Seyrek-Günerli inceleme alanında; 0.00-0.3 metrede nebati toprak, 0.3-15.00 metreler arası siltli kum, çakıllı kumlu kil, inorganik kil birimi ve siltli killi kum (Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre (USCS-ASTM D2487-11) SM-CL-CH-ML), 15.00-40.00 metreler siltli kum ve çakıllı kumlu kil siltli killi kum birimi (Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre (USCS-ASTM D2487-11) SM-CL), saptanmıştır.

Seyrek ve Günerli yerleşimleri tamamıyla alüvyon birim üzerinde bulunmaktadır. Gevşek alüvyon birimlerin etkisi sismik hız değerlerinden açıkça gözlenmektedir. Vp hız değerleri 268 -1626 m/s aralığında, Vs hızları 120-245 m/s aralığında değerler almaktadır.

Gerçekleştirilen DES çalışmaları sonucunda, yaklaşık 5,17 m derinlik seviyesine kadar özdirenç değerlerinin 17 ohm-m seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu derinlikten 45m derinliğe kadar özdirenç değeri 1,1 ohm-m seviyesinde gözlenirken bu noktadan araştırma derinliği boyunca pekleşerek devam ettiği ve özdirenç değerinin 364 ohm-m seviyelerine yükseldiği tespit edilmiştir.

3.Bölge; Seyrek-Günerli inceleme alanının jeolojisini oluşturan alüvyon biriminin SPT N30 değerinin 5-R arasında, Vs30 değerinin ise 159 m/s – 221 m/s arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Bu doğrultuda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yerel zemin sınıflaması ZE-ZF olarak belirlenmiştir (TBDY 2018).

Alandaki alüvyon biriminde zeminlerin hesaplanan kıvamlilik indisleri “yumuşak-çok sert” aralığında kıvamlilik özelliği göstermektedir. Alüvyon biriminde Terzaghi-Peck formülü ( $Cc=0.009*(LL-10)$ ) kullanılarak hesaplanan zemin sıkışabilirlik değerleri Seyrek-Günerli inceleme alanı için 0.225 ile 0.477 aralığında “orta sıkışabilir” ile “yüksek sıkışabilir” özellikte tespit edilmiştir (Terzaghi vd., 1996). İnceleme alanında yer alan alüvyon biriminde zeminler üzerinde yapılan Atterberg Limitleri deneyi sonucunda elde edilen verilere göre Seyrek-Günerli inceleme alanı için en düşük Plastisite İndisi %5, en yüksek %35 olarak belirlenmiştir. Zeminin plastisite derecesi “plastik değil” ile “plastik” arasında ve kuru dayanımı “çok düşük” ile “orta” olarak belirlenmiştir. Bu alanda yer alan kil ve siltlerin şişme dereceleri “Düşük-Orta” olarak saptanmıştır (Şekil 5).

Seyrek-Günerli inceleme alanında alüvyon birimde açılan 12 adet sondajda 1-1.5-1.8-2 m seviyelerinde yer altı suyuna rastlanmış ve Seed De Albe yöntemi ile sıvılaşma analizi yapılmıştır. Yapılan sıvılaşma analizi sonucunda SK-1, SK-2, SK-3, SK-4, SK-6, SK-7, SK-8, SK-9, SK-10, SK-11, SK-12 no’lu sondajlarda sıvılaşma tespit edilmiş olup, SK-5 no’lu sondajda ML-CH-CL birimleri tespit edildiğinden sıvılaşma beklenmemektedir (Şekil 3a).

Mt45, Mt46, Mt47 mikrotremör ölçümleri 3.Bölge Seyrek, Günerli yerleşim alanlarını kapsamakta olup Zemin Hakim Titreşim Periyotlarına göre sırasıyla “D, D, D”, “çok yüksek, çok yüksek, çok yüksek tehlike düzeyi” ölçütüne girmektedir (Şekil 3b).

4.Bölge; Musaköy-Çavuşköy inceleme alanında 0.00-0.30 metrede nebati toprak, 0.30-15.00 metreler arası Siltli kum, çakıllı kumlu kil, siltli killi kum ve inorganik silt (Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre (USCS-ASTM D2487-11) SM-CL-ML-MH) birimleri saptanmıştır. 15.00-40.00 m siltli kum ve çakıllı kumlu kil birimi

(Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre (USCS-ASTM D2487-11) SM-CL) gözlenmektedir.

Musaköy ve Çavuşköy yerleşimlerinde gerçekleştirilen jeofizik çalışmalar alanın tamamını oluşturan alüvyon birim üzerinde yapılmıştır. Tüm serimler göz önüne alındığında  $V_p$  hızları 318-1900 m/s aralığında,  $V_s$  hızları ise 143-231 m/s aralığında değerler olarak gevşek alüvyon birimlerin varlığını ortaya koymaktadır.

Gerçekleştirilen DES çalışması sonucunda; yaklaşık 0,8m derinlik seviyesine kadar özdirenç değerlerinin 4-68 ohm-m mertebelerinde olduğu gözlenmektedir. Yaklaşık 10m derinliğe kadar özdirenç 1,61 ohm-m ye düşüş göstermektedir. 198m derinlik seviyesine kadar 10 ohm-m özdirenç değeri gözlenmiştir. Bu değerlerin siltli kumlu birimlerini ifade ettiği sondaj loglarıyla kıyaslanarak belirlenmiştir. Araştırma derinliği boyunca özdirenç değerleri 83 ohm-m ye yükseldiği gözlenmekle birlikte bu durum alüvyon birimlerin nispeten pekleşerek devam ettiği şeklinde yorumlanmıştır.

4.Bölge; Musaköy-Çavuşköy inceleme alanının jeolojisini oluşturan alüvyon biriminin SPT N30 değerinin 5-R arasında,  $V_{s30}$  değerinin ise 176 m/s – 213 m/s arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Tüm zemin parametreleri değerlendirildiğinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yerel zemin sınıflaması ZD-ZE olarak belirlenmiştir (TBDY 2018).

Bu alandaki alüvyon biriminde zeminlerin hesaplanan kıvamlilik indisleri “yumuşak-çok sert” aralığında kıvamlilik özelliği göstermektedir. Alüvyon biriminde Terzaghi-Peck formülü ( $C_c=0.009*(LL-10)$ ) kullanılarak hesaplanan zemin sıkışabilirlik değerleri Musaköy-Çavuşköy inceleme alanı için 0.230-0.369 arasında “orta” sıkışabilir özellikte tespit edilmiştir (Terzaghi vd., 1996). İnceleme alanında yer alan alüvyon biriminde zeminler üzerinde yapılan Atterberg Limitleri deneyi sonucunda elde edilen verilere göre 4.Bölge Musa-Çavuşköy inceleme alanı için en düşük Plastisite İndisi %13 en yüksek %23 olarak belirlenmiştir. Zeminin plastisite derecesi “az plastik-plastik” arasında ve kuru dayanımı “düşük-orta” olarak belirlenmiştir. Bu alanda yer alan kil ve siltlerin şişme derecelerinin “Düşük” derecede olduğu saptanmıştır (Şekil 5).

Musaköy-Çavuşköy inceleme alanında alüvyon birimde açılan 7 adet sondajda 1-1.8-2-2.1 m seviyelerinde yer altı suyuna rastlanmış olup, Seed De Albe yöntemi ile sıvılaşma analizi yapılmıştır. Yapılan sıvılaşma analizi sonucunda SK-1, SK-3, SK-6, SK-7 no’lu sondajlarda sıvılaşma tespit edilmiş olup, SK-2 no’lu sondajda CL, SK-4 no’lu sondajda MH-CL birimleri tespit edildiğinden ve SK-5 no’lu sondajda yer altı suyu olmadığından sıvılaşma beklenmemektedir.

Mt35, Mt36, Mt37 mikrotremör ölçümleri 4.Bölge Musaköy, Çavuşköy yerleşim alanlarını kapsamakta olup Zemin Hakim Titreşim Periyotlarına göre sırasıyla “D, D, C”, “çok yüksek, çok yüksek, yüksek tehlike düzeyi” ölçütüne girmektedir (Şekil 3b).

5.Bölge; Maltepe inceleme alanında 0.00-0.30 metrede nebati toprak, 0.30-15.00 metreler arası killi çakıl, siltli çakıl, siltli kum, killi kum, çakıllı kumlu kil, inorganik kil birimi, siltli killi kum ve inorganik silt (Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre (USCS-ASTM D2487-11) GC-GM-SM-SC-CL-CH-ML-MH) birimleri ve 15.00-18.00 metreler arası siltli kum (Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre (USCS-ASTM D2487-11) SM) birimleri saptanmıştır (Şekil12c). Maltepe yerleşim yerlerindeki inceleme alanlarının alüvyon birimi dışında kalan bölümleri, Miyosen yaşlı killi kireçtaşı-kıltaşı, tuf-tüfitten, oluşmaktadır.

Çalışma alanının kuzey batısında yer alan Maltepe yerleşimi için Masw-Kırılma ve DES çalışmaları yapılmıştır. Yerleşimin ortasında yer alan ve bariz yükseltiye sahip Villakent olarak adlandırılan bölgede yapılan çalışmalarda yüksek hız değerleri gözlenmiştir. Bu alandaki  $V_p$  hızları 1600-3500m/s aralığında,  $V_s$  hızları ise 640-1040 m/s aralığında değerler almaktadır. Saha çalışmalarında bu alanda Miyosen yaşlı kireçtaşlarının gözlenmesi hız değerlerini teyit eder niteliktedir. Alüvyonel alanlarda yapılan çalışmalarda ise  $V_p$  hızları 250-1600 m/s aralığında,  $V_s$  hızları 140-400 m/s aralığında değerler olarak nispeten gevşek zeminleri ifade etmektedir.

Maltepe yerleşiminde yapılan DES çalışması sonucunda; yaklaşık 0,8m derinlik seviyesine kadar özdirenç değerlerinin 168 ohm-m mertebelerinde olduğu saptanmıştır. Yaklaşık 1,78m derinliğe kadar özdirenç 10 ohm-m ye düşüş göstermektedir. 4m derinlik seviyesine kadar 84 ohm-m özdirenç değeri gözlenmiştir. Bu değerlerin siltli kumlu birimleri ifade ettiği sondaj loglarıyla kıyaslanarak belirlenmiştir. Bu derinlik seviyesinden sonra ise özdirenç değerlerinin 1 ohm-m seviyelerine kadar azalım gösterdiği görülmektedir. Araştırma derinliği boyunca öz direnç değerleri 12 ohm-m ye yükselerek devam etmektedir.

5.Bölge; Maltepe inceleme alanının jeolojisini oluşturan alüvyon biriminin SPT N30 değerlerinin 1-R arasında,  $V_{s30}$  değerlerinin ise 169 m/s - 181 m/s arasında değiştiği gözlenmektedir. Bu doğrultuda inceleme alanının,

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yerel zemin sınıflaması ZE olarak belirlenmiştir. İnceleme alanındaki Miyosen yaşlı killi-kireçtaşı-kiltaşı, tuf-tüfit birimlerinin ise sınıflaması Vs30 değerleri 270 m/s - 923 m/s arasında kalmakla birlikte Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yerel zemin sınıfları ZD, ZC, ZB şeklindedir.

Bu alandaki alüvyon biriminde zeminlerin hesaplanan kıvamlılık indisleri “çok yumuşak-çok sert” aralığında kıvamlılık özelliği göstermektedir. Alüvyon biriminde Terzaghi-Peck formülü ( $Cc=0.009*(LL-10)$ ) kullanılarak hesaplanan zemin sıkışabilirlik değerleri Maltepe inceleme alanı için 0.063-0.396 arasında “orta-düşük” sıkışabilir özellikte tespit edilmiştir (Terzaghi vd., 1996). İnceleme alanında yer alan alüvyon biriminde zeminler üzerinde yapılan Atterberg Limitleri deneyi sonucunda elde edilen verilere göre Maltepe inceleme alanı için en düşük Plastisite İndisi %3, en yüksek %30 olarak belirlenmiştir. Zeminin plastisite derecesi “plastik değil-plastik” arasında ve kuru dayanımı “çok düşük-orta” olarak belirlenmiştir. Bu alanda yer alan kil ve siltlerin şişme dereceleri “Orta-Düşük” derecededir (Şekil 5).

Maltepe inceleme alanında alüvyon birimde açılan 10 adet sondajda 1-1.5-2-3.4-3.5 m seviyelerinde yer altı suyuna rastlanmış olup, Seed De Albe yöntemi ile sıvılaşma analizi yapılmıştır. Yapılan sıvılaşma analizi sonucunda SK-1, SK-12, SK-13, SK-14, SK-16, SK-17, SK-10 no’lu sondajlarda sıvılaşma tespit edilmiş olup, SK-15 no’lu sondajda CL-ML, SK-18 no’lu sondajda CL ve SK-20 no’lu sondajda CL-CH birimleri tespit edildiğinden sıvılaşma beklenmemektedir (Şekil 3a).

6.Bölge; Tuzçullu inceleme alanında yapılan sondajlarda 0.00-0.30 metrede nebati toprak, 0.30-15.00 metreler arası siltli kum, çakıllı kumlu kil ve siltli killi kum (Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre SM-CL-ML) birimleri ve 15.00-40.00 metreler arası siltli kum, çakıllı kumlu kil ve inorganik kil (Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre SM-CL-CH) birimleri saptanmıştır.

Mt40, Mt41, Mt42, Mt43, Mt44 mikrotremör ölçümleri 5.Bölge Maltepe yerleşim alanını kapsamakta olup Zemin Hakim Titreşim Periyotlarına göre sırasıyla “B, D, A, C, C”, orta, çok yüksek, düşük, yüksek, yüksek tehlike düzeyi” ölçütüne girmektedir (Şekil 3b).

Çalışma alanın güneybatısında yer alan Tuzçullu yerleşiminde yapılan Masw-Kırılma çalışmaları neticesinde Vp hız değerlerinin 340-1850 m/s aralığında, Vs hız değerlerinin ise 137-190 m/s aralığında olduğu saptanmıştır. Bu değerler gevşek alüvyon birimleri ifade ettiği sondaj logları ile kıyaslanarak belirlenmiştir.

6.Bölge; Tuzçullu inceleme alanının jeolojisini oluşturan alüvyon biriminin SPT N30 değerlerinin 5-R arasında, Vs30 değerlerinin ise 174 m/s – 175 m/s arasında değiştiği saptanmıştır. Bu doğrultuda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yerel zemin sınıflaması ZE olarak belirlenmiştir (TBDY 2018).

İnceleme alanındaki alüvyon biriminde zeminlerin hesaplanan kıvamlılık indisleri “yumuşak-çok sert” aralığında kıvamlılık özelliği göstermektedir. Alüvyon biriminde Terzaghi-Peck formülü ( $Cc=0.009*(LL-10)$ ) kullanılarak hesaplanan zemin sıkışabilirlik değerleri Tuzçullu inceleme alanı için 0.225-0.369 arasında “orta” sıkışabilir özellikte tespit edilmiştir (Terzaghi vd., 1996). İnceleme alanında yer alan alüvyon biriminde zeminler üzerinde yapılan Atterberg Limitleri deneyi sonucunda elde edilen verilere göre Tuzçullu inceleme alanı için en düşük Plastisite İndisi %14, en yüksek %29 olarak belirlenmiştir. Zeminin plastisite derecesi “az plastik-plastik” arasında ve kuru dayanımı “düşük-orta” olarak belirlenmiştir. Bu alanda yer alan kil ve siltlerin şişme dereceleri “Orta-Düşük” derecededir (Şekil 5).

Tuzçullu inceleme alanında alüvyon birimde açılan 4 adet sondajda 1-1.2 m seviyelerinde yer altı suyuna rastlanmış olup, Seed De Albe yöntemi ile sıvılaşma analizi yapılmıştır. Yapılan sıvılaşma analizi sonucunda SK-1, SK-2, SK-3 no’lu sondajlarda sıvılaşma tespit edilmiş olup, SK-4 no’lu sondajda CL birimi tespit edildiğinden sıvılaşma beklenmemektedir (Şekil 3a).

Mt49, Mt50 mikrotremör ölçümleri 6.Bölge Tuzçullu yerleşim alanını kapsamakta olup Zemin Hakim Titreşim Periyotlarına göre sırasıyla “D, B”, “çok yüksek, orta tehlike düzeyi” ölçütüne girmektedir (Şekil 4).

7.Bölge; Emiralem’de yapılan zemin sondajı çalışmalarında 0.00-0.30 metreler arasında bitkisel toprak, 0.30-15.00 metreler arasında siltli kum, çakıllı kumlu kil ve siltli killi kum (Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre SM-CL-ML) birimleri ve 15-20 metreler arasında siltli kum (Birleştirilmiş zemin sınıflamasına (USCS-ASTM D2487-11) göre SM) birimi saptanmıştır.

İnceleme alanının kuzey doğusunda yer alan Emiralem yerleşiminde yapılan sismik çalışmalar neticesinde; alanın kuzeyine doğru nispeten daha düşük sismik hızlar gözlenmiştir. Bu bölgede Vp hızları 342-969 m/s aralığında, Vs hızları 167-347 m/s aralığında değerler almaktadır. Emiralem’in güneyine ve özellikle güney doğusuna doğru gidildikçe sismik hızların artış gösterdiği ve nispeten daha sıkı zemine giriş olduğu bu hız

değerlerinden anlaşılmaktadır. Vp hız değerleri 450-1443 m/s , Vs hızları ise 348-686 m/s değerlerine kadar artış göstermektedir.

7.Bölge Emiralem yerleşiminde 2 farklı lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Şekil 9'da lokasyonu verilen çalışmalardan DES1 sonucunda; 3,2m derinlik seviyesine kadar özdirenç değerlerinin 5,5 ohm-m mertebelerinde olduğu, yaklaşık 20m derinliğe kadar özdirenç değerlerinin 2 ohm-m ye düşüş gösterdiği gözlenmektedir. Bu derinlik seviyesinden sonra ise özdirenç değerlerinin arttığı (20 ohm-m seviyelerine kadar) saptanmıştır. DES2 çalışması sonucunda; yaklaşık 6,7 m derinlik seviyesine kadar özdirenç değerlerinin 129 ohm-m seviyelerinde olduğu, bu derinlikten 15m derinliğe kadar 43 ohm-m özdirenç değeri veren andezit birimi yaklaşık 79m derinliğe kadar ortalama 113 ohm-m özdirenç değeri sunmaktadır. Bu derinlikten sonra özdirenç değerlerinin araştırma derinliği boyunca yükselerek devam ettiği gözlenmektedir.

Emiralem inceleme alanında zemini oluşturan alüvyon biriminin SPT N30 değeri 9-R arasında değiştiği, Vs30 hızlarının ise genellikle 208-403 m/sn arasında değiştiği saptanmıştır. Bu doğrultuda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yerel zemin sınıflaması ZD olarak belirlenmiştir (TBDY 2018). Emiralem inceleme alanında gözlenen Miyosen yaşlı andezit biriminden oluşan zemin için Vs30 değerleri 403 m/s–528 m/s arasında değişmektedir. Bu alanlarda yerel zemin sınıfı ZC olarak belirlenmiştir.

Emiralem inceleme alanında yer alan alüvyon biriminde zeminlerin hesaplanan kıvamlilik indisleri “sıkı-sert-çok sert” aralığında kıvamlilik özelliği göstermektedir. Alüvyon biriminde Terzaghi-Peck formülü ( $Cc=0.009*(LL-10)$ ) kullanılarak hesaplanan zemin sıkışabilirlik değerleri Emiralem inceleme alanı için 0.213 ile 0.315 arasında “orta” sıkışabilir özellikte olarak tespit edilmiştir (Terzaghi vd., 1996). Bu alanda yer alan alüvyon biriminde zeminler üzerinde yapılan Atterberg Limitleri deneyi sonucunda elde edilen verilere göre Emiralem inceleme alanı için en düşük Plastisite İndisi %13, en yüksek %23 olarak belirlenmiştir. Zeminin Plastisite derecesi “az plastik” – “plastik” arasında ve kuru dayanımı “düşük” ile “orta” olarak belirlenmiştir. Bu alanda yer alan kil ve siltlerin şişme dereceleri “Düşük-Orta” derecededir (Şekil 5).

Emiralem yerleşim alanında açılan 13 adet sondajda kesilen alüvyon birimin belli seviyelerinde yer altı suyuna rastlanılmıştır ve bu alanda yapılan sıvılaştırma analizleri sonucunda sadece bir kuyuda sıvılaştırma tespit edilmiştir.

Mt1, Mt2, Mt3, Mt4, Mt5, Mt6 mikrotremör ölçümleri 7.Bölge Emiralem yerleşim alanını kapsamakta olup Zemin Hakim Titreşim Periyotlarına göre sırasıyla “A, A, B, B, A, C”, “düşük, düşük, orta, orta, düşük, yüksek tehlike düzeyi” ölçütüne girmektedir (Şekil 3b).

8.Bölge; Yahşelli’de yapılan zemin sondajlarında 0.00-0.30 metreler arasında bitkisel toprak, 0.30-16.00 metreler arasında çakıllı kumlu kil, inorganik kil (Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre (USCS-ASTM D2487-11) CL-CH) birimi saptanmıştır.

Yahşelli yerleşiminde yapılan Masw-Kırılma çalışmaları neticesinde alanın kuzeyine doğru sismik hız değerleri düşüş göstermektedir. Yerleşim alanının kuzeyinde Vp hızları 350-650m/s aralığında, Vs hızları 198-238 m/s aralığında değerler sergilemektedir. Yerleşim alanının güneyinde yüzeyden 3-5 m kalınlık sunan gevşek birimlerden daha derine gidildikçe daha sıkı birimlere geçiş olduğu sismik hızlardaki artıştan belirlenmiştir. Vp hızları 400-1536 m/s, Vs hızları 613-645 m/s değerlerine kadar artmaktadır.

8.Bölge Yahşelli yerleşiminde yapılan DES çalışması sonucunda; yaklaşık 2,6m derinlik seviyesine kadar özdirenç değerlerinin 38 ohm-m seviyelerinde, bu derinlikten 33m derinliğe kadar 14 ohm-m seviyelerinde ve 114m derinliğe kadar ise ortalama 35 ohm-m seviyelerinde olduğu gözlenmektedir. Bu derinlikten sonra araştırma derinliği boyunca özdirenç değerleri 76 ohm-m seviyelerine yükselmektedir.

Yahşelli inceleme alanında zemini oluşturan alüvyon birimin SPT N30 değerinin 14-R arasında değiştiği gözlenmektedir. Vs30 hızları ise genellikle 223 m/sn olan zeminin Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yerel zemin sınıflamasındaki yeri ZD olarak belirlenmiştir. Yerleşim alanındaki Miyosen yaşlı kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı ve andezit biriminden oluşan zemin için Vs30 değerinin 483 m/s-539 m/s arasında olduğu saptanmıştır. Bu alanlarda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yerel zemin sınıfının ZC olduğu belirlenmiştir (TBDY 2018).

İnceleme alanındaki alüvyon biriminde zeminlerin hesaplanan kıvamlilik indisleri “sert-çok sert” aralığında kıvamlilik özelliği göstermektedir. Alüvyon biriminde Terzaghi-Peck formülü ( $Cc=0.009*(LL-10)$ ) kullanılarak hesaplanan zemin sıkışabilirlik değerleri Yahşelli inceleme alanı için 0.207 ile 0.378 arasında “orta” sıkışabilir özellikte olarak tespit edilmiştir (Terzaghi vd., 1996). İnceleme alanında yer alan alüvyon biriminde zeminler üzerinde yapılan Atterberg Limitleri deneyi sonucunda elde edilen verilere göre Yahşelli inceleme alanı için en

düşük Plastisite İndisi %14, en yüksek %28 olarak belirlenmiştir. Zeminin Plastisite derecesi “az plastik – plastik” arasında ve kuru dayanımı “düşük” ile “orta” olarak belirlenmiştir. Bu alanlarda yer alan kil ve silt birimlerinin şişme dereceleri “Düşük-Orta” derecededir (Şekil 5).

Yahşelli yerleşim alanında açılan 5 sondajda yer altı suyuna rastlanılmamıştır. Bu doğrultuda alanda sıvılaşma riski beklenmemektedir.

Mt9, Mt10, Mt11 mikrotremör ölçümleri 8.Bölge Yahşelli yerleşim alanını kapsamakta olup Zemin Hakim Titreşim Periyotlarına göre sırasıyla “B, A, A”, “orta, düşük, düşük tehlike düzeyi” ölçütüne girmektedir (Şekil 3b).

9.Bölge; Göktepe yerleşim alanında yapılan zemin sondajlarında 0.00-0.30 metreler arasında bitkisel toprak, 0.30-7.50 metreler arasında volkanik birimlerden andezit saptanmıştır.

Çalışma alanının kuzey doğusunda yer alan Göktepe yerleşimi için yapılan sismik çalışmalar neticesinde tüm serimlerde ilk seviye yaklaşık 3-4 m kalınlık sunmakta olup 288-358m/s arasında Vs hız değerleri ile nispeten gevşek tabakadan sonra hem Vs, hem Vp hızları artış göstermektedir. Vs hız değerleri 587-617 m/s, Vp hız değerleri ise 1183-1489 m/s değerlerine kadar yükselmektedir.

İnceleme alanında zemini oluşturan andezit biriminin Vs30 hız değerleri 485-510 m/sn aralığında olduğundan, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yerel zemin sınıflaması ZC olarak belirlenmiştir (TBDY 2018). Bu alanda gerçekleştirilen sondaj faaliyetlerinde yer altı suyuna rastlanılmamıştır.

Mt7, Mt8 mikrotremör ölçümleri 9.Bölge Göktepe yerleşim alanını kapsamakta olup Zemin Hakim Titreşim Periyotlarına göre sırasıyla “A, B”, “düşük, orta tehlike düzeyi” ölçütüne girmektedir (Şekil 3b).

10.Bölge; Menemen Merkez-Koyundere-Asarlık-Ulukent’de yapılan zemin sondajlarında 0.00-0.30 metreler arasında bitkisel toprak, 0.30-15.00 metreler arasında siltli kum, killi kum, çakıllı kumlu kil, killi ince kum, inorganik silt, siltli çakıl ve killi çakıl (Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre (USCS-ASTM D2487-11) SM-SC-CL-ML-MH-GM-GC) birimleri saptanmıştır.

İnceleme alanı kuzey batısında yer alan 10.Bölge Menemen yerleşiminde yapılan sismik çalışmalar neticesinde; alanın tamamında ilk seviyelerde gevşek zemin özellikleri (alüvyon birimler) gözlenmektedir. Çalışma alanının doğusuna doğru gidildikçe ve derinlik arttıkça sismik hızlarında arttığı belirlenmiştir. Tüm serimlerde ilk seviyenin Vs hızları 126-400 m/s aralığında değerler almaktadır. Bu ilk seviyeden sonra alüvyon üzerinde alınan ölçümler de Vs hız değerleri 192-369 m/s aralığında değerler almaktadır. Vp hızları ise 300-1100 m/s aralığında değişim sunmaktadır. Nispeten daha sıkı zemini ifade eden hız değerleri alanın genellikle doğusunda gözlenmiş olup Vs hız değerleri 450-718m/s aralığında, Vp hız değerleri ise 490-1233 m/s aralığında değerler almaktadır.

10.Bölge içerisinde olan Asarlık DES çalışması sonucunda; yaklaşık 29m derinlik seviyesine kadar özdirenç değerlerinin 91-99 ohm-m arasında değerini aldığı gözlenmekle birlikte örtü tabakayı ifade ettiği düşünülmektedir. Bu derinlikten sonra ise araştırma derinliği boyunca 54 ohm-m özdirenç değerine yükseldiği ve sondaj loglarıyla korele edildiğinde kireçtaşı biriminin nispeten pekleşerek devam ettiği söylenebilir.

Menemen Merkezde gerçekleştirilen DES çalışması sonucunda; yüzeyde yaklaşık 2,6m kalınlık sunan 30 ohm-m özdirenç değeri veren örtü tabakasından sonra, ortalama 13m derinliğe kadar siltli kumlu kil biriminin bulunduğu (yaklaşık 8,45 ohm-m özdirenç değeri sunan) sondaj loglarıyla birlikte değerlendirilerek belirlenmiştir. Bu derinlik seviyesinden sonra ise özdirenç değerlerinin 30m derinliğe kadar 5,7 ohm-m olarak devam ettiği ve devamında araştırma derinliği boyunca 11,6 ohm-m seviyelerine yükselerek siltli kumlu killi alüvyon birimlerin devam ettiği öngörülmektedir.

Koyundere DES çalışması sonucunda; yaklaşık 8,6m derinlik seviyesine kadar 16 ohm-m özdirenç değeri saptanmıştır. Bu tabakadan sonra yaklaşık 37m derinliğe kadar 5 ohm-m özdirenç değeri veren siltli kum birimi, devamında yaklaşık 115m derinliğe kadar özdirenç değerlerinin 3,5 ohm m’ye kadar düştüğü belirlenmiştir.

Ulukent DES çalışması sonucunda; yaklaşık 2,5m derinlik seviyesine kadar 20 ohm-m özdirenç değeri saptanmıştır. Bu tabakadan sonra yaklaşık 22 m derinliğe kadar 4 ohm-m özdirenç değeri veren siltli kumlu kil birimi, devamında yaklaşık 58m derinliğe kadar özdirenç değerlerinin 1,7 ohm m’ye kadar düştüğü belirlenmiştir.

10.Bölge; Menemen Merkez-Ulukent-Koyundere-Asarlık inceleme alanındaki zemini oluşturan alüvyon biriminin SPT N30 değerleri 8-R arasında, Vs30 hızları ise genellikle 161-396 m/sn arasında değişmektedir. Bu doğrultuda

inceleme alanında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yerel zemin sınıflaması ZE, ZD olarak belirlenmiştir. Menemen Merkez-Koyundere-Asarlık-Ulukent inceleme alanındaki Miyosen yaşlı, kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı, andezit ve Kretase yaşlı ofiyolit biriminden oluşan zemin için Vs30 değerleri 435 m/s-613 m/s arasında değiştiğinden bu alanda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yerel zemin sınıflaması ZC olarak belirlenmiştir (TBDY 2018).

10.Bölge; Menemen Merkez-Ulukent-Asarlık-Koyundere inceleme alanındaki alüvyon biriminde zeminlerin hesaplanan kıvamlilik indisleri "sıkı-sert-çok sert" aralığında kıvamlilik özelliği göstermektedir. Alüvyon biriminde Terzaghi-Peck formülü ( $Cc=0.009*(LL-10)$ ) kullanılarak hesaplanan zemin sıkışabilirlik değerleri Menemen Merkez-Koyundere-Asarlık-Ulukent inceleme alanı için 0.08-0.43 arasında "düşük" ve "yüksek" sıkışabilir aralığında tespit edilmiştir (Terzaghi vd., 1996). İnceleme alanında yer alan alüvyon biriminde zeminler üzerinde yapılan Atterberg Limitleri deneyi sonucunda elde edilen verilere göre 10.Bölge Menemen Merkez-Koyundere-Asarlık-Ulukent inceleme alanı için en düşük Plastisite İndisi %3, en yüksek %25 olarak belirlenmiştir. Zeminin plastisite derecesi "plastik değil-plastik" ve kuru dayanımı "çok düşük-orta" olarak belirlenmiştir. Bu alanda yer alan ait kil ve siltlerin şişme dereceleri "Düşük-Orta" derecededir (Şekil 5).

Menemen Merkez-Ulukent-Koyundere-Asarlık'da açılan 39 adet sondaj çalışmasında alüvyon birimlerin belirli seviyelerinde yer altı suyuna rastlanılmıştır ve bu alanda alüvyonda yapılan sıvılaşma analizleri sonucunda sadece bir kuyuda sıvılaşma gözlenmiştir. Çalışma sahasının genelinde sıvılaşma potansiyeli olmadığı tespit edilmiştir.

Mt12, Mt13, Mt14, Mt15, Mt16, Mt17, Mt18, Mt19, Mt20, Mt21, Mt22, Mt23, Mt24, Mt25, Mt26, Mt27, Mt28, Mt29, Mt30 mikrotremör ölçümleri 10.Bölge Menemen Merkez, Koyundere, Asarlık, Ulukent yerleşim alanlarını kapsamakta olup Zemin Hakim Titreşim Periyotlarına göre sırasıyla "A, B, D, D, C, A, B, A, A, B, B, A, A, B, A, A, D, C, A", "düşük, orta, çok yüksek, çok yüksek, yüksek, düşük, orta, düşük, düşük, orta, orta, düşük, düşük, orta, düşük, çok yüksek, yüksek, düşük tehlike düzeyi" ölçütüne girmektedir (Şekil 3b).

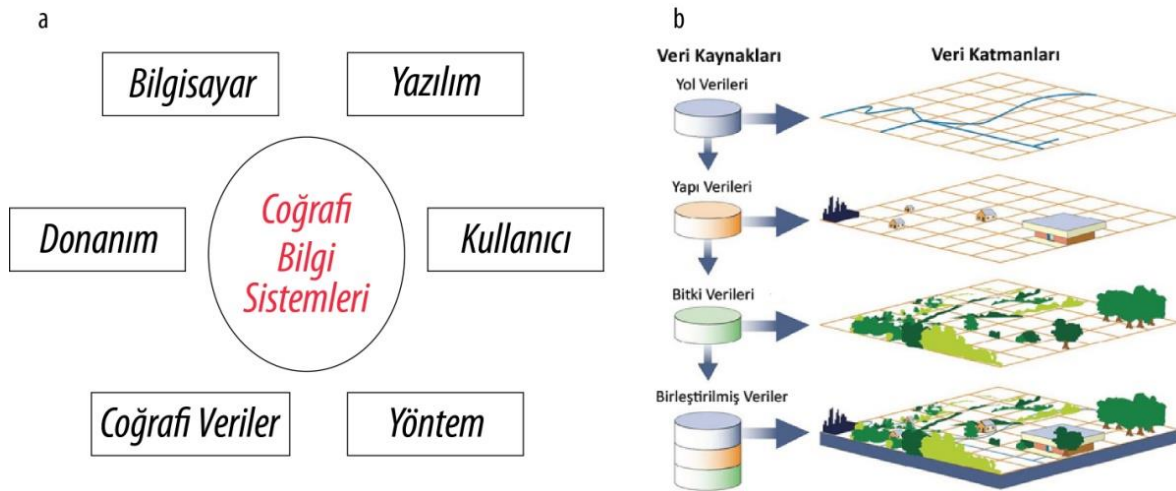
## 5.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri (Geographic Information Systems)

Coğrafi Bilgi Sistemleri, coğrafi verilerin toplanması, bilgisayar ortamına aktarılması, depolanması, işlenmesi, analiz edilmesi ve sunulması amacıyla bir araya getirilmiş bilgisayar donanımı, yazılım, insan kaynakları ve coğrafi bilgilerden oluşan bir bütündür. Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin bilgi sistemlerinden farkı; sistemin değişik nesnelere ait öznitelik bilgilerine ilave olarak konum bilgilerini de içermesidir (Sağlam vd., 2004). Coğrafi veri yapısı, temel olarak mekansal ve tanımlayıcı bilgiler olmak üzere iki gruba ayrılır. Mekansal veriler, özelliklerin yerini, şeklini ve diğer mekansal veriler ile ilişkilerini belirler. Tanımlayıcı bilgiler ise özelliklere ait bilgilerin veri tabanında tutulmasıdır. CBS'nin bileşenleri temel olarak donanım (bilgisayar), yazılım (kullanılan CBS programları), coğrafi veriler, veri yönetim ve çözümleme yöntemleri ve kullanıcıdır (Yomralıoğlu, 2000), (Şekil 6a).

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde temel amaç çalışma sahasına ait bilgileri belirli bir amaca yönelik olarak toplama, bilgisayar ortamında depolama, güncelleştirme, kontrol etme, analiz etme ve görüntüleme gibi işlemlere olanak sağlayan bir karar destek sistemi oluşturmaktır (Yomralıoğlu, 2000). CBS'nin veri yönetimi ve işleyişindeki en önemli özelliklerinden birisi de katmanlı yapısıdır. CBS'nin kendine has bu yapısında veriler farklı katmanlar halinde depolanır ve işlemler yapılır (Şekil 6b). Temel olarak CBS'de zamansal, konusal ve mekansal olmak üzere üç farklı türde veri kullanılmaktadır. Zamansal veri kullanılan verinin zamanını, konusal veri konuyu ve mekansal veri verinin dünya üzerindeki konumunu belirtmektedir (Heywood vd., 1998). Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin bilgi sistemlerinden farkı; sistemin değişik nesnelere ait öznitelik bilgilerine ilave olarak konum bilgilerini de içermesidir (Sağlam vd., 2004). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekânsal kökenli bilgilerin (grafik ve öznitelik) bilgisayar ortamında toplanması, girilmesi, saklanması, sorgulanması, mekânsal analizlerinin yapılması, görüntülenmesi ve farklı formatlarda çıktı alınması için oluşturulan bir bilgi sistemidir (Aranoff, 1989).

Dünya üzerindeki karmaşık sosyal, ekonomik, çevresel vb. sorunların çözümüne yönelik konuma dayalı karar verme süreçlerinde kullanıcılara yardımcı olmak üzere, büyük hacimli coğrafi verilerin; toplanması, depolanması, işlenmesi, yönetimi, konumsal analizi, sorgulanması ve sunulması fonksiyonlarını yerine getiren CBS bölgesel planlamada hemen hemen her alanda kullanılmaktadır (Sarı vd., 2011). Kentsel planlama süreçlerinde büyük öneme sahip olan Coğrafi Bilgi Sistemleri; artan maliyetler ile beraber verinin kazandığı önem, zamandan edilen tasarruf ve farklı veri kaynaklarının bir arada değerlendirilebilmesine imkan sağlaması açısından etkin kullanım alanlarına sahiptir (Alkan vd., 2018, Özkan vd., 2017, Çörtük vd., 2018, vb.). Gerçekleştirilen bu çalışma ile birlikte hali hazır, jeoloji, jeofizik haritalar ile saha gözlemleri, jeofizik ölçümler, sondaj faaliyetleri ve laboratuvar sonuçları değerlendirilerek bir araya getirilmiş, anlamlı bir veri bankası sistemi oluşturulmuştur.

Oluşturulan veri bankası ile birlikte birçok parametrenin bir arada değerlendirilebilmesine ve sayısal ortamda depolanarak gerçekleştirilecek olan çalışmaların fizibilite aşamalarında fikir teşkil etmesine olanak sağlanmıştır.



Şekil 6. a) Coğrafi Bilgi Sistemi bileşenleri b) Coğrafi Bilgi Sistemleri katmanlı yapısı ((a) Geographic Information System components (b) Layered structure of Geographic Information Systems) (Yomralıoğlu, 2000).

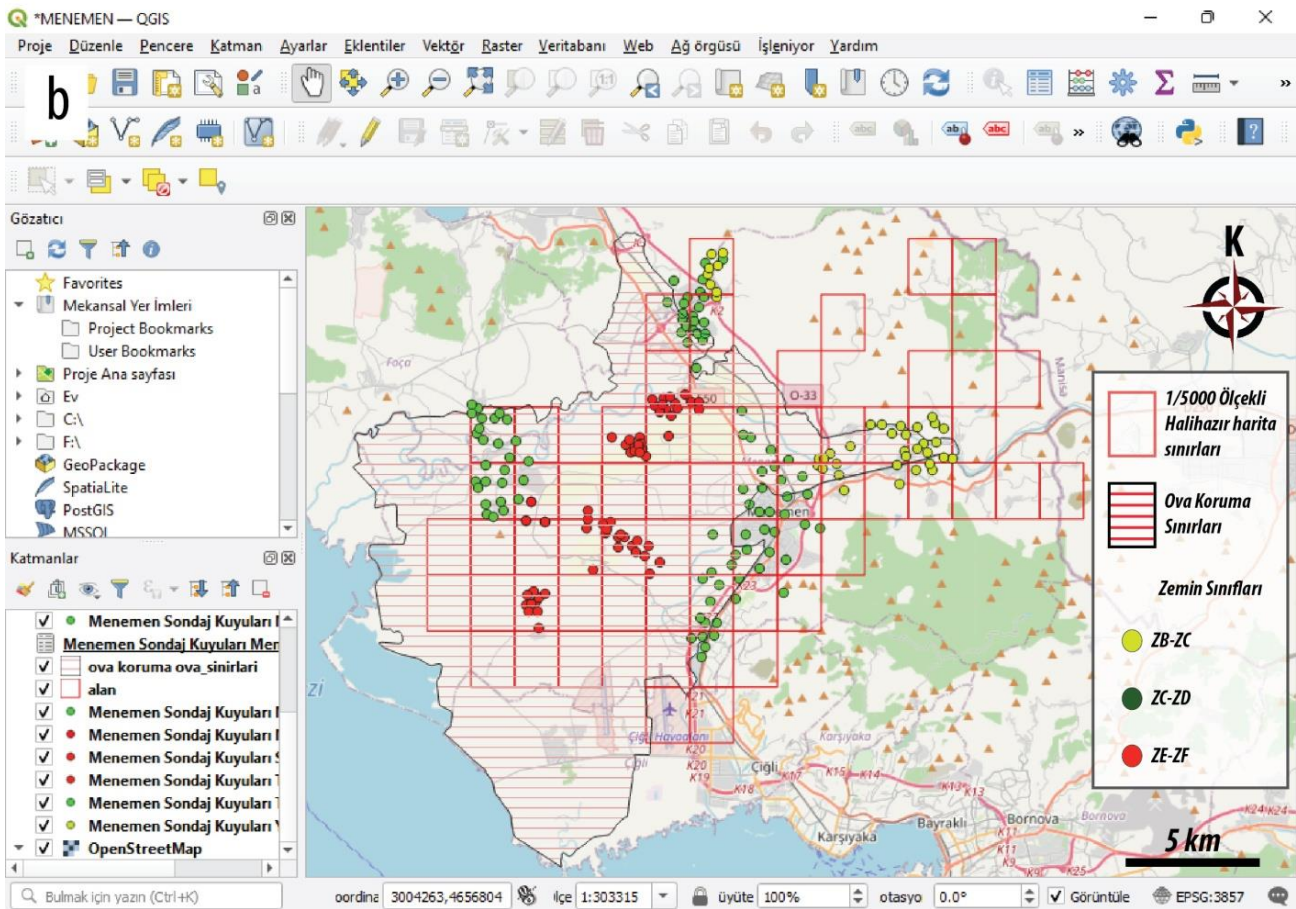
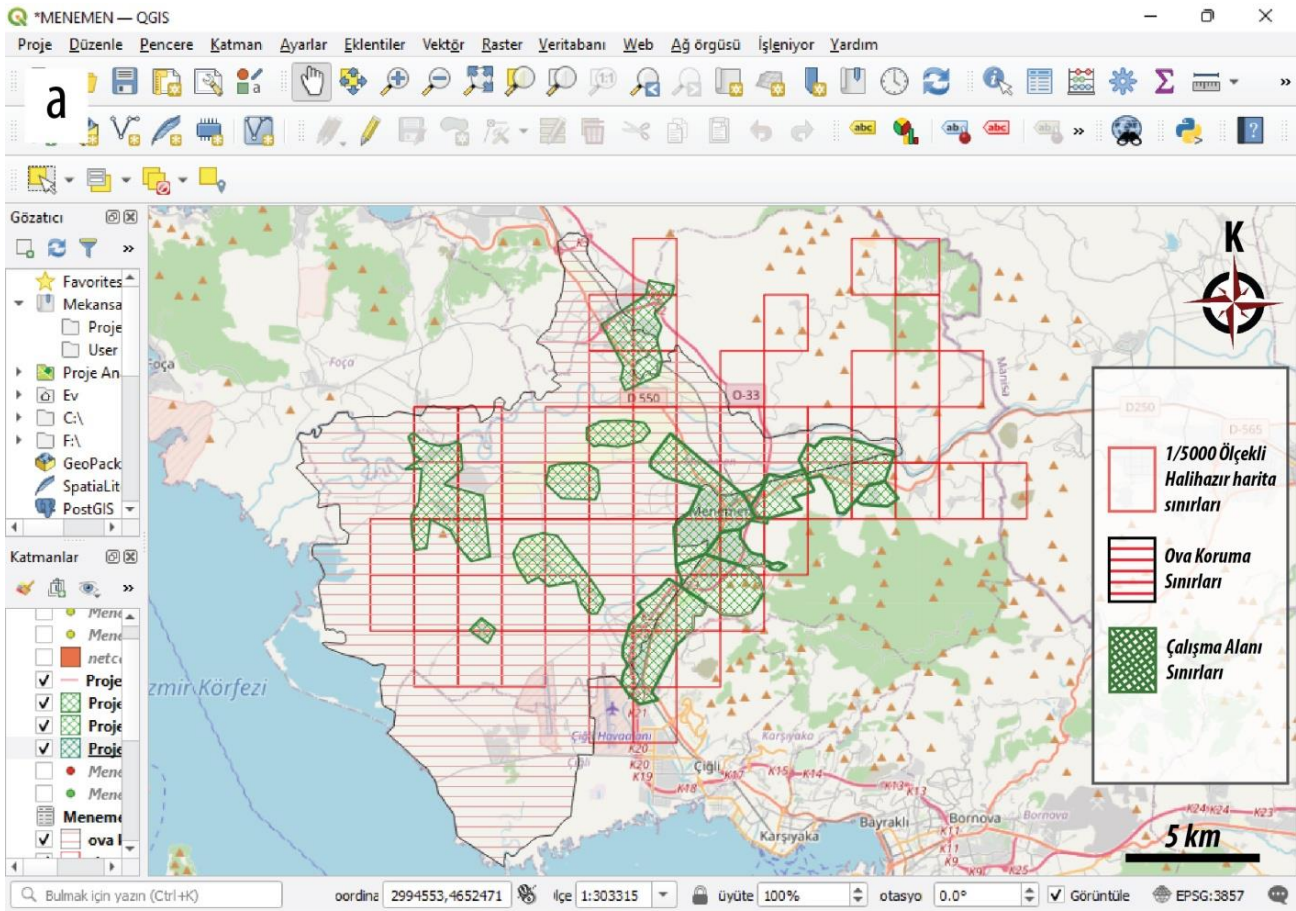
Çalışmanın saha faaliyetleri ve elde edilen verilerin değerlendirme aşamalarında Google Labs tarafından geliştirilen Google Earth Pro programı etkin olarak kullanılmıştır. Google Earth Pro (GEP), Google Earth (GE) güçlendirilmiş donanımlı hali olup 2015 yılında ücretsiz kullanıma açılmıştır. GEP, GE ile aynı görüntüleri kullanmakta ancak kullanıcılar için tasarlanmış ek araçlar sunmaktadır. Google Earth Pro programı, aynı anda birden çok noktanın haritalanmasına ve demografik, grafik veri katmanlarına erişilmesine imkan tanımaktadır (Alkan 2019), (Şekil 4a,b). Bu program ile görüntü üzerinde gelişmiş ölçümler yapılabilmekte, yüksek çözünürlükte çıktılar alınabilmekte, E-tablolar, coğrafi bilgi sistemi dosyaları (ESRI shapefile (.shp) ve MapInfo (.tab)) formatlarıyla programa aktarılabilme ve yüksek çözünürlükte sanal uçuş videoları oluşturulabilmektedir (Dervişoğlu vd., 2021). GE/GEP programlarının ücretsiz olması ve erişim kolaylığı, akademik ve günlük amaçlara yönelik kullanımını artırmakta ve diğer Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımları ile birlikte coğrafi bilginin erişilebilirliğine, otomasyonuna ve dijital olarak üretilmesine katkı sağlamaktadır (Atak, 2019). Çalışmada jeofizik faaliyetler ile sondaj lokasyonları bu program üzerine işlenerek sonuçların birbirleri ile kıyaslanabilmesine imkan sağlanmıştır (Şekil 4a,b). Daha sonra, Jeolojik-Jeoteknik çalışmalara ilişkin lokasyonlar nokta-koordinat şeklinde kaydedilerek "QGIS" programına aktarılmıştır.

Sondaj logları, jeofizik ölçümler "QGIS" programı ile sınıflanarak hali hazır ve jeoloji haritaları ile korele edilmiştir (Şekil 7a,b). Program içerisinde sınıflandırma işlemi denetimli ve denetimsiz olmak üzere iki yöntemle gerçekleştirilebilmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada denetimli sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Denetimli sınıflandırma, görüntü üzerinde kullanıcının tanımladığı örnekler kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırmadır. Görüntü üzerinde gerçekleştirilen örnek tanımlamalar belirli bir dosyaya aktarılır. Bu örnek veriler sayesinde, denetimli sınıflandırma ile benzer değerlere sahip hücreler toplanır ve bunlar belirli sınıflar olarak tanımlanır. Her örnek veride bulunan hücrenin istatistiksel analizi Esri sınıflandırma tanım dosyası (.ecd file) oluşturmak için kullanılmaktadır. Örnek veriler oluşturulurken Jeolojik-Jeoteknik çalışmalar, yer altı suyu, jeoloji ve jeofizik haritalar ile birlikte değerlendirilmiştir. Haritaların sayısallaştırılma işlemi MapInfo programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

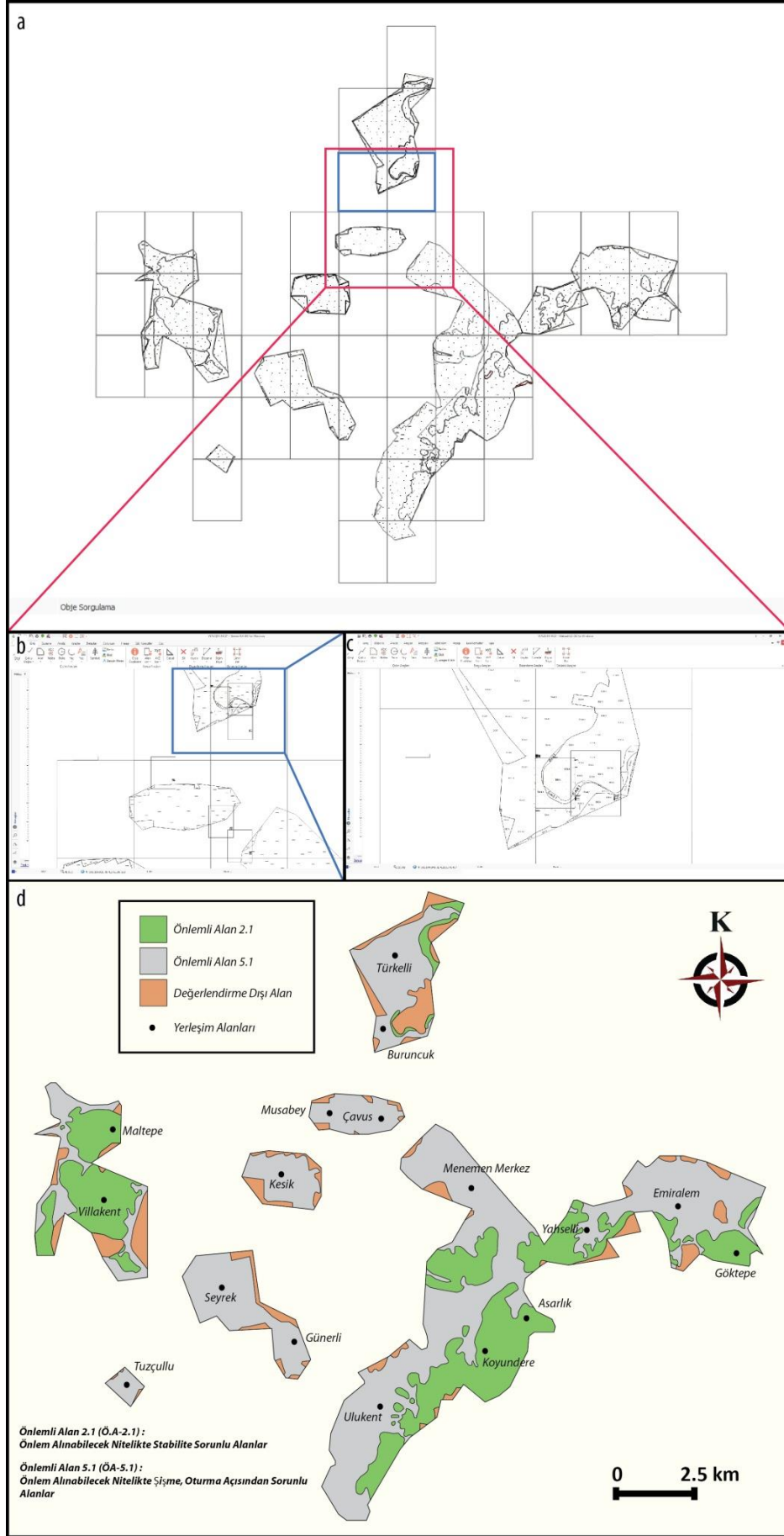
Elde edilen tüm harita ve sınıflandırmaların bir araya getirilerek, yerleşime uygunluk haritalarının oluşturulması işlemi NetCAD yazılımı Anonim Şirketi tarafından geliştirilen "NetCAD" programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 8a,b,c). NetCAD temel olarak mühendislik ve coğrafi bilgi sistemleri kullanıcıları için tasarlanmış, uluslararası standartları destekleyen çizim ve coğrafi bilgi sistemleri teknolojisidir. Program çalışma içerisinde farklı veri gruplarının bir arada değerlendirilmesine imkan tanımıştır.

NetCAD programında çizim işlemleri gerçekleştirilen 1/1000 ölçekli Yerleşime Uygunluk Haritaları Adobe Illustrator programına aktarılarak çalışma alanı geneli için sonuç haritası oluşturulmuştur (Şekil 8d).





Şekil 7. (a) QGIS programı yardımıyla gerçekleştirilen zemin sınıflandırma işlemi ((a) Correlation of different data components with the help of QGIS program (b) Ground classification process performed with the help of QGIS program)



**Şekil 8.** NetCAD programı yardımıyla Yerleşime Uygunluk Haritalarının çizilmesi, (b) ve (c) Bu haritalara dair detay görüntüleri, (d) Yerleşime Uygunluk Durumu sonuç haritası ((a) Drawing of Settlement Suitability Maps with the help of NetCAD program, (b) and (c) Detail views of these maps, (d) Result map of Eligibility for Settlement)

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

Bu çalışma, İzmir İli, Menemen İlçesi'nde Menemen Belediyesi tarafından uygulamaya konulan İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Çalışmaları kapsamında 16 mahalleyi içerisine alan 9353,51 hektar alanda gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında jeofizik çalışmalar ile beraber 123 adet, toplamda 1543 metre sondaj faaliyeti gerçekleştirilmiştir. Sondaj çalışmaları doğrultusunda alınan numuneler; Atterberg limitleri, elek analizi, konsolidasyon, üç eksenli sıkışma dayanımı, su içeriği ve nokta yükleme deneylerine tabii tutulmuştur. Tüm saha çalışmaları ve deney sonuçları değerlendirilerek ilgili alanların zemin özellikleri belirlenmiştir.

Bununla birlikte saha ve laboratuvar çalışmalarıyla elde edilen veriler CBS ortamında işlenerek kategorize edilmiş ve "Yerleşime Uygunluk Haritaları" oluşturulmuştur (Şekil 8d). Yerleşime uygunluk değerlendirmesi, farklı ölçeklerde ki planlama çalışmalarında plan kararlarını yönlendirici nitelikte alan tanımlamalarını ve bu alanlarda alınması gereken önlemleri içeren bir sentez çalışmasıdır. Dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi ülkemizde de bu değerlendirmelerde inceleme yapılan alan; yerleşime uygun alanlar (UA), önemli alanlar (ÖA), jeoteknik etüt gerektiren alanlar (JEGA), ayrıntılı jeoteknik etüt gerektiren alanlar (AJE), yerleşime uygun olmayan alanlar (UOA) olarak gruplandırılmaktadır. Oluşturulan bu haritalar değerlendirildiğinde; 1.Bölge Türkelli Buruncuk, 2.Bölge Kesikköy, 3.Bölge Seyrek-Günerli, 4.Bölge Musaköy-Çavuşköy, 5.Bölge Maltepe, 6.Bölge Tuzçullu, 7.Bölge Emiralem, 8.Bölge Yahşelli, 9.Bölge Göktepe ve 10.Bölge Menemen Merkez-Koyundere-Asarlık-Ulukent yerleşime uygunluk açısından eğimin %0-10 arasında değiştiği, alüvyon ve alüvyon yelpazesi biriminden oluşan alanlar "Önemli Alanlar-5.1 (ÖA-5.1) önlem alınabilecek nitelikte şişme, oturma vb. sorunlu alanlar" olarak değerlendirilmiştir. 5.Bölge Maltepe inceleme alanında eğimin %10-20, %20-30 ve %30-40 ve 1.Bölge Türkelli-Buruncuk inceleme alanında eğimin %10-20, %20-30 ve %30-35 olduğu alanlar ve eğimin %10-20, %20-30 ve %30-35 olduğu andezit, bazalt, melanj ve kumtaşı-silttaşı-kireçtaşı birimlerinin gözlemlendiği alanlar "Önemli Alanlar-2.1 (ÖA-2.1) önlem alınabilecek nitelikte stabilite sorunlu alanlar" olarak değerlendirilmiştir (Şekil 2a ve 8d).

Zeminlerin kategorize edilerek Yerleşime Uygunluk Haritaları'nın oluşturulması gerçekleştirilecek yapılaşma faaliyetleri öncesinde veri kaynağı oluşturmakla birlikte; şişme, oturma ve sıvılaşma gibi zemin problemleri içerebilecek alanların önceden tespit edilmesine imkan sağlamaktadır. Kentin daha sağlıklı ve planlı gelişmesi için yersel ve fotogrametrik yöntemlerle üretilen büyük ölçekli sayısal ve çizgisel haritaları günün gelişen teknolojilerini kullanarak üretmek, ortofoto haritaları ve uydu görüntülerini temin etmek büyük öneme sahiptir. Bu çalışma ile konumsal ve öznelik bilgilerini içeren coğrafi bilgi sistemi veri tabanı oluşturulmuş ve birçok projede altlık olarak kullanılmak üzere tüm veri kaynakları bir araya getirilmiştir.

Son yıllarda endüstride, devlette ve akademik çevrede çalışan jeoloji mühendisleri CBS teknolojisi ile farklı alanlarda jeoloji veri modelleri oluşturmaktadırlar. Bu doğrultu da jeoloji bilgisinin bölgesel ve ulusal platformda bir araya getirilmesi, saklanması ve yönetilmesi kapsamında MTA tarafından Türkiye jeoloji veri bankası, çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığı tarafından imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt çalışmalarının kaydedilerek takibinin sağlandığı yer bilgi sistemi (YERBİS) ve büyükşehir belediyeleri bünyelerinde oluşturulan yer bilgi sistemleri veri bilginin korunması, işlenebilmesi ve gelecek çalışmalara altlık teşkil etmeleri açısından büyük önem taşımaktadırlar.

Kentsel planlama süreçleri ile birlikte yapılaşma faaliyetleri kapsamında parsel bazlı zemin etüt çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Yapı parametrelerinin hesaplanmasında büyük öneme sahip olan zemin etüt çalışmaları ülkemizde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne uygun bir şekilde gerçekleştirilmekte ve kontrolleri bağlı oldukları ilçe belediyelerinin ilgili birimlerince sağlanmaktadır. Zemin özellikleri her parsel için değişkenlik gösterebilmekle beraber elde edilen sonuçların bu çalışmayla oluşturulan veri setine entegrasyonu tek başına bir değerlendirme imkanı sunmasa da zemin sınıfları açısından değerlendirildiğinde önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Envanterde kolay ulaşılabilir verilerin olması, gelecekte kentsel gelişme alanlarında karşılaşılabilecek sorunların en kısa sürede ortaya konulmasına imkan sağlamakla birlikte işleyişte önemli bir ivmelenme sağlayacaktır.

### Katkı Belirtme (Contributing Contribution)

Bu çalışma İzmir İli, Menemen İlçesi sınırları içerisinde İmar Planı çalışmalarına esas olarak gerçekleştirilmiş olup, Menemen Belediyesi tarafından uygulamaya koyulmuştur. Bu kapsamda çalışmaya verdiği önem ve işleyişine sunduğu katkılardan dolayı Menemen Belediyesi Başkan Vekili Sayın Aydın PEHLİVAN'a teşekkürlerimi sunarım. Sahada gerçekleştirilen çalışmaları eksiksiz yerine getiren ve plan çalışmaları kapsamında raporlama süreçleri içerisinde yer alan yükleneci firmaların temsilcileri, Bülent TURHANLAR ve Hulki DERYAOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

### Kaynaklar (References)

- Alkan, A., Çelik, Ö., Çörtük, M., Özkan, M., (2018). Pınarbaşı Ofiyolitinin ASTER Uydu Görüntüleriyle Haritalanması, 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 23-27 Nisan, Ankara
- Alkan, A., (2019). Pınarbaşı Ofiyoliti ve Ofiyolit Tabanı Metamorfitlelerinin Jeokimyasal Özellikleri ve Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Haritalanması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
- Aranoff, S. (1989). "Geographical Information Systems: A Management Perspective", WDL Publications, Ottawa, Canada.
- Akdeniz, N., Konak, N., Öztürk, Z. ve Çakır, M.H., 1986, İzmir-Manisa dolaylarının jeolojisi. MTA Raporu, Ankara, Derleme No: 7929, 164
- Akyürek, B. ve Soysal, Y., 1983, Biga yarımadası güneyinin (Savaştepe-Kırkağaç-Bergama-Ayvalık) temel jeoloji özellikleri. MTA Dergisi, 95/96, 1-2
- ASTM D2487-11, (2011). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Atak, V. O., 2019. Google Earth Uydu Görüntülerinin Konumsal Doğruluğu. Harita Dergisi, 85 (161), 11-25
- Aranoff 1989. Geographical Information Systems; A Management Perspective, WDL Publications, Ottawa, Canada
- Arca, D., Keskin Çıtıroğlu, H., 2011, Coğrafi Bilgi Sistemi ve Jeolojideki Uygulama Alanları, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(1), 48-57
- Bozkurt E., Winchester J.A., Piper J.D.A. (Eds.), Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area, Geological Society, London, Special Publication 173, 353-384
- Celik, Y. (2006). Isparta Ovası Mühendislik Jeolojisi Haritası Veri Tabanı Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta
- Çörtük, M., Çelik, Ö., Alkan, A., Özkan, M., Özyavaş A., 2020, Distribution of rocks in Pınarbaşı Ophiolite from central Anatolia (Turkey) based on analysis of ASTER and Landsat-8 data, Geological Journal, 55(2), 1-13
- Dervişoğlu 2021 Analysis of the Temporal Changes of Inland Ramsar Sites in Turkey Using Google Earth Engine, International Journal of Geo-Information, 10 (8), 521-533
- Düzbastılar, M.E. (1976), Yamanlar Bölgesi'nin Batı Kısmının Jeolojisi Hakkında. Ege Üniversitesi, İzmir, Fen Fakültesi raporlar serisi, 186
- Eşder, T., Yakabağı, A., Sarıkaya H. ve Çiçekli, K., 1991, Aliğa (İzmir) yöresinin jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, Derleme Rapor No: 9467
- Heywood, I., Cornelius, S., Carver, S. (1998). An Introduction to Geographical Information Systems, Longman, New York., s.11-12
- Genç, Ş.C. ve Yılmaz, Y., 2000, Aliğa dolaylarının jeolojisi ve genç tektoniği. Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu (BADSEM 2000), Bildiriler Kitabı, İzmir, 152-159
- Genç,Ş.C., Altunkaynak, Ş., Karacık, Z., Yazman, M., Yılmaz, Y., 2001, The Çubukludağ graben, south of İzmir: tectonic significance in the Neogene geological evolution of the Western Anatolia. Geodinamica Acta, 14, 1-12
- GISITU 2012. Jeoloji Sektöründe CBS, <http://www.gis.itu.edu.tr/content/jeoloji>
- Kaya, O., 1979, Ortadoğu Ege çöküntüsünün (Neojen) stratigrafisi ve tektoniği. TJK Bülteni, 22, 35-58
- Kaya, O., 1981, Miocene reference section for the coastal parts of west Anatolia, Newsletter Startigr., Berlin, 10, 164-191
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H. ve Bozkurt, E., 1999, Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey. Journal of the Geological Society, London, 156, 605-616
- Nakamura Y., 1989, A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface. Quarterly Report of RTRI, 30: 25-33.
- Okay A.İ. ve Siyako M., 1991, The new position of the İzmir-Ankara Neo-Tethyan suture between İzmir and Balıkesir. In: Turgut S. (Ed.), Tectonics and Hydrocarbon Potential of Anatolia and surrounding regions, Ozan Sungurlu Symposium Proceedings, p. 333-355
- Okay, A.İ., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R. ve Akyüz, S., 1996, Paleo- and Neo- Tethyan events in northwestern Turkey: Geologic and geochronologic constraints: In: Yin, A. ve Harrison, M. (eds) Tectonics of Asia. Cambridge University Press, 420-441
- Öğdüm, F., 1983, Menemen Dumanlıdağ volkan konisi ve kalderasının jeomorfolojisi-evrimi. Jeomorfoloji Dergisi, 11, 45-52
- Özkan, M., Çelik, Ö., Özyavaş, A., Lithological discrimination of accretionary complex (Sivas, northern Turkey) using novel hybrid color composites and field data, Journal of African Earth Sciences, 138

- Sağlam, A., Düzgün, H.S.B. ve Usul N., (2004). Çanakkale Savaşlarına Farklı Bir Yaklaşım: Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Gelibolu 1915", Çanakkale Araştırmaları Türk Yılığ - The Turkish Yearbook of Gallipoli Studies, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Atatürk ve Çanakkale Savaşları Araştırma Merkezi, 2 (1), 117-133, Çanakkale
- Saroglu, F., O. Emre, and A. Boray. 1987, "Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri." MTA Raporu, Rapor (8174)
- Semenderoğlu, A., (1990). Gediz Deltası ve Yakın Çevresinin Jeomorfolojisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul
- Sarı, F., Erdi, A., Kırtıloğlu S., 2011, Kampüs Bilgi Sistemi Oluşturma Çalışmaları ve Panoramik Görüntüler; Konya Selçuk Üniversitesi Örneği, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 18-22 Nisan 2011, Ankara
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Kuşçu, İ., 1992, Türkiye Diri Fay Haritası, 1:2,000,000 ölçekli, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara
- Şengör, A.M.C., Satır, M., Akkök, R., 1984, Timing of tectonic events in the Menderes Massif, Western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics*, 3 (1), 693-707
- TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. 1996, *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 3rd Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Uzel B., Sözbilir H., Özkaymak Ç., 2012, Neotectonic Evolution of an Actively Growing Superimposed Basin in Western Anatolia: The Inner Bay of İzmir, Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, Turkey, 21 (4), 439-471
- Uzunçubuk, L. 2019, Afet ve Risk Yönetiminde İnsansız Hava Araçları (İHA)'ın Önemi. *Ekonomi, Yönetim ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(1), 2-15
- Yomraloğlu, T., 2000, Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar, Akademi Kitabevi, Sivas, 2. Baskı B., 2005. The Exploration/Exploitation Tradeoff in Dynamic Cellular Genetic Algorithms. *IEEE, Transactions on Evolutionary Computation*, 9, 26-142



## STABILIZATION OF NOTCHED ELEMENTS' FRACTURE BY USING A CONTROL ALGORITHM

Erol LALE<sup>1\*</sup>, Bahar AYHAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Technical University, Civil Engineering Faculty, Civil Engineering Department, İstanbul, Türkiye

### Keywords

*Control Algorithm,  
Fracture,  
Finite Element Method,  
Quasi-brittle,  
Snap-back.*

### Abstract

Crack propagation is a significant mechanism for quasi-brittle materials under applied loading. It can occur very suddenly and causes numerical instabilities and deficiencies in some problems. This behavior manifest itself as non-convergence solutions i.e. the inability to obtain the entire load-displacement curve or jumps in the load displacement curve. In this study, a control technique is implemented to obtain the whole load-displacement curve when crack propagation causes severe numerical instabilities such as snap-back behavior. The performance of the control technique was demonstrated by simulating uniaxial tension test of pre-notched plate, three-point bending test of a notched beam and mixed-mode test of a notched plate. This study shows that the control algorithm is able to produce a stable solution path for these kinds of problems. This method can be easily implemented in available commercial finite element codes without the need for any user defined subroutines.

## ÇENTİKLİ ELEMANLARIN KIRILMASININ BİR KONTROL ALGORİTMASI KULLANILARAK STABİLİZASYONU

### Anahtar Kelimeler

*Kontrol Algoritması,  
Kırılma,  
Sonlu Elemanlar Yöntemi,  
Yarı-gevrek,  
Snap-back (geri tepme).*

### Öz

Çatlak yayılımı, yük etkisine maruz yarı-gevrek malzemelerin davranışını belirleyen önemli bir mekanizmadır. Çatlak yayılımı çok aniden ortaya çıkabilmekte ve bu da bazı problemlerin analizinde sayısal dengesizliklere ve kusurlara neden olabilmektedir. Bu davranış kendini sayısal sonucun ıraksaması yani bütün yük yerdeğiştirme eğrisinin elde edilememesi olarak veya yük-yerdeğiştirme eğrisinde sıçrama şeklinde gösterir. Bu çalışmada çatlak yayılmasının bütün yük-yer değiştirme eğrisinin elde edilmesinde sayısal sorunlar yarattığı, snap-back (geri tepme) davranışında olduğu gibi, durumlar için bir kontrol algoritması uygulanması verilmiştir. Kontrol tekniğinin performansı tek çentikli levhaya uygulanan doğrudan çekme deneyi, çentikli kirişlerde üç noktalı eğilme deneyi ve iki çentikli levhaların karışık kırılma modu testi simüle edilerek gösterilmiştir. Bu çalışma, kontrol algoritmasının bu tür problemler için kararlı bir çözüm yolu üretebildiğini göstermiştir. Bu yöntem herhangi bir kullanıcı tanımlı alt rutine ihtiyaç duymadan mevcut ticari sonlu eleman kodlarında kolayca uygulanabilir.

### Alıntı / Cite

Lale, E., Ayhan, B., (2023). Stabilization of Notched Elements' Fracture by Using a Control Algorithm, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(2), 631-642.

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

E. Lale, 0000-0003-4895-5239  
B. Ayhan, 0000-0001-9809-097X

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	12.07.2022
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	23.01.2023
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	24.02.2023
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: lale@itu.edu.tr, +90-212-285-3752

# STABILIZATION OF NOTCHED ELEMENTS' FRACTURE BY USING A CONTROL ALGORITHM

Erol Lale<sup>1†</sup>, Bahar Ayhan<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> İstanbul Technical University, Civil Engineering Faculty, Civil Engineering Department, İstanbul, Türkiye

## Highlights

- Implementation of a control technique is introduced to increase loading in a more controlled manner.
- Snap-back behavior is obtained successfully by using proposed control algorithm.
- Simulation of uniaxial tension test of pre-notched plate, three-point bending test of a notched beam and mixed-mode test of a notched plate are conducted to demonstrate the performance of the proposed algorithm.

## Graphical Abstract

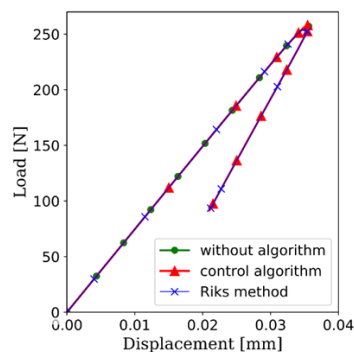


Figure. Load versus crack tip vertical displacement.

## Purpose and Scope

The aim of this research is to implement a control technique, which is able to produce a stable solution path, when crack propagation causes severe numerical instabilities such as snap-back behavior.

## Design/methodology/approach

A strategy for solving snap-back behavior is developed by introducing auxiliary nodes in order to control load increment. Spring elements are created, which connect the nodes of specimen to auxiliary nodes. Relation between the force of the control node and the displacement of node at the crack is described by arranging stiffness matrix.

## Findings

The performance of the control algorithm shows that the relevant control algorithm prevents numerical instabilities and provides a framework which enables increasing load in a more controlled manner.

## Research limitations/implications

For future research, it is suggested that same approach can be extended to work under explicit dynamic framework and modified for non-monotonic loading pattern.

## Practical implications

It can be easily applied by user who need to stabilize computational models of brittle and quasi-brittle materials fracture. It can reduce computational cost of their research.

## Social Implications

There won't be an impact on society of this research.

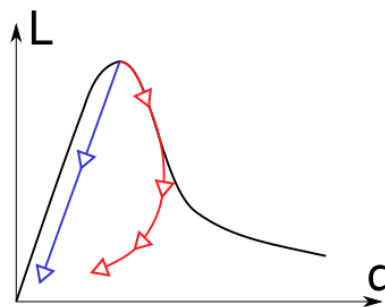
## Originality

Proposed control algorithm is used to simulate different type of crack propagation problems and results are compared with experimental ones. Researchers who are interested in finite element analysis to simulate failure analysis and crack propagation which shows some numerical stabilities can use this model.

<sup>†</sup> Corresponding author: lale@itu.edu.tr, +90-212-285-3752

## 1. Introduction

Quasi-brittle materials have a heterogeneous characteristic which is very significant in many engineering applications. Even under comparatively low load ratios, microcracks initiate and with the increase of load they propagate and grow and some of them may coalesce into macrocracks. This often causes material degradation and affects the performance of the structure. According to the experimental studies, strain localization is observed in the post-peak phase of loading process, which manifests itself as a softening part in load-displacement curve. For quasi-brittle materials, this softening part can be very sharp which arises severe difficulties when simulating it numerically. Therefore, failure study of quasi-brittle materials is of great importance in computational mechanics. Stiffness degradation and strength reduction take place during the softening regime of quasi-brittle materials. It is well known that post-peak behavior cannot be obtained by using load-controlled scheme. On the other hand, if softening part is not too sharp, softening part of the load-displacement curves can be obtained by employing displacement-controlled scheme successfully. In contrast, in some structural problems a sudden decrease in both load and displacement can be observed, as depicted in Figure 1, which is so called snap-back instability. Conventional displacement-controlled scheme cannot find a stable solution for this kind of problem. After the stress attains to its maximum value, the simulations cannot converge and consequently are interrupted.



**Figure 1.** Schematic representation of snap-back behavior

A variety of sophisticated solution techniques have been proposed over decades in order to get an equilibrium state for these kind of problems. A pioneering procedure of solution named as “arc-length” type approach that uses the length of the equilibrium path as a control parameter has been developed independently by Riks (Riks, 1972; Riks, 1979). Wempner (Wempner, 1971), and Ramm (Ramm, 1981). Crisfield (Crisfield, 1981; Crisfield, 1983) modified this mentioned method considering an improved suitability for finite element analysis. Also, Borst (De Borst, 1988; De Borst, 1989) applied a numerical approach, which is an incremental-iterative combination in loading procedure with an indirect displacement control for soil. Moreover, Tvergaard (Tvergaard, 1976) developed a method by defining additional equations in order to provide controlled increase of deformation based on Rayleigh-Ritz method. Instead of pressure, loading is prescribed by increasing the enclosed volume of the domain and it is applied to simulate the stability of internally pressurized elasto-plastic spherical shells. On the other hand, Segurado and Llorca (Segurado & Llorca, 2004) suggested a different strategy for solving snap-back behavior by introducing an auxiliary node in order to control load increment. This method is based on searching a new variable which monotonically increases during whole loading stage. In their work, they prescribe the sum of crack opening inside a volume while keeping the remote load as a variable of that opening. Paneda et al. followed same approach and employed this approach to get stable result for cohesive crack model (CCM) (Martínez-Pañeda & Fleck, 2018; Martínez-Pañeda, et al., 2017). In the studies of Carpinteri et al. (Carpinteri, 1989; Carpinteri, 1989; Carpinteri & Colombo, 1989), a cohesive crack model (CCM) is applied in order to investigate the instability problems in softening materials due to size effect, which causes a significant change in the load-displacement curve where crack propagation arises with a sudden drop in the load carrying capacity. Also, Biolzi et al. (Biolzi, et al., 1989; Biolzi, 1990) discovered that large-sized beams exhibited an unstable post-peak behavior and solved this problem with a brittleness number approach. Bocca et al. (Bocca, et al., 1990) used a stress-based assumption to mode-I and mixed mode problems.

Additionally, some numerical simulations require adaptive load-increment (reduction of load increment) beyond post-peak in order to get softening branch encountered while simulating three-point bending test. Especially for the analysis of bigger specimen without notch or specimen with a significantly smaller notch in comparison to the its size (Ayhan, et al., 2021; Lale & Gianluca, 2021). For these kind of difficulties, corresponding control algorithm can be used in order to have more control on crack-mouth opening versus load relation. On the other hand, some simulations might require imposing of constant ratio of displacement in two directions such as mix-mode failure test. For this type of task, control algorithm can offer a great advantage.

The motivation of this paper is to implement a control algorithm by following Segurado and Llorca (Segurado &



LLorca, 2004) approach, which overcomes the mechanical instabilities as well as enables to increase control over loading pattern. Some numerical examples, such as uniaxial tension test, three-point bending and mixed-mode fracture are simulated in order to investigate the performance of this control algorithm. The numerical results obtained from this study show that relevant control technique makes the loading more controlled and can successfully simulate the snap-back behavior. The presented method will contribute to the development of numerical simulation of the fracture behavior of quasi-brittle materials. It can also improve our understanding of the fracture mechanics of cementitious composites by producing the entire load-displacement correctly, including post-peak.

## 2. Implementation of Control Algorithm

Here, to describe the algorithm, a simple structural element with a predefined crack having a length of “a” is shown in Figure 2. A plate subjected to a vertical displacement  $u_y$  from both sides is considered so that mode-I crack can be observed. An auxiliary node ( $N_c$ ) is defined as a control node. Also, a node at the crack mouth ( $N_1$ ) and another node ( $N_L$ ) on the outer boundary where the loading is applied are described. It is important to mention here that displacement of the crack tip is related to the vertical force of the control node by  $u_y^{N_1} = f_y^{N_c}$ . Similarly, the displacement of the auxiliary node is taken equal to the vertical force imposed on outer boundary,  $u_y^{N_c} = f_y^{N_L}$ . Schematic representation of the method to establish these relationships as seen in Figure 2. Two auxiliary spring elements are created, which connect the control node ( $N_c$ ) with the nodes ( $N_1$ ) and ( $N_L$ ), respectively.

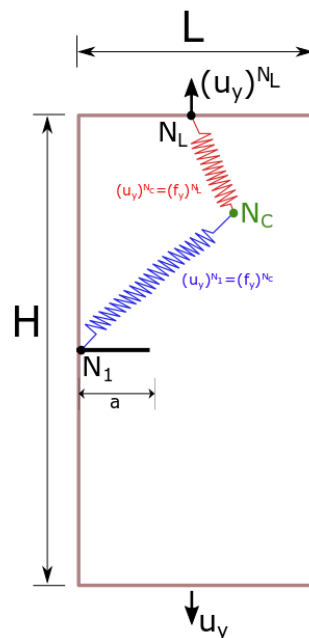


Figure 2. Control algorithm scheme

Relation between the vertical force of the control node and the vertical displacement of node at the crack mouth can be described by using a stiffness matrix as follows;

$$\begin{bmatrix} f_y^{N_1} \\ f_y^{N_c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_y^{N_1} \\ u_y^{N_c} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

On the other hand, second relation between the vertical load of the node on the outer boundary and vertical displacement of the control node is settled with the stiffness matrix below;

$$\begin{bmatrix} f_y^{N_L} \\ f_y^{N_c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_y^{N_L} \\ u_y^{N_c} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

It is worth indicating here that a vertical force should be imposed on the control node in order to provide monotonically increasing vertical crack tip displacement. Moreover, the remote displacement on the outer

boundary becomes an outcome of the solution. It should be worth mentioning here that diagonal terms of the stiffness matrices are taken as very small number such as in numerical analysis.

The control algorithm explained in the previous section is implemented via input file of finite element analysis programming software Abaqus (Abaqus, 2011) by providing stiffness matrices, which are defined in Equations (1) and (2). It is important to clarify that the equations explained above are defined for this elementary case. For other types of problems, the stiffness matrices should be redefined due to the crack opening directions.

### 3. Material Model

Compressive and tensile behavior of concrete are described by using concrete damaged plasticity model (CDPM) of Abaqus, which can represent the behavior of quasi-brittle material. It is based on coupling isotropic damage and plasticity. Typical tensile and compressive stress-strain behavior of the model under uniaxial loading are given in Figure 3.

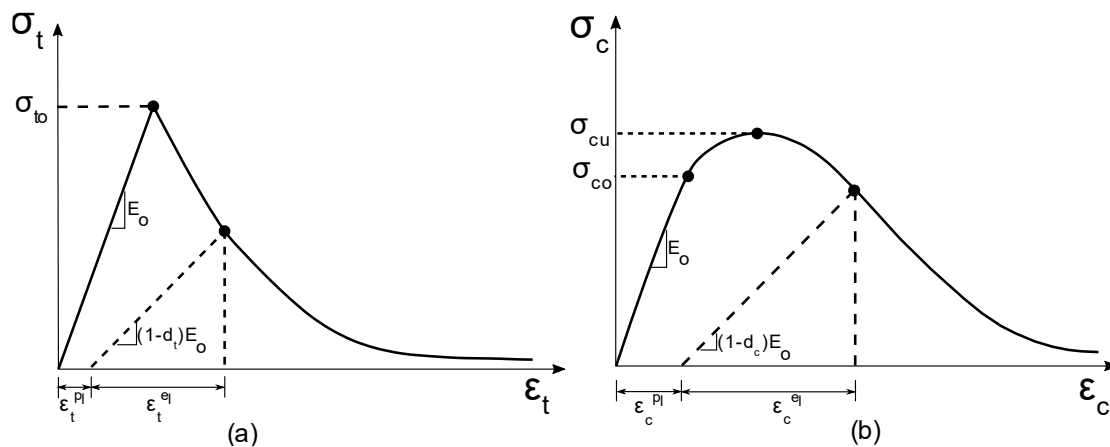


Figure 3. Uniaxial stress-strain behavior of concrete in tension (a) and compression (b), taken from (Abaqus, 2011)

CDPM uses two damage variables; one for tension,  $d_t$ , and one for compression,  $d_c$ , in order to denote the elastic stiffness decrease, under tension and compression separately. Damage variables can be between zero (intact state) and one (state for fully damage).

$$d_{t,c} = d_{t,c}(\epsilon_{t,c}^{pl}); 0 \leq d_{t,c} \leq 1 \tag{3}$$

where indices  $t$  and  $c$  indicate tensile and compressive features.  $\epsilon_t^{pl}, \epsilon_c^{pl}$  are the effective plastic strains for tensile and compressive strength, which control the evolution of yield surface.

With these two damage variables, stress can be related to strain under uniaxial tension and compression as follow;

$$\sigma_{t,c} = (1 - d_{t,c})E_o(\epsilon_{t,c} - \epsilon_{t,c}^{pl}) \tag{4}$$

where  $E_o$  is the intact elastic stiffness of the material.

Under multiaxial loading, stress tensor ( $\sigma$ ) can be described as,

$$\begin{aligned} \sigma &= (1 - d)\bar{\sigma} \\ \bar{\sigma} &= \mathbf{D}_o^{el} : (\epsilon - \epsilon^{pl}) \end{aligned} \tag{5}$$

Here,  $\bar{\sigma}$  denotes effective stress and  $\mathbf{D}_o^{el}$  is the elasticity matrix for intact material,  $d$  stands for damage in multiaxial loadings  $d = (1 - d_t)(1 - d_c)$ .

CDPM utilizes following yield surface ( $F$ ) in effective stress space (Lubliner, et al., 1989; Lee & Fenves, 1998), which enables different evolution of yield surface under tension and compression;

$$F = (1/1 - \alpha) (\bar{q} - 3\alpha\bar{p} + \beta(\varepsilon^{pl}) \langle \bar{\sigma}_{\max} \rangle - \gamma \langle -\bar{\sigma}_{\max} \rangle) - \bar{\sigma}_c(\varepsilon^{pl}) = 0 \quad (6)$$

Here,  $\bar{\sigma}_{\max}$  demonstrates principal stress in effective stress space.  $\bar{p}$  and  $\bar{q}$  denote first and second stress invariants as follows;

$$\bar{p} = -\frac{1}{3} \text{trace}(\bar{\sigma}), \quad \bar{q} = \sqrt{\frac{3}{2} (\bar{s} : \bar{s})} \quad (7)$$

Additionally, other parameters required for the definition of yield surface are given below

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{(\sigma_{b0}/\sigma_{c0}) - 1}{2(\sigma_{b0}/\sigma_{c0}) - 1}; 0 \leq \alpha \leq 0.5 \\ \beta &= \frac{\bar{\sigma}_c(\varepsilon_c^{pl})}{\bar{\sigma}_t(\varepsilon_t^{pl})} (1 - \alpha) - (1 + \alpha) \\ \gamma &= \frac{3(1 - K_c)}{2K_c - 1} \end{aligned} \quad (7)$$

Here,  $\psi, \sigma_{to}, \zeta$  denote the dilatation angle, the uniaxial tensile strength and eccentricity parameter, respectively.

#### 4. Numerical Simulation

In this section, numerical examples are conducted to demonstrate the performance of control algorithm. These examples include Mode-I and mixed mode fracture (Mode-I+Mode-II) propagation. Moreover, an example to overcome the snap-back instability is also presented.

##### 4.1. Uniaxial Tension Specimen

Uniaxial tension specimen (UTS) is modeled to simulate mode-I fracture. All geometrical details and boundary conditions are depicted in Figure 4. Specimen is assumed under plane strain condition by preventing the out-of-plane deformation. A concentrated force is imposed in the vertical direction on the control node  $f_y^{Nc} = 0.05$ . In the simulation, CDPM is used to define material property of the specimen. Young's modulus and Poisson's ratio are chosen as  $E=30\text{GPa}$  and  $\nu=0.2$ , respectively. Tensile behavior is defined by using tensile strength and the fracture energy,  $f_t=3\text{MPa}$  and  $G_f=20\text{Joule/m}^2$ .

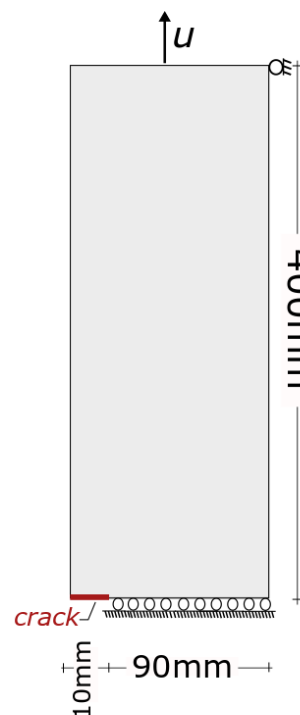


Figure 3. Geometrical details of uniaxial tension specimen (UTS)

The specimen is analyzed for 3 cases; first case is without control algorithm, second one is with control algorithm and last one is with the solution using Riks method (arc-length method) developed previously in the works of Riks (Riks, 1972; Riks, 1979). Obtained load-displacement curves are shown in the Figure 5. It can be seen from the figure that the model without control algorithm can only reach the peak point and cannot go on beyond peak point and analysis is interrupted, which means it cannot capture snap-back behavior. However, it is worth noting that model with control algorithm can capture snap-back behavior like Riks method.

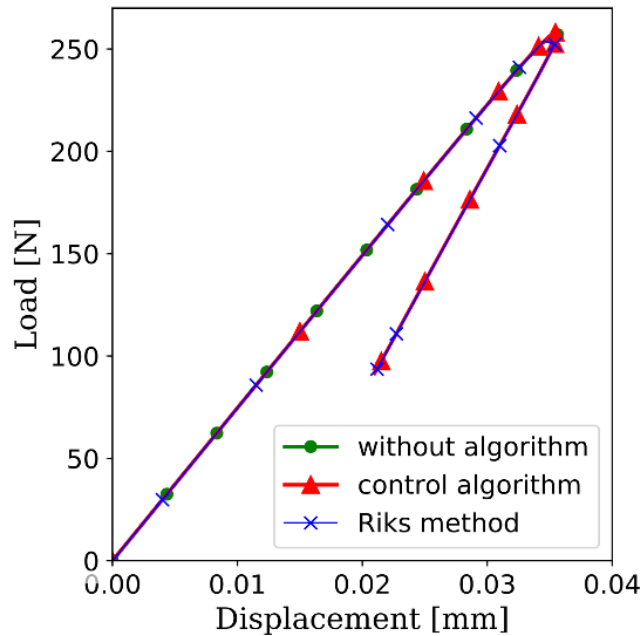


Figure 5. Load versus crack tip vertical displacement

#### 4.2. Three-point Bending Beam Test

Three-point bending beam with a predefined notch which is also an example of Mode-I failure is simulated to investigate load versus crack mouth opening displacement (CMOD) behavior. Geometrical and loading details of the specimen, which are taken from the experimental study performed by Hoover et al. (Hoover, et al., 2013), are presented in Figure 6a. The thickness of the beam is  $t=40\text{mm}$ . Control algorithm implemented in the input file is defined using the tip nodes ( $N_1$  and  $N_2$ ) at the two sides of the notch, as shown in Figure 6b. Control node ( $N_c$ ) is connected to these two tip nodes with two linear elements and to a remote boundary node ( $N_i$ ) with one linear element.

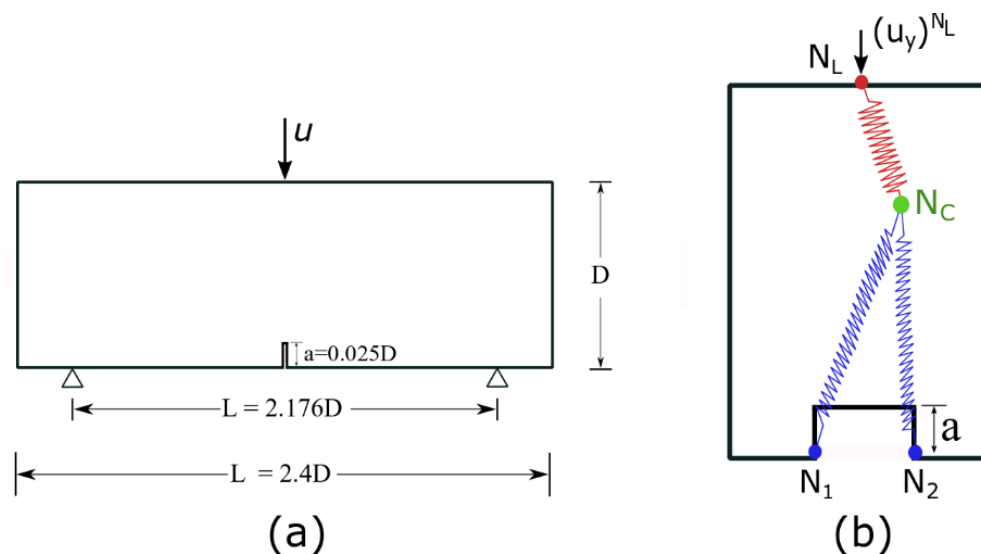


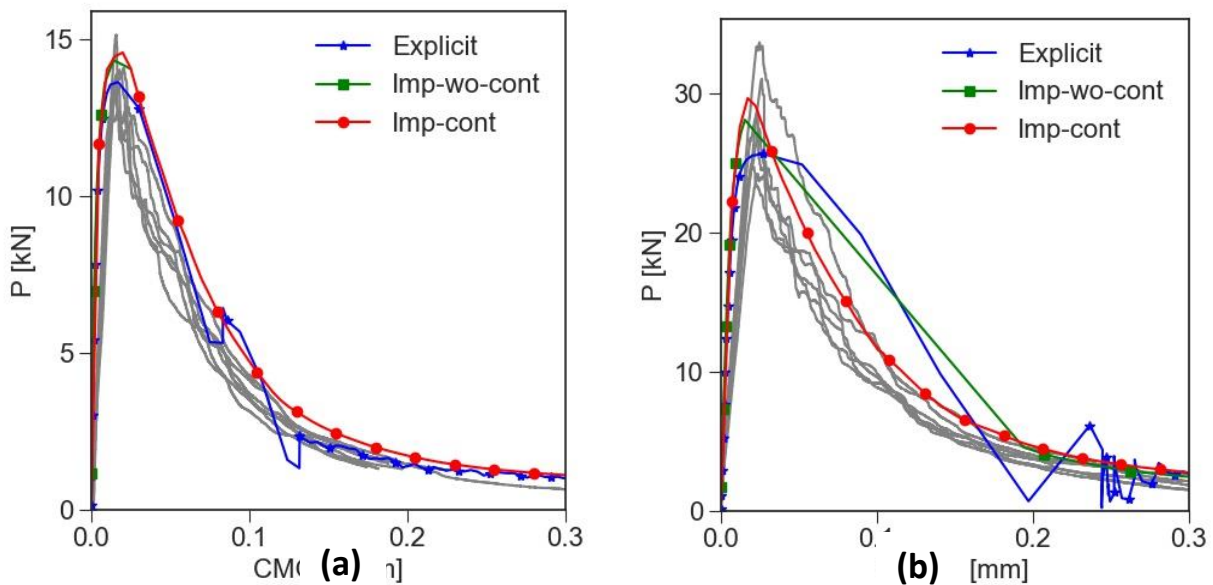
Figure 6.a) Geometrical details of three-point bending specimen b) control algorithm scheme.

Here, horizontal displacements of the crack tip nodes are utilized to calculate CMOD, as  $(u_x^{N_1} - u_x^{N_2})$ . The relation between the crack mouth nodes and control node is given by a stiffness matrix as follows;

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ f_x^{N_c} \\ f_y^{N_c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_x^{N_1} \\ u_y^{N_1} \\ u_x^{N_2} \\ u_y^{N_2} \\ u_x^{N_c} \\ u_y^{N_c} \end{Bmatrix} \quad (10)$$

In this example, an element with two degree-of-freedom  $(u_x, u_y)$  is required in order to describe CMOD as a function of vertical force applied on the control node. Also, the relation between control node and remote node (Loading one) is similar as described in Equation (2).

In the simulation, material properties of the quasi-brittle specimen are selected as follows; modulus of elasticity is  $E=30\text{GPa}$ , Poisson’s ratio is  $\nu=0.2$ . Tension softening part of the material is characterized with a tensile stress of  $f_t=3\text{MPa}$  and a fracture energy of  $G_f=20\text{Joule/m}^2$ . The vertical concentrated force is subjected to control node NC to obtain the load versus the opening displacement of crack. Figure 7 shows a comparison between the models with (Imp-cont) and without control (Imp-wo-cont) algorithm as well as experimental results for the beam  $D=215, 500\text{ mm}$ . From the Figure 7a, it can be seen that for  $D=215\text{ mm}$ , analysis without control algorithm stops at the peak and cannot find a proper solution path whereas the simulation with control algorithm is able to capture post peak successfully. Also, one can easily notice that while explicit simulation gives an oscillatory post-peak behavior, model with control algorithm produces a smooth post-peak response which is compatible with experimental results. Figure 7b demonstrates results for the beam having depth  $D=500\text{ mm}$ , simulation under the framework of implicit with control algorithm and explicit analysis give similar results as they produce in  $D=215\text{ mm}$ . On the other hand, simulation without control algorithm can find a solution path beyond the peak but behavior exhibit a very large jump which doesn’t produce correct post-peak behavior as can be seen from the figure. Overall, control algorithm can capture peak values correctly and produce a smooth post-peak behavior.



**Figure 4.** Load versus crack mouth opening displacement (CMOD) curve of three-point bending test; a)  $D=215\text{ mm}$ , b)  $D=500\text{ mm}$ .

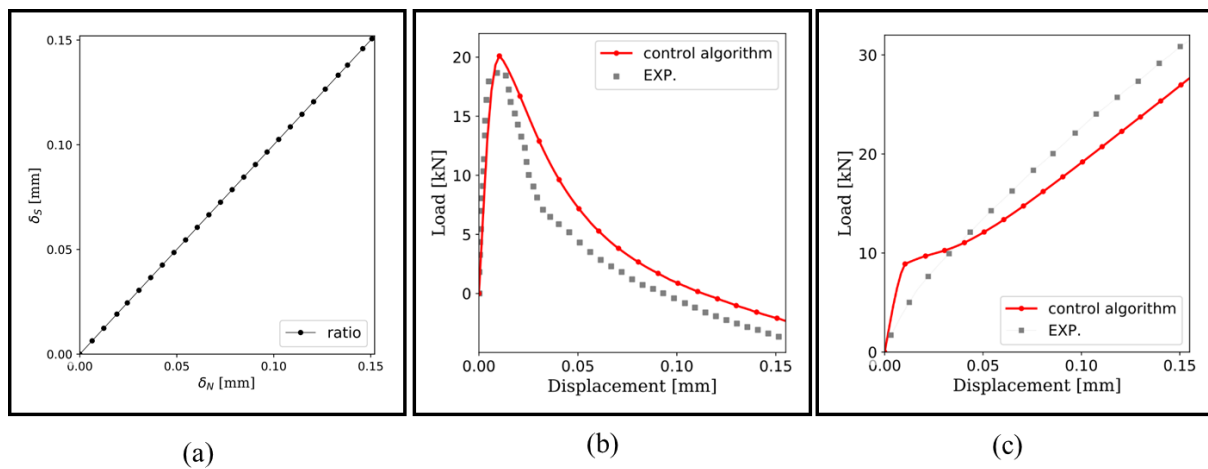


$f_x^{Nc} = \left( u_x^{S_1} - \frac{u_x^{S_2}}{2} \right)$ . The relation between the crack tip nodes and control node can be given by a following stiffness matrix;

$$\begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ f_x^{Nc} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & -0.5 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_x^{S_1} \\ u_x^{S_2} \\ u_x^{Nc} \end{Bmatrix} \quad (12)$$

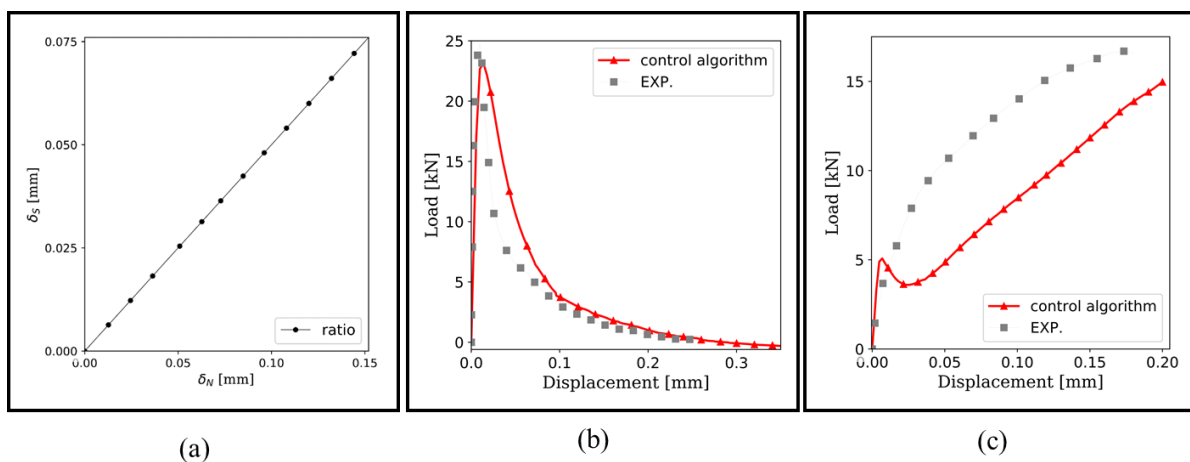
Same relation between the control node and the node on the upper left part of the specimen are defined as shown in previous examples.

Obtained result for the test loaded equal vertical and lateral displacement is given in Figure 9. During the all phases of the simulation, the ratio between axial and lateral deformation  $\delta_N/\delta_S=1$  is obtained, and given in Figure 9a. Load versus axial and lateral displacements are plotted together with the experimental results, as shown in Figure 9b-c.



**Figure 6.**a) Calculated axial deformation versus lateral deformation  $\delta_N/\delta_S=1$  b) Axial load-displacement curves c) Lateral load-displacement curves.

Similarly, Figure 10 shows the curves of the simulation having loading ratio as  $\delta_N/\delta_S=2$ . The ratio between axial and lateral deformation  $\delta_N/\delta_S=2$  is given in Figure 10a. Load versus axial and lateral displacements as well as experimental results are given in Figure 10b-c.



**Figure 10.**a) Calculated axial deformation versus lateral deformation  $\delta_N/\delta_S=2$  b) Axial load-displacement curves c) Lateral load-displacement curves.

Models with implemented control algorithm can capture load versus displacement curves for both directions quite well and it enables to control loading ratio successfully.

**5. Results**

A control algorithm is implemented to increase loading in a more controlled manner and its performance is investigated using three different simulations; one of them uniaxial tension test which exhibit snap-back behavior, the other one is three-point bending beam test and last one is mixed mode test which is to be subjected to constant ratio of displacement in two directions. The performance of the control algorithm in the finite element model is demonstrated that the whole load-displacement curve can be obtained while simulating brittle and quasi-brittle failures. Based on this study, the following conclusions can be drawn

- i) The employed control algorithm is able to handle snap-back behavior successfully.
- ii) Control algorithm provides a framework which enables increasing load in a more controlled manner such as increasing load on remote nodes result a monotonic increase in crack opening.
- iii) When a more sophisticated loading scheme is required, it can be employed as shown in mixed mode simulations.

For the future study, same approach will be extended to work under explicit dynamic framework and it will be modified for non-monotonic loading pattern.

### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

### References

- Abaqus. (2011). Providence, RI, USA.: Dassault Systemes Simulia Corporation.
- Ayhan, B., Lale, E. & Celik, N., 2021. Size effect analysis of concrete beams under bending using crack-band approach.. *Journal of Polytechnic*, pp. 1-1.
- Biolzi, L., 1990. Mixed mode fracture in concrete beams. *Engineering Fracture Mechanics*, 35(1-3), pp. 187-193.
- Biolzi, L., Cangianno, S., Tognon, G. & Carpinteri, A., 1989. Snap-back softening instability in high-strength concrete beams.. *Materials and Structures*, 22(6), pp. 429-436.
- Bocca, P., Carpinteri, A. & Valente, S., 1990. Size effects in the mixed mode crack propagation: softening and snap-back analysis. *Engineering Fracture Mechanics*, 35(1-3), pp. 159-170.
- Carpinteri, A., 1989. Post-peak and post-bifurcation analysis of cohesive crack propagation. *Engineering Fracture Mechanics*, 32(2), pp. 265-278.
- Carpinteri, A., 1989. Softening and snap-back instability in cohesive solids. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 28(7), pp. 1521-1537.
- Carpinteri, A. & Colombo, G., 1989. Numerical analysis of catastrophic softening behavior (snap-back instability). *Computers & Structures*, Volume 31, pp. 607-636.
- Crisfield, M., 1981. A fast incremental/iterative solution procedure that handles "snap-through". *Computational methods in nonlinear structural and solid mechanics*, pp. 55-62.
- Crisfield, M., 1983. An arc-length method including line searches and accelerations. *International journal for numerical methods in engineering*, pp. 1269-1289.
- De Borst, R., 1988. Bifurcations in finite element models with a non-associated flow law. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 12(1), pp. 99-116.
- De Borst, R., 1989. Numerical methods for bifurcation analysis in geomechanics. *Ingenieur-Archiv.*, 59(2), pp. 160-174.
- Hoover, C. G. et al., 2013. Comprehensive concrete fracture tests: Description and results. *Engineering Fracture Mechanics*, Volume 114, pp. 92-103.
- Lale, E. & Gianluca, C., 2021. Symmetric high order microplane model for damage localization and size effect in quasi-brittle materials. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 45(10), pp. 1458-1476.
- Lee, J. & Fenves, G. L., 1998. Plastic-Damage Model for Cyclic Loading of Concrete Structures. *Journal of Engineering Mechanics*, Volume 124(8), pp. 892-900.
- Lubliner, J., Oliver, J., Oller, S. & Oñate, E., 1989. A Plastic-Damage Model for Concrete. *International Journal of Solids and Structures*, Volume 25, pp. 299-329.
- Martínez-Pañeda, E., del Busto, S. & Betegón, C., 2017. Non-local plasticity effects on notch fracture mechanics. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, Volume 92, pp. 276-287.
- Martínez-Pañeda, E. & Fleck, N. A., 2018. Crack growth resistance in metallic alloys: the role of isotropic versus kinematic hardening. *Journal of Applied Mechanics*, 85(11), p. 111002.
- Nooru-Mohamed, M. B., 1993. *Mixed-mode fracture of concrete: An experimental approach*. The Netherlands: Delft University of Technology.
- Ramm, E., 1981. *Strategies for Tracing the Nonlinear Response Near Limit*. Berlin: Springer.
- Riks, E., 1972. The application of Newton's method to the problem of elastic stability.. *Journal of Applied Mechanics*, pp. 1060-1066.
- Riks, E., 1979. An incremental approach to the solution of snapping and buckling problems. *International Journal of Solids and Structures*, pp. 529-551.
- Segurado, J. & Llorca, J., 2004. A new three-dimensional interface finite element to simulate fracture in composites. *International Journal of Solids and Structures*, 41(11-12), pp. 2977-2993.



- Tvergaard, V., 1976. Effect of thickness inhomogeneities in internally pressurized elastic-plastic spherical shells.. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 24(5), pp. 291-304.
- Wempner, G. A., 1971. Discrete approximations related to non-linear theories of solids. *International Journal of Solids and Structures*, pp. 1581-1599.



## JEOFİZİK VE MİMARİ PARAMETRELERİN AKILLI KENTLER VE PLANLAMADAKİ ÖNEMİ

Nurten Ayten UYANIK<sup>1\*</sup>, Nihan Sena HİDİŞOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İleri Teknolojiler ABD, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Jeofizik,  
Mimari,  
Planlama,  
Standardizasyon,  
Akıllı Şehirler.*

### Öz

Günümüzde yaşanan kentsel sorunlara çözüm niteliğinde geliştirilen akıllı kent kavramı çeşitli projeler ile dünya genelinde uygulanmaya başlanmıştır. Henüz sınırları ve tanımı tam olarak belirlenemeyen akıllı şehirlerin uygulama alanları ağırlıklı olarak ekoloji ve teknoloji olarak gelişmektedir. Ancak kentleri etkileyecek doğa olaylarının önemi göz ardı edilmemelidir. Ülkemizi etkileyen en önemli doğa olayı depremdir. Deprem yerde oluşturduğu etkiler, derin yeraltı yapısal özelliklerine ve yüze yakın tabakaların fiziksel özelliklerine bağlı değişkenlik gösterir ve bu özellikler jeofizik yöntemler ile belirlenir. Bu nedenle kentlerin depremden en az derecede etkilenmesi için doğru yer seçimi yapılırken mutlaka Jeofizik yöntemlerden yararlanılmalıdır. Yer bilimi verilerinden yoksun, sadece ekolojik ve teknolojik olarak geliştirilen akıllı şehirler, deprem gibi doğa olaylarına karşı korunmasız olacaktır. Bu çalışmada yeni oluşmakta olan akıllı şehir kavramının uygulamaya geçilmeden önce planlama ve uygulama esaslarının belirlenmesinin ve aynı zamanda mimari ve jeofizik parametrelerin kullanılmasının gerekliliği Isparta örneği üzerinden vurgulanmıştır. Ayrıca akıllı şehirlerin önemi kavramsal bir denklem yardımıyla açıklanmış ve kentsel sorunlar kapsamında karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Son olarak akıllı şehirlerin uygulanması esnasında yer seçimi ile ilgili gerekli parametreler ve standartlaştırılabilecek mimari planlama önerilerinde bulunulmuştur.

## THE IMPORTANCE OF GEOPHYSICS AND ARCHITECTURAL PARAMETERS IN SMART CITIES AND URBAN PLANNING

### Keywords

*Geophysics,  
Architecture,  
Planning,  
Standardization,  
Smart Cities.*

### Abstract

The concept of smart city, which has been developed as a solution to the urban problems experienced today, has started to be implemented around the world with various projects. The application areas of smart cities, whose boundaries and definitions have not yet been determined, are mainly developing in terms of ecology and technology. However, the importance of natural events that will affect cities should not be ignored. Earthquake is the most important natural event affecting our country. The effects of the earthquake on the ground vary depending on the deep underground structural features and the physical properties of the layers close to the surface, and these properties are determined by geophysical methods. For this reason, geophysical methods should be used while choosing the right place in order to minimize the effects of the earthquake on the cities. Smart cities, devoid of earth science data, and developed only ecologically and technologically, will be vulnerable to natural events such as earthquakes. In this study, the necessity of determining the planning and application principles and using architectural and geophysical parameters before the implementation of a newly forming smart city concept has been emphasized through the example of Isparta. In addition, the importance of smart cities is explained with the help of a conceptual equation and evaluated comparatively within the scope of urban problems. Finally, during the implementation of smart cities, necessary parameters related to site selection and architectural planning suggestions that can be

\* İlgili yazar / Corresponding author: aytenuyanik@isparta.edu.tr, +90-246-211-6910

---

standardized were made.

---

**Alıntı / Cite**

Uyanık, N.A., Hidişoğlu, N.S., (2023). Jeofizik ve Mimari Parametrelerin Akıllı Kentler ve Planlamadaki Önemi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 643-658.

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

N.A. Uyanık, 0000-0002-8912-0361  
N.S. Hidişoğlu, 0000-0002-9347-1631

**Makale Süreci / Article Process**

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	21.09.2022
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	25.02.2023
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	25.02.2023
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

---

# THE IMPORTANCE OF GEOPHYSICS AND ARCHITECTURAL PARAMETERS IN SMART CITIES AND URBAN PLANNING

Nurten Ayten UYANIK<sup>1†</sup>, Nihan Sena HİDİŞOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical Sciences, Department of Property Protection and Security, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Isparta University of Applied Sciences, Graduate School of Education, Department of Advanced Technologies, Isparta, Türkiye

## Highlights

- Planning and implementation principles for smart cities are determined
- The necessity of architectural and geophysical parameters for smart cities is stated
- A conceptual equation is proposed for the importance of smart cities
- Suggestions are made regarding the planning principles of smart cities

## Graphical Abstract



Figure. Connecting Components of Smart Cities

## Purpose and Scope

The aim of this study is to emphasize the necessity of determining the planning and application principles before the concept of smart city is put into practice, and also the use of architectural and geophysical parameters through the example of Isparta.

## Design/methodology/approach

It is explained the importance of smart cities through a conceptual equation, to examine the purposes of smart cities in terms of urban problems, and to reach the goal by creating architectural planning principles that can be standardized during the formation of smart cities. The data obtained in the study based on the qualitative research method were examined with the Descriptive Analysis Method and the content of the smart city concept was revealed. The importance of geoscience, engineering and architectural data required for the establishment of smart cities, such as natural events, deep and near-surface underground structure is revealed.

## Findings

As geoscientific data, the importance of Geophysical Engineering methods in both determining the structural state and predetermining the physical parameters at macro and micro scales of the underground is stated. It is not possible for smart cities to develop without geoscience and architectural planning. The importance of smart cities is explained in a logical framework, their purposes are examined and verified in terms of urban problems, and suggestions are made regarding standardized planning principles.

## Originality

Application areas of smart cities are developing mainly in terms of ecology and technology. However, the importance of natural events such as earthquakes that will affect cities was first expressed in this study and a graphic was presented for application standards and connection components of smart cities.

## 1. Giriş (Introduction)

<sup>†</sup> İlgili Yazar / Corresponding author: aytenuyanik@isparta.edu.tr, +90-246-211-6110

İnsanlığın temel içgüdülerinden olan korunma ve barınma ihtiyaçları, günümüzde etkilerini kentleşme ve yerleşme olarak göstermektedir. Süreç boyunca yapısını, ihtiyaçlara ve zevklere göre değiştiren kent oluşumu, mevcudiyetini mega kentlere kadar ilerletmiş ve sıradaki adımı konuşur vaziyete gelmiştir. Dünya nüfusunun hızla ve plansızca artması, modern kentin sorunlarını da beraberinde yükeltmiştir. Kontrolsüz kentsel yayılma, kaynak kıtlığı, kentsel lojistik ve ulaşım, çevre kirliliği, teknik altyapı ve atık yönetimi, yaşlanan nüfus, gelir eşitsizliği ve kamu işlerinin yönetimine düşük düzeyde vatandaş katılımı modern kentlerin başlıca sorunları olarak görülmektedir (Winkowska vd., 2019). Kentsel sorunların önüne geçmek için akıllı kent sisteminin yaşamın bütün alanlarına yayılması, teknoloji odaklı şehirlerden ziyade teknoloji destekli kentlerin oluşturulması ve çok disiplinli çalışma periyodunda bütüncül bir proje yürütülmesi gerekmektedir (Ateş ve Önder 2019). Acilen müdahaleye ihtiyacı olan bu problemlerin ışığında “akıllı kent” kavramı, bir çözüm sistemi olarak önümüze çıkmaktadır. Fakat halihazırda akıllı kentlerin, gelişen bir kavram olması nedeni ile birçok tanımı ve yaklaşımı bulunmaktadır (Barutçu, 2021).

Teknolojinin soluksuz ilerleyişi karşısında mevcut kentsel düzenler hala daha durağanlığını sürdürmektedir ve bu durum da ilerleyişin hızını kesmekte, bazı noktalarda ise ilerleyişi geri çekmektedir. Kentlerin teknolojiyi ve insanları destekleyeceği yeni sistemsel altyapı ihtiyacını, sürdürülebilirliğe olan katkısındaki gibi akıllı kentleşmenin karşılayacağı düşünülmektedir (Ulusoy, 2017). Akıllı şehirler, teknolojinin getirileri ile halkın yaşam kalitesine olumlu etkiler oluşturmayı da hedeflemektedir (Lacinák ve Ristvej, 2017). Bir kentin akıllılık kavramını elde edebilmesi için ise bazı koşulları karşılayabilmesi gereklidir. Koşullar ancak sağlam temellere dayalı olarak oluşturulursa işlevsel çalışabilecektir. Sağlam temeller öncelikle şehirlerin yerleşeceği yerlerde doğa olaylarına bağlı olarak yer bilimsel özelliklerinin bilinmesi sonucunda oluşturulabilir. Uyanık (2015) bir şehir kurulmadan önce makro ve mikro ölçekte yer bilimsel özelliklerinin belirlenmesi gerekliliğini vurgulamaktadır. Makro ölçekte derin yeraltı yapılarının yer yüzeyinde kurulacak olan şehirleri nasıl etkileyeceği açısından önem arz ederken mikro ölçekte üretilecek geoteknik parametrelerin yapı tasarımına etkisi irdelenmektedir. Ateş ve Uyanık (2019) da yer-yapı etkileşimine detaylı değinilmiştir. Ayrıca Pamukçu vd. (2014) tektonik yapının da bilinmesinin gerekliliğini belirtmiştir. Anlaşılacağı üzere bir şehir yerleşimi için yer seçimi aşamasında birçok yer bilimsel parametrelere ihtiyaç vardır. Bunlara ek olarak günümüze kadar kurulmuş olan şehirlerde doğal radyasyonun göz ardı edildiği ve şehirleşmelerde özellikle volkanik bölgelerde doğal radyasyona bağlı radyolojik riskin bilinmesinin önemi Uyanık vd. (2013a)’de belirtilmiştir. Doğal radyasyonun yerinde belirlenmesine yönelik gama-ışın spektrometre çalışmaları birçok araştırmacı tarafından yapılmaktadır (Taskin vd., 2009; Uyanık vd., 2015a 2015b 2022; Aziz vd., 2020; Abojassim ve Rasheed, 2021; Uyanık, 2022; Altundas, 2022). Ayrıca yapıda inşaat malzemesi olarak kullanılan materyallerin tahribatsız testleri (Uyanık ve Tezcan, 2012) ve radyoaktivitesinin (Uyanık vd., 2013b)’de önemi vurgulanmıştır. Dolayısıyla bir akıllı kent kavramının oluşabilmesi için bu kentlerin kurulacağı yerlerin seçiminden başlanması ve akıllı kentlerde kullanılacak doğal malzemelerin insan sağlığına zararının olup olmadığının ortaya konulması gerekmektedir.

Henüz daha temellerinin oluşturulmasına çalışılan akıllı kent kavramı, ekoloji ve teknoloji odağında gelişen çeşitli uygulamalar ile sınırları çizilmektedir. Türkiye genelinde İstanbul, Konya, Bursa ve Kayseri kentlerinde akıllı kentlerin farklı bileşenleri üzerinden çeşitli projeler ortaya koyulmuştur. Kayseri’de akıllı aydınlatma sistemleri, İstanbul’da Akıllı Mobil Aktarma İstasyonu ve Antalya’da geri dönüşümlü atık otomatı projeleri gerçekleştirilmiştir (Kemeç ve Gül, 2021). Dünya ülkelerinde ise Singapur başta olmak üzere birçok ülke ve şehir akıllı uygulamalar geliştirerek akıllı kentleşmeye uyum sağlamaya çalışmaktadır. Fakat bu hızlı adaptasyon ve üretim sürecinin temeli ve esasları henüz olgunlaşmamış olan akıllı kent kavramını yıpratmış düşünülmemektedir. Bölüm 3’te akıllı kentlerin Dünya üzerindeki örnekleri ve mevcut durum değerlendirmesi detaylı olarak ele alınmıştır. Mühendislik, mimari, yer bilimi, ekonomi, bilişim sistemleri, yönetim vb. gibi birçok farklı çalışma konusu barındıran kavramın teknik ve uygulama esasları henüz netlik kazanamamıştır. Söz konusu kentlerin, yeni oluşturulacak olan örneklerinin her birinde işleyecek ve sistem çarklarını döndürmeye başlatacak ana prensiplere sahip olması gerektiği düşünülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada akıllı kentlerin önemini kavramsal bir denklem üzerinden açıklamak, akıllı şehirlerin amaçlarını kentsel sorunlar açısından incelemek ve akıllı şehirlerin oluşumu esnasında standartlaştırılabilecek mimari planlama esaslarını oluşturmak amaçlanmıştır. Sonuç olarak akıllı kentlerin kurulabilmesi için doğa olayları, derin ve yüzeye yakın yeraltı yapısı ve yüzeydeki yapıya kadar gerekli yer bilimsel, mühendislik ve mimari verilerin önemi ortaya konulmuştur.

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

Yapılan çalışma akıllı kentlerin; tanımını, önemini, örneklerini ve özelliklerini kapsamaktadır. Nitel araştırma yöntemine dayanan çalışmada elde edilen veriler betimsel çözümleme yöntemi ile incelenmiş ve akıllı kent kavramının içeriği ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Gerçekleştirilen literatür taraması ve gözlemler sonucunda akıllı kentlerin önemi kavramsal bir denklem ile somut hale getirilmeye çalışılmış ve amaçları kentsel sorunlar

kapsamında karşılaştırılarak tablo halinde sunulmuştur. Ardından dünya üzerindeki akıllı kent bakış açısı örnek uygulamalar üzerinden incelenmiş ve akıllı kentlerin mimari ve yer bilimsel esasları üzerine önerilerde bulunulmuştur.

### 2.1. Betimsel Çözümleme Yöntemi (Descriptive Analysis Method)

Betimsel çözümleme yönteminde temel hedef, gözlemler ve görüşmelerden elde edilen verilerin okuyucunun anlayacağı bir biçimde düzenlenmesi ve yorumlanmasıdır (Karataş, 2015). Veriler, önceden belirlenmiş özelliklere göre sınıflandırılır, özetlenir ve yorumlanır. Bulgular arasında karşılaştırmalar yapılır ve neden-sonuç ilişkileri kurularak kavramsal bir anlam bütünlüğü oluşturulur (Yıldırım ve Şimşek, 2008).

Söz konusu çalışmada literatür taraması sonucu elde edilen veriler akıllı kentlerin kavramsal bütünlüğünü oluşturabilmek adına analiz edilmiş ve yorumlanmıştır. Akıllı kentlerin gerekliliği, önemi ile bütünleştirilerek ispatlanmaya çalışılmış ve tüm oluşum mimari, yer bilimsel, inşai ve insani yönlerden değerlendirilmiştir. Son olarak ise elde edilen bulgular ışığında akıllı kentler için uygulama ve planlama esasları önerilmiştir.

### 2.2. Akıllı Kent Kavramı (Smart City Concept)

Akıllı kent kavramı ilk olarak 1960 yıllarında “cybernetically planned cities” olarak tanımlanan akıma dayanmaktadır. Bunu takip eden 1980 yıllarında “networked cities” ve 1990 yıllarındaki “smart growth movement” kavramları, günümüzün ‘akıllı kent’ fikrinin temelini oluşturmaktadır (Çetin ve Çiftçi, 2019). Avrupa parlamentosu 2014 yılında akıllı kentlerin, çok paydaşlı ve belediye odaklı ortaklık oluşturan, Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) temelli çözümler ile kamu problemlerini çözen bir oluşum olduğundan bahsetmiştir. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği bakanlığı (CBS) ise akıllı şehirleri paydaşların iş birliği ile uygulayan, yeni teknolojileri kullanan, veri uzmanlığına dayalı olarak gerekçelendirilen ve hayata değer katan ihtiyaçları öngörerek çözümler üreten daha sürdürülebilir kentler olarak tanımlamıştır (URL-1). Chourabi vd. (2012) ise bir şehri “akıllı” yapma fikrinin, kentsel nüfus artışı ve hızlı kentleşmenin yarattığı sorunları hafifletmek için bir strateji olarak ortaya çıktığını belirtmektedir. Akımlar, fikirler ve ihtiyaçlar ile beslenen akıllı kent kavramının henüz tek ve net bir tanımı bulunmamaktadır. Akıllı kentler “akıllı cihaz, akıllı ev, akıllı enerji, akıllı bina, akıllı ulaşım, akıllı lojistik, akıllı güvenlik, akıllı tarım, akıllı çevre, akıllı sağlık ve akıllı eğitim” şeklinde çeşitli uygulama alanlarından oluşmaktadır (Diril, 2021). Her bir uygulama alanı ise kendi içerisinde çeşitli uzmanlıklar ve kriterler bulundurmaktadır. Cohen (2012) akıllı şehirlerin bileşenlerini yönetim, çevre, hareketlilik, ekonomi, insan ve yaşam olarak tanımlamış ve “smart city wheels” adında bir şema ile açıklamıştır. Rossi (2017) akıllı kentlerin amacını; sensörlerin, veri toplama ve depolama aygıtlarının, tüm teknolojik uygulamaların ve araçların zenginleştirilmiş kâr yaratma alanları ve kapitalist yeniden canlandırma stratejisi olarak geleceğin “pazar fırsatı” olarak tanımlarken, Caprotti ve Cowley (2019) akıllı şehirlerin kentsel sürdürülebilirliği geliştirmeyi hedeflediğinden bahsetmektedir. Yukarıda belirtilen tüm uygulama alanlarının işlevlerini başarı ile yerine getirebilmeleri ve sağlıklı bir şekilde sürdürebilmeleri için en başından “akıllı planlama” ile yola çıkılması gerektiği düşünülmektedir.

Her şehrin kendine özgü oluşu, akıllı kent kavramını ve amacını da kendi içerisinde özelleştirmektedir. Tasarımdan uygulamaya kadar olan tüm süreçte, akıllılık kavramının şehrin kişiselliği ile biçim değiştireceği öngörülebilmektedir. Amacın ve tanımın şehirlerarası değişkenliği, bizleri akıllı kent kavramının en büyük özelliğinin esneklik olduğunu göstermektedir. Fakat her ne kadar esnek olursa olsun amacı ve merkezi bilinen bir kavramın, özellik kazanması ve somut hale gelebilmesi için bazı uygulama ve planlama esaslarına sahip olması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca bir şehrin kurulduğu alan doğa olaylarına karşı direnci zayıf ise o şehrin akıllı davranma ihtimali yer bilimi açısından mümkün değildir. Dolayısıyla akıllı kent olma koşulu doğru yer seçiminden başlayarak doğa olaylarına karşı direnci yüksek ve önceden önlem alabilen kentler olmalıdır. Örneğin 6 ve üzeri büyüklüğünde bir deprem meydana geldiği an şehri besleyen elektrik, doğal gaz vb. gibi ana şalterlerin otomatik kesilmesi önemli bir adımdır.

### 2.3. Akıllı Kentlerin Önemi (Importance of Smart Cities)

Akıllı kentlerin önem kavramı, öznel bir yargı olmak ile birlikte ölçümü ve değerlendirilmesi bakımından da oldukça değişken bir yapıdadır. Bağımlı ve bağımsız değişkenleri belirlenmediği sürece soyut bir kavram olarak kalmaya da mecbur olacaktır. Önem olgusunun amaç, ihtiyaç, zaman ve sorun ile ilişkilendirilerek kavramsal bir denklem oluşturulması, akıllı kent oluşumunun ve önem değerinin de mantıksal bir zemine oturmasını kolaylaştıracaktır. Bir olgunun önemi, hizmet edeceği amaç ve ihtiyaç ile doğru orantılı olmalıdır. Mevcut sorunlar güncel ihtiyaçları doğurmaktadır ve oluşan ihtiyaçlar ise yeni amaçlar var etmektedir. Son olarak oluşan amaçları gerçekleştirmeye odaklanmış kavramlar ortaya çıkmaktadır. Zaman ise izafiyet teorisinde açıklandığı üzere görecelidir ve tüm olguları içerisine alan bir katalizör görevi görmektedir. Sonuç olarak elde edilen

(“Sorunlar ihtiyaçları, ihtiyaçlar amaçları ve amaçlar kavramları oluşturur”) kavramsal denklemin mevcut durumlar için zamana bağlı değerlendirilmesi, önem kavramının ölçülmesini sağlayacaktır. Oluşturulan kavramsal denklem Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Zamana bağlı kavramsal yol şeması (Time-dependent conceptual path diagram)

Sanayi devriminden itibaren insanoğlunun dünya üzerindeki etkisinin artması ve son zamanlarda bu müdahalenin zirve noktasına ulaşmış olması birçok sorunu beraberinde getirmiştir. Giriş bölümünde belirtilen, modern kentlerin başlıca sorunları ele alınarak “Bu sorunlar ne tür ihtiyaçlar ve amaçlar ortaya çıkarabilir?” sorusu sorulmuştur. Akıllı kent kavramının asıl amacının ve bu amacın kökeninin incelendiği bir tablo oluşturulmuştur. “Sorunlar ihtiyaçları, ihtiyaçlar ise amaçları oluşturur” prensibine dayanan içerik, mimari açıdan yorumlanarak doldurulmuştur. Sonuca bakıldığında ise modern kent sorunlarının çözülebilmesi için oluşturulan amaçların, akıllı kentlerin amaçları ve yetkinlikleri ile uyum sağladığı görülebilmektedir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Modern kentlerin başlıca sorunlarının doğuracağı ihtiyaçlar ve amaçlar  
(The needs and goals that will arise from the main problems of modern cities)

Modern Kentlerin Başlıca Sorunları	Sorunların Doğuracağı İhtiyaçlar	İhtiyaçların Doğuracağı Amaçlar
<b>Kontrolsüz kentsel yayılma</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yeni yerleşim alanları ihtiyacı</li> <li>Mevcut yanlış yerleşimin telafisi ihtiyacı</li> <li>Habitata zarar vermeyen yayılma politikası</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Akıllı planlama ve sıkı kurallar doğrultusunda yeniden yapılanma.</li> <li>Mevcut yapılaşma için yeşil kentsel dönüşüm.</li> </ul>
<b>Kaynak kıtlığı</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alternatif kaynak ihtiyacı</li> <li>Alternatif kaynak işleyici ihtiyacı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Doğal veya yapay kaynak üretimi gerçekleştirmek</li> <li>Geri dönüşüm sistemleri oluşturmak.</li> </ul>
<b>Kentsel lojistik ve Ulaşım</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ekstra araç ihtiyacı</li> <li>Ekstra hat ve yol ihtiyacı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yeni ve teknolojik ulaşım sistemleri oluşturmak</li> <li>Zaman ve mekandan tasarruf sağlamak.</li> </ul>
<b>Çevre kirliliği</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temiz doğa, gıda ve su ihtiyacı</li> <li>İnsanlar, hayvanlar ve bitkiler için yaşanabilir ortam ihtiyacı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sürdürülebilir - ekolojik kentsel planlama ve uygulama yapmak.</li> <li>Çevreye zararsız malzeme kullanmak ve en az atık oluşturmak.</li> </ul>
<b>Teknik altyapı</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hızlı, etkin ve çözüm odaklı bir altyapı ihtiyacı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IOT ve BIT tabanlı yeni ve teknolojik bir sistem oluşturmak.</li> </ul>
<b>Atık yönetimi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atıkların insan ve çevre sağlığına zarar vermeden dönüştürülmesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geri dönüşüm sistemleri ile hızlı - doğa dostu işlem görmek ve kaynak elde edebilmek.</li> </ul>
<b>Yaşlanan nüfus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Üretken iş gücü ihtiyacı</li> <li>Günlük işlerin daha az zahmet ile görülmesi ihtiyacı.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yapay zeka ve IOT sistemleri ile düşük insan gücü katılımlı üretim bantları kurmak.</li> <li>Yaşamı kolaylaştırıcı sistemler inşa etmek.</li> </ul>

Tablo 1, mevcut kentsel durum yorumlanarak oluşturulmuş ve açığa çıkan ihtiyaçlar ile amaçlar kentsel dönüşümün eşiği niteliğindedir. Akıllı kentlerin bu amaçları gerçekleştirebilme potansiyeli, projenin önemini doğru orantılı olarak arttırmaktadır. Modern kentlerin akıllı kentlere dönüşüm sürecinde bu amaçların hızlı bir biçimde gerçekleşmesi ve toplumsal faydanın gözetilmesi durumu “akıllı kentler geleceğimiz için önemlidir” savını destekler niteliktedir.

Akıllı kentlerin insanlık ve kent gelişimi için arz ettiği genel önem durumuna ek olarak, uygulama alanlarına göre kapsamlarında değişiklikler göstermesi ve amaçlarının farklılaşması durumu, her bir akıllı kent projesi için özelleşebilen artı değerler ve önemler yaratmaktadır. Örnek olarak İstanbul kenti ile Erzurum kenti arasında akıllı kentleşmenin önemi karşılaştırılırsa, Erzurum kenti tarım ve hayvancılık sistemindeki akıllı hamleler için ekstra önem arz ederken, İstanbul kenti için bu durum ulaşım, planlama ve atık yönetiminde geçerli olmaktadır. Sonuç olarak akıllı kent projeleri özel ve genel kapsamda gelecek için oldukça büyük bir önem arz etmektedir.

### 3. Akıllı Kent Uygulamaları ve Örnekleri (Smart City Applications and Examples)

Tüm dünya, önemi ve faydası bakımından karlı gördüğü akıllı kentleşme projelerini hızla üretmeye ve uygulamaya başlamıştır. Kendi içlerinde özelleşen tasarımlar ve stratejiler ile şekillenmeye başlayan akıllı kentler, genellikle ekoloji ve teknoloji temeline dayanmaktadır. Dünyadaki başlıca akıllı kent örnekleri; Singapur, Amsterdam, New York, Barselona, Sidney, Seul, Chicago, Londra, Paris, Las Vegas, Seattle, Berlin vb. şekilde sıralanabilmektedir (URL-2).

- Londra, günümüz akışında tüm odağını akıllı kentleşmeye vermiştir ve bu yolda çeşitli uygulamalar gerçekleştirerek dünyanın bir numarası olmayı hedeflemektedir. 2021-2024 dönemleri için altı temel öncelik hazırlanmıştır. Bu maddeler; Herkes için dijital erişim, Londra erişilebilir veri deposu, Gelişen teknoloji sözleşmesi, Yeşil teknolojinin ölçeklendirilmesi, Açık inovasyon ve Ortak dijital platformlar olarak sıralanabilir. Londra; IOT teknolojileri, akıllı ulaşım ve özellikle şehir yönetimine vatandaş katılımı konularında gelişme göstermektedir (URL-3).
- Singapur, sınırlı bir arazi alanında artan bir nüfusa sahiptir ve bu dezavantajı akıllı kentleşme politikalarıyla avantaja çevirmişlerdir. Sorunlarını dijital teknoloji ve akıllı planlama ile çözen Singapur, 2021 yılındaki IMD-SUTD Akıllı Şehir Endeksi'nde üç kez üst üste birinci sırada yer almıştır. Akıllı kentleşme kapsamında, Cohen (2012)'in kent çarkında bahsedilen tüm alanlarda çeşitli projelerle etkinlik göstermesinin yanında "Punggol Digital District" adında yeni bir akıllı kent tasarımını da geliştirmektedirler (URL-4).
- Amsterdam, akıllı kentleşme konusunda kendine "Fosilden sürdürülebilir enerjiye geçişi nasıl yaparız? Atıkları hammaddeye dönüştürebilir miyiz? Temiz ve elektrikli ulaşım nasıl geçeceğiz? Dijital dünyamızı nasıl şeffaf ve anlaşılır tutabiliriz?" sorularını sormakta ve bu doğrultuda gerekli adımları atmaktadır. Akıllı, yeşil ve sağlıklı bir çevre oluşturma amacı doğrultusunda "Açık İnovasyon Platformu" kurulmuş ve kamu-özel ortaklıkları ile güçlendirilmiş bir hareket planı oluşturulmuştur (URL-5).
- Berlin'in kentsel amacı; fonksiyonel ağ bağlantılı, fosil enerji sonrası döneme uyumlu ve dayanıklı bir şehir haline dönüşebilmektir. Sürdürülebilir, yaşanabilir ve geleceğe hazır bir metropol olmaya çalışmaktadır. Bu hedef doğrultusunda yönetim, yaşam, ekonomi, çevre, hareketlilik ve altyapı başlıklarını kendilerine eylem alanı olarak belirlemişlerdir. Bu alanlarda da uzman kişiler ile çalışarak çeşitli projeler üretmekte ve hayata geçirmektedirler (URL-6).

Yukarıda bahsedilen kentler ve akıllı uygulamaları göz önüne alındığında, çoğu gelişmenin yönetim, ulaşım, veri depolama ve enerji alanlarında yapıldığı söylenebilir. Mevcut kentlerin akıllı kentlere dönüşmesi sürecinde bu tarz sistem değişikliklerinin ve eklemelerinin kolaylıkla yapılıyor olması, sürecin teknolojik dönüşüm ile başlamasını doğal kılmaktadır. Dönüşümü başlatan mekanizmanın kent yönetimi olması ise akıllı kentleri sosyal bir olgu haline getirmekte ve vatandaş katılımı ile yönetişimi ön plana çıkarmaktadır. Sosyoloji, ekoloji ve teknoloji alanına fazlaca odaklanan ve temel esasları tatbik edilmeden hızla gelişen kavram, altyapısız bir teknoloji karmaşasına dönme tehlikesi altındadır. Özellikle deprem riski altında olan şehirlerin yerleşim yer seçiminin hatalı olması afet riskini artırmakta ve şehir karmaşa içerisine girmektedir. Bu şehrin akıllı bir davranış sergileyebilmesi zordur. Ayrıca kent üzerinde gerçekleştirilen bir eylemin mimari boyutlarının düşünülmemesi, proje entegrasyonunun yarım kalacağı anlamına gelmektedir. Tüm bu teknolojik uygulamaların kent düzleminde özümsemesi, sürdürülebilmesi ve sağlıklı bir şekilde varlığını devam ettirebilmesi için mimarinin ve yerleşim yerinin eş zamanlı dönüşümünün sağlanması gerekmektedir. Nam ve Pardo (2011)'nin belirttiği gibi bir kent tek başına teknoloji sayesinde tam anlamıyla akıllı olamamaktadır.

#### **4. Akıllı Kentleşme ve Tasarım İlişkileri (Smart Urbanization and Design Relations)**

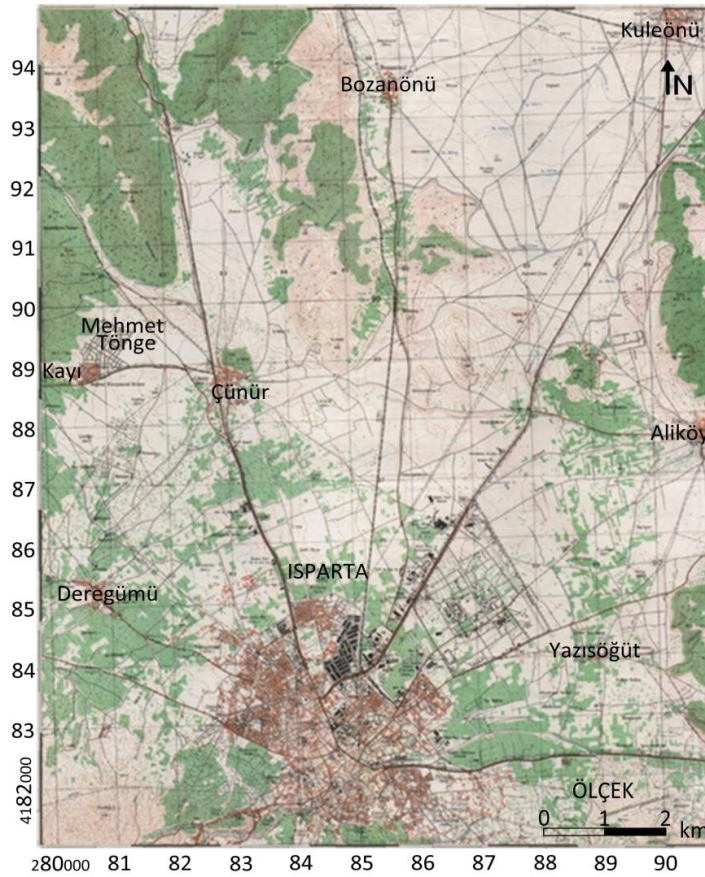
Akıllı şehirleşme sürecinin sağlıklı bir şekilde ilerleyebilmesi açısından mevcut durumun çözümlenmesi önemlidir. Yapılacak olan muayene sonucunda karakteristik bir kent reçetesi ortaya çıkmış olacaktır. Şehrin dinamik yapısı içerisinde halihazırda yer alan olguların birbirleriyle olan ilişkilerinin irdelenmesi, doğru projenin hazırlanabilmesindeki ilk adımdır. Her şehrin kendine özgü dokusu nedeniyle özelleşecek olan bu araştırmalar sonucunda izlenecek olan yol netlik kazanacaktır. Aşağıda topoğrafya, yer bilimi, malzeme ve alt yapı oluşumlarının kentsel tasarım ile olan ilişkisi incelenmiştir.

##### **4.1. Topoğrafya-Kentsel Tasarım İlişkisi (Topography-Urban Design Relationship)**

Topoğrafya, mevcut kara parçalarına ait doğal ve yapay şekillerin belirli bir biçimde kâğıt üzerine çizilmesidir. Tarih boyunca oluşan şehirlerin tümünde topoğrafya, gözle görülür derecede etkin olmuştur. Topoğrafya ile uyumsuzluk gösteren kentsel oluşumlar zaman içerisinde gelişimini ve sürdürülebilirliğini kaybetmiştir. Bu çatışmanın kaynağını, kentsel yapılaşmanın başlangıç noktası ve tasarımın niteliğindeki zıtlık oluşturmaktadır.



Yeryüzünün şekillenmesinde yani dağ, ova, plato, vadi vb. yeryüzü şekillerinin ve zeminlerin oluşmasında volkanik aktiviteler, tektonik hareketler ve iklimsel koşullar önemli bir rol oynamaktadır. Canlı bir organizma gibi şekil ve boyut değiştiren kentler ise bu coğrafik yapılar üzerinde konumlandığı noktalarda büyüme eğilimindedirler. Kentsel yapının topoğrafya özelinde tasarlanması kent işleyişi, büyümesi, sürdürülebilirliği, alt yapısı, ulaşımı ve verimliliği açısından oldukça önemlidir. Örneğin vadi içerisinde yer alan bir kentin gelişimi konaklama, ticaret, ulaşım vb. işlevleri ile mevcut ortama göre şekillenmiş durumdadır. Vadi kentleşmesinde konut yapılarında eğimli arazilere uygun bir form geliştirilirken, çizgisel bir büyüme söz konusudur ve vadi iklimine uygun yapı malzemeleri kullanılmaktadır. Arazi analizi yapılmaksızın geliştirilen kentsel tasarımlar ne yazık ki özelliksiz ve tek tip projeler olmaktan ileriye gitmemiştir. İdeal zannedilen prototip kentler zaman içerisinde arazinin azizliğine uğrayarak atık yönetimi, ulaşım, büyüme ve daha birçok alanda sorun yaşamaktadır. Kentlere ait başlıca sorunlardan en önemlilerinin meydana gelmeden önce çözülmesi için kentsel tasarımın topoğrafya ile birlikte ve doğa olaylarını dikkate alarak geliştirilmesi gerekir. Örnek olarak Isparta ve yakın civarını gösteren topoğrafik harita Şekil 2'de sunulmuştur. Bu haritaya göre Isparta etrafı dağlar ile çevrili bir ova yapısına sahiptir. Şehrin yerleşim yerinin eğimleri çoğunlukla %5 altındadır. Buna karşın Isparta merkez bölgede yüzeyde arkeolojik bir yapı görülmemektedir. Bunun nedeni Isparta'nın volkanik bir bölge olması ve dolayısıyla mevcut yapıların üstünün örtülmesi ile mümkün olduğu düşünülmektedir. Bu durum Isparta'nın merkezinden uzaklaşıp ilçelere doğru gidildiğinde arkeolojik eserler yüzeyde gözlenmektedir. Dolayısıyla Isparta merkezde tepelerden ovaya doğru toprak taşınımının fazla olduğu anlamı çıkarılabilir. Isparta merkez, merkezin güneyi ve batı kesimlerinde çoğunlukla volkanik birimler, kuzey ve doğu kesimlerinde ise çoğunlukla kireçtaşları gözlenmektedir.



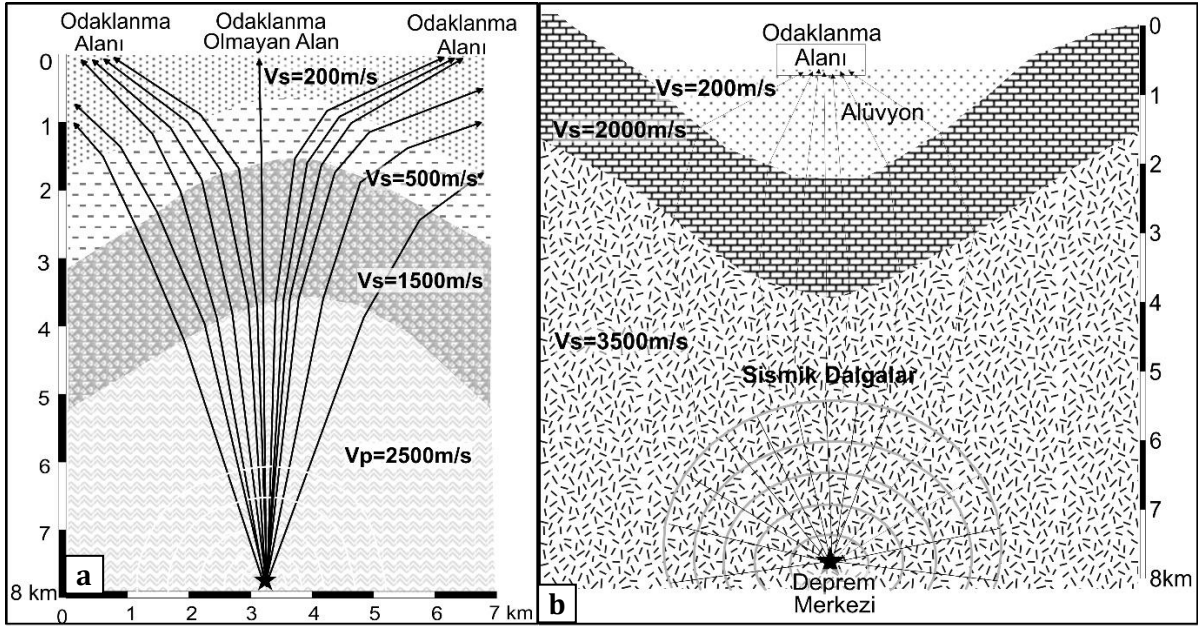
Şekil 2. Isparta merkez ve civarının topoğrafik haritası (Topographical map of Isparta center and its surroundings)

#### 4.2. Yerbilimsel Veriler-Kentsel Tasarım İlişkisi (Geoscientific Data-Urban Design Relationship)

Yerleşim yeri tercihlerini etkileyen birçok doğa olayı vardır. Bunlar; sel, heyelan, çığ, volkanik aktivite, deprem vb. gibi olaylar sıralanabilir. Sel olayının afete dönüşmesine örnek olarak 2021 yılında gerçekleşen Kastamonu-Bozkurt verilebilir. Karagüzel vd. (2021)'de Kastamonu-Bozkurt'ta meydana gelen sel olayının afete dönüşmesinin nedenleri ifade edilmiştir. Benzer şekilde eğimli alanlarda suya doygun gevşek dayanımlı zeminler eğim yönünde hareket ederek heyelanlar meydana gelebilir. Bu heyelanlar oluşmadan önce ya da oluştuktan sonra yerbilimsel yöntemler kullanılarak heyelan geometrisinin belirlenmesi birçok araştırma ile ortaya konulmuştur (Drahor vd., 2006; Akgün ve Bulut, 2007; Uyanık ve Türker, 2007; Uyanık ve Çatlıoğlu, 2014; Vanlı Senkaya vd., 2020; Ersoy vd., 2020). Ancak hem etkisi hem de büyüklük açısından büyük deprem olarak nitelendirilen 1939'da 7.9 büyüklüğünde Erzincan ve 1999'da 7.4 büyüklüğünde Kocaeli depremleri

gerçekleşmiştir. Son olarak 06.02.2023'de 7.7 ve 7.6 büyüklüğünde 9 saat ara ile Kahramanmaraş ve civarındaki 10 ili de etkileyen depremler gerçekleşmiştir ve bu doğa olayı diğer birçok doğa olayından çok daha etkili sonuçları olduğunu acı bir biçimde ülke insanı olarak tecrübe etmiş bulunmaktayız. Dolayısıyla kentleri bütünüyle etkileyebilen doğa olayı olan depremi dikkate alarak bu çalışmada Isparta örneği üzerinde yerbilimsel veriler ile kentsel tasarım ilişkisi için gerekli önerilerde bulunulmuştur.

Kentler, içerisinde insanları, geleceği, taşınabilir ve taşınamaz çeşitli değerleri barındırmaktadır. Bu varlıkların her birinin güvenliği farklı yollar ve maliyetler ile farklı tehditlere karşı hali hazırda sağlanmaktadır. Fakat tüm bu değerleri kapsayan kentin güvenliği her zaman başlı başına bir konu olmuştur. Dünya gezegeni, yapısı ve oluşumu itibarıyla sürekli bir hareket içerisinde. İçsel ve dışsal olarak süregelen bu hareket çekirdekten magmaya, oradan levhalara ve sonrasında yüzeye etki etmektedir. Gezegenimiz için oldukça doğal olan depremler, kentler ve yapılar için zaman zaman afet halini alabilmektedir. Depremlerin sonuçlarının afet olarak anılmasına neden olan asıl etkenlerin yanlış kentsel ve yapısal tasarımların olduğu net olarak bilinmektedir. Örnek olarak bir kent içerisinde depremden etkilenebilecek bir bölge üzerinde veya civarında yapılacak olan mimari tasarımlarda dayanımın ve güvenliğin ön planda olması gerekmektedir. Bölgenin yeraltı yapısı incelenerek makro bölgeleme açısından deprem dalgalarının odaklanacağı ya da büyüyeceği alanlara yerleşmekten kaçınmak gereklidir (Uyanık, 2015). Örneğin Şekil 3'te deprem dalgalarının, derindeki antiklinal ya da senklinal türü yeraltı yapılarından geçerken deprem dalgalarının hızları ve yönelimi değişmektedir. Dolayısıyla, yeraltı yapısı deprem dalgalarını yönlendirerek odaklayabilir ya da dağıtabilir. Odaklama bölgeleri ağır hasarlı alanları oluşturmaktadır. Bu duruma en son örnek, Sisam adası depreminin İzmir-Bayraklı bölgesindeki derin yeraltı yapısından (Senklinal) kaynaklı oluşan hasar verilebilir (Uyanık, 2020a; Uyanık ve Uyanık, 2022).



**Şekil 3.** Odaklama ve saçılma etkilerini gösterir derin yeraltı modelleri a) Antiklinal ve b) Senklinal (Uyanık (2015)' den düzenlenmiştir) (Deep Underground models showing focusing and scattering effects a) Anticlinal and b) Syncline (edited from Uyanık (2015)))

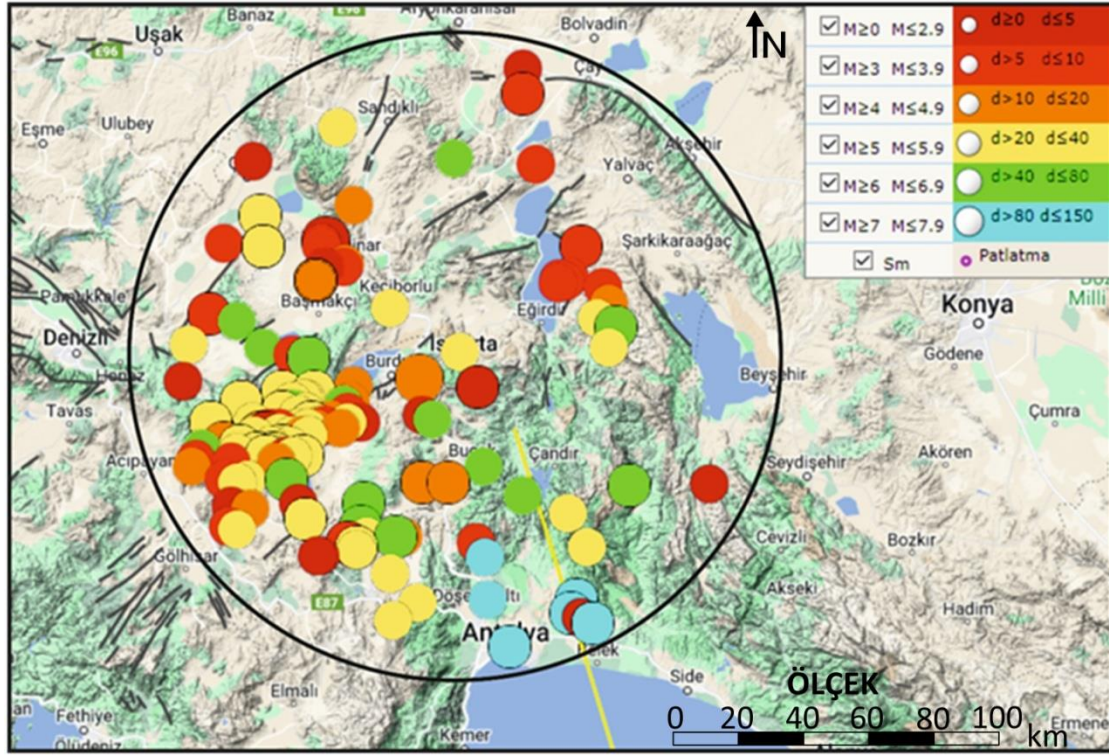
Ayrıca gevşek ve suya doymun kalın sedimanlar, deprem dalgalarının genliğini büyütür ve salınımın şiddetini artırırlar. Zemin büyütmesi olarak tanımlanan bu durumdan kaçınabilmek için zemin parametreleri önceden bilinmeli ve buna göre yapı tasarımlarında bu bilgiler dikkate alınmalıdır. Bunun yanında zeminlerin sıklığı ya da gevşekliğini belirlemek için deprem dalgalarının özellikle ikincil dalga olan makaslama dalga hızının belirlenmesi ve yerleşime uygun alanların seçilmesinde önemli bir kriter olarak kullanılması gereklidir.

Değiştirilemez ve durdurulamaz olan depremlerin yanı sıra yerleşim yerlerinin yeraltı özellikleri (Uyanık vd., 2013c; Uyanık, 2015 2020; Uyanık ve Taktak, 2009; Akgün vd., 2013; Akın ve Sayıl, 2016; Tün vd., 2016; Karabulut, 2018; Pamuk vd., 2018; Yüksel vd., 2020; Karataş ve Kaya, 2022) bilinmeksizin yanlış kentsel tasarımlar sonucunda kentler tehlikeli bir alana dönüşebilmektedir. Kentsel tasarım ile birebir ilgili olan yer bilimi, üzerinde sürdürülecek olan hayatı her alanda etkilemektedir. Zeminlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri kentsel tasarımın formunu belirleyici bir parametredir (Arkoç ve Özşahin, 2015). Örnek olarak zemin dayanımı yapıların yüksekliklerini, yapım tekniklerini ve malzemelerini etkilerken, toprak çeşidi ise tarım ve hayvancılık alanlarını, ulaşım yollarını ve buna bağlı olarak kentin bölgelerini belirlemektedir. Arazi analizi yapılmadan

başlanacak olan kentsel tasarımda verimli tarım toprakları üzerine konut alanı inşa edilmesi olasıdır. Bu durumda yaşanacak performans kaybı, bölgesel dağılım eşitsizliği ve geri dönülmez alt yapı sorunları kaçınılmaz olacaktır. Tüm bu kriterler ışığında, kentsel tasarımın gerçekleşeceği alanlarda yer bilimsel verilerin göz önünde bulundurulmasının gerekliliği kaçınılmazdır. Kentsel tasarımın ilk aşamasında göz önünde bulundurulması gereken yer bilimi ve tektonik olgular, kentin güvenliğine ve ömrüne direkt olarak temas etmektedir. Örnek oluşturması açısından Isparta'nın deprem tehlikesinin araştırılması için Kandilli Rasathanesinin deprem kataloğu kullanılarak 100 km yarıçaplı 1.1.1900 ile 20.09.2022 tarihleri arasında meydana gelmiş olan 4.5 ve daha büyük magnitudlü depremlerin merkez üssü dağılımları Şekil 4'te sayıları ise Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** İnceleme alanını merkez alan 100 km yarıçaplı daire içerisinde meydana gelen deprem sayıları (Number of earthquakes occurring in a circle with a radius of 100 km centered on the study area)

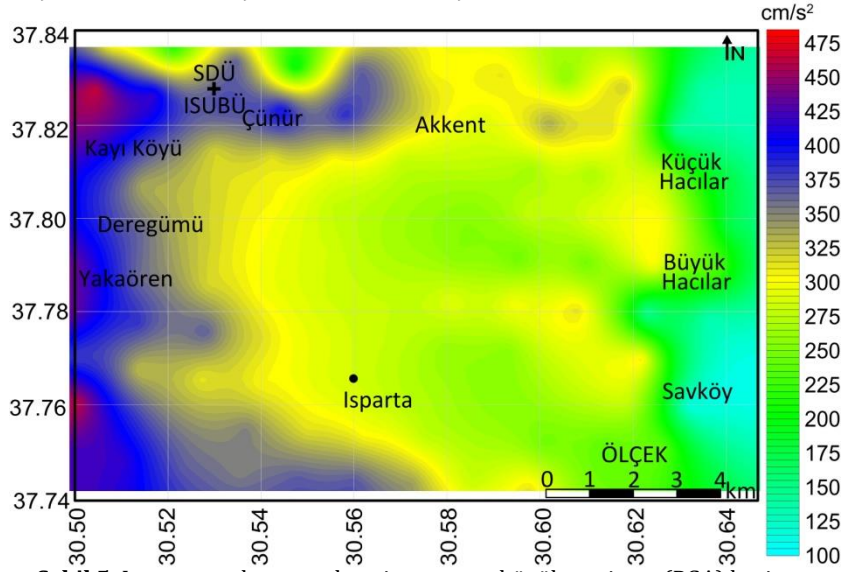
Deprem Büyüklüğü	Oluş adedi
4.5-4.9	115
5.0-5.4	31
5.5-5.9	10
6.0-6.4	1
6.4-6.9	1



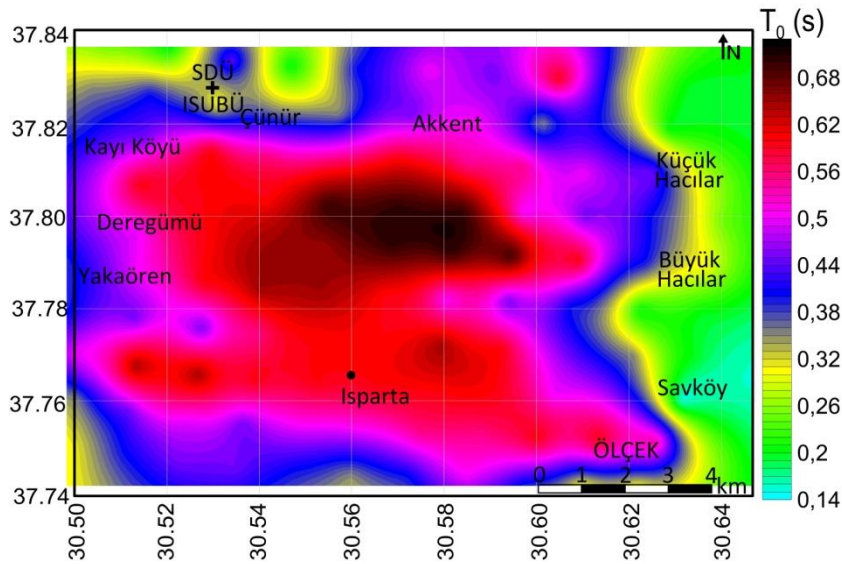
**Şekil 4.** İnceleme alanını merkez alan 100 km yarıçaplı daire içerisinde 1.1.1900 ile 20.09.2022 tarihleri arasında meydana gelmiş olan  $M \geq 4.5$  depremlerin dağılımı (BÜ Kandilli Rasathanesi Deprem Kataloğundan düzenlenmiştir). (Distribution of  $M \geq 4.5$  earthquakes that occurred between 1.1.1900 and 20.09.2022 in a 100 km radius circle centered on the study area (edited from BU Kandilli Observatory Earthquake Catalogue)

Şekil 4'teki deprem aktivitesi irdelendiğinde Isparta'yı önemli derecede etkileyen en büyük deprem, 1914 yılında meydana gelen 6.9 büyüklüğündeki depremdir. Ayrıca Isparta ve civarında gerçekleşmiş depremlerin derinlikleri 10-20 km arasında değişmektedir. Deprem derinliğinin yüzeye yakın olması dar bir alanda yoğun hasarların oluşmasına da neden olabilmektedir. Ayrıca Isparta ovasının derin yeraltı yapısı bilinmemektedir. Bu durum deprem dalgalarını nasıl yönlendireceğini yorumlamayı zorlaştırmaktadır. Ancak deprem dalgalarının Isparta ovasında büyümesi ve ivme değerinin Türkiye Deprem Tehlike Haritasında (URL-7) verilen değerlerden oldukça yüksek ve oldukça düşük alanların olduğu yapılan hesaplamalardan anlaşılmaktadır. Bu çalışmada Uyanık (2015)'in Isparta merkezde yaptığı sismik kırılma çalışmalarından ve Uyanık vd. (2021) çalışmasındaki ivme azalım ilişkisinden yararlanarak en büyük ivme değerleri (PGA) Burdur Kırık Hattında 7.0 büyüklüğünde bir deprem varsayımına göre belirlenmiş ve harita olarak Şekil 5'te sunulmuştur. Bu harita irdelendiğinde en büyük ivme değerlerinin 100-500cm/sn<sup>2</sup> arasında değiştiği görülmektedir. Özellikle haritanın doğu kesimlerinde kaya ortamların olması düşük ivme değerlerinin elde edilmesine neden olmuştur. Buna karşın en yüksek değerler haritanın batı kesimlerinde elde edilmiştir. Bunun nedeni Burdur Kırık Hattına yakın olması ve ovadaki

sismik hızların düşük olmasından kaynaklıdır. Doğuya doğru hem Burdur Kırık Hattından uzaklaşmakta hem de Küçük Hacılar ve Savköy taraflarındaki kaya ortamlardan dolayı PGA değerlerinde azalma görülmektedir. Benzer şekilde Uyanık (2015)'te yapılan sismik kırılma çalışmalarından yararlanılarak zeminin hakim titreşim periyotları hesaplanmış ve harita olarak Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 5. Isparta merkez ve yakın civarının en büyük yer ivme (PGA) haritası  
(The Peak ground acceleration (PGA) map of Isparta center and its vicinity)



Şekil 6. Isparta merkez ve yakın civarının zemin hakim titreşim periyodu haritası  
(Ground dominant vibration period map of Isparta center and its vicinity)

Bu harita irdelendiğinde 0.1-0.7sn arasında hakim titreşim periyotları olduğu görülmektedir. Özellikle Isparta ovası ortalarına doğru zeminin hakim titreşim periyotları 0.7sn civarındadır. Bu değerler Isparta ovasındaki yüksek katlı yapıların aşırı deprem yüküne maruz kalacağını ifade etmektedir. Bu nedenle bu bölgede ya daha az katlı yapıların yapılması ya da bu bölgenin hiç yapılaşmaya açılmaması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Tüm jeofizik parametreler irdelendiğinde şehirlerin yerlerinin seçiminde yeraltına ait fiziksel parametrelerin ne kadar önemli bir yeri olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla yerleşim yeri hatalı olan bir şehir deprem gibi bir doğa olayı karşısında hasar alacaktır. Bu da hasarlı bir şehir daha işin başından akıllı davranmadığını gösterecektir. Bu nedenle öncelikle yerleşim yerlerinin doğru seçilmesi ve bu seçimin de Jeofizik parametrelerin önderliğinde yapılması önemlidir.

#### 4.3. Yer Bilimi-Akıllı Alt Yapı İlişkisi (Earth Science-Smart Infrastructure Relationship)

Akıllı kentleşmenin ayrılmaz bir parçası olan akıllı alt yapı oluşumunun yer bilimi ile olan ilişkisi ele alındığında, yeni sistem gereksinimlerinin kurulması gerektiği açıkça görülebilmektedir. Klasik altyapı anlayışında fiziksel altyapı katmanı ve üzerinde hizmet katmanı bulunmaktadır. Akıllı altyapıda ise bu iki katman arasında her iki

tarafı da destekleyen ve temsil eden dijital bir katman daha yer almaktadır (CSB, 2020). Günümüzde kullanılan akıllı altyapı teknolojilerinden bazıları coğrafi bilgi sistemleri, bina bilgi modellemesi, yapay zeka ve makine öğrenmesi olarak sıralanabilir (CSB, 2020). Oldukça etkin olarak gerçekleştirilen bu veri toplama işi sonucunda çok büyük bir bilgi hazinesi oluşturulmaktadır. Bu bilgilerin kent ve insanlık adına en verimli şekilde işlenmesi ve yeni sistemlerin geliştirilmesi akıllı kentleşmenin en önemli tamamlayıcı unsurlarındandır. Yer bilimi açısından ise kentin bulunduğu bölgenin tüm özellikleri, riskleri, faydaları, tehditleri ve fırsatları da aynı şekilde çözülmeli ve bu veriler kullanılarak gerekli sistemler geliştirilmelidir. Örnek olarak sel riski altında kurulmuş olan bir kentsel yerleşim için gerekli olan koruma ve erken uyarı sistemleri kurulmalı, olası bir tehlike gerçekleşmeden engellenmesi veya gerçekleştiği takdirde en hızlı ve etkili çözümü kendisi üretebilmelidir. Ayrıca deprem ( $M \geq 5.5$  ve üzeri) gibi bir doğa olayı meydana geldiğinde depremi kaydeden cihazlara bağlı erken uyarı sistemleri ile kentlerin ana elektrik ve doğal gaz gibi hatlar otomatik kesilmesi sağlanmalıdır. Bu sayede akıllı altyapı ve yer bilimi arasındaki ilişki kuvvetlenmiş ve en faydalı halini almış olacaktır. Altyapı katmanlarının tasviri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Klasik ve akıllı altyapı katmanları (CBS, 2020). (Classic and smart infrastructure layers (CBS, 2020))

#### 4.4. Yapı Malzemesi-Kentsel Tasarım İlişkisi (Building Material-Urban Design Relationship)

Yapı malzemeleri yer bilimi, kentlerin konumları, işlevleri, ekonomileri ve içinde yaşayanların sağlığı ile doğrudan ilişki içerisindedir. Yapı malzemeleri açısından yer bilimi özellikle insan sağlığı konusunda faydalıdır. Özellikle volkanik bölgelerde kullanılan yapı malzemeleri doğal radyoaktivite açısından insan sağlığı için riskli olabilir (Uyanık vd., 2010; Uyanık vd., 2013b; Uyanık, 2022). Ayrıca yapıda kullanılacak malzemenin sağlamlığı ve fiziksel özellikleri jeofizik yöntemler ile belirlenebilir (Sabbağ ve Uyanık, 2017 2018; Uyanık vd., 2019; Ekin ve Uyanık, 2021a 2021b). Yapı malzemeleri aynı zamanda süregelen bir tekniği ve karakteri yansıtmaktadır. Kent kimliği, insan sağlığı, yapı ömrü ve kaynak kullanımı gibi alanların etkinliğini belirlemektedir. Günümüzde dünyanın tükenen kaynakları özellikle yapı ve malzeme sektörünü alternatif arayışına sevk etmektedir. Son dönemlerde doğal ve ekolojik yapı malzemelerine olan ilgi ve araştırmalar da buna bağlı olarak artış göstermiştir fakat hala daha yapı sektörü beton, demir ve çelik ağırlıklı projelerin tekelindedir. Akıllı, ekolojik ve biyolojik malzemeler tarafından değişmeye başlayan bu düzen, beraberinde performans, sürdürülebilirlik ve fayda bileşenlerini de getirmektedir. Değişen malzeme repertuarı da kent dokusuna etki etmektedir. Özellikle akıllı malzemelerin yaygınlaşması ve insanların günlük yaşamına müdahale eder hale gelmesi kent içerisinde büyük bir önem arz etmektedir. Malzeme konusu tüm tasarım süreci boyunca düşünülmesi gereken bir olgudur ve tasarımın tamamlanıp işleyişin başladığı noktada dahi dönüşümünü sürdürmektedir. Konunun bu esnek yapısı ekstra bir ilgi ve alakaya ihtiyaç duymaktadır.

#### 4.5. Tasarım Süreci (Design Process)

Kentsel tasarımın en ideal şekilde oluşturulabilmesi için tüm analizlerin detaylıca yapılmış ve tüm ilişkilerin açıklanmış olması gerekmektedir. Bu sayede kenti ve plancıyı bir sonraki aşamada nelerin beklediği, hangi sorunların ortaya çıkacağı ve nasıl çözüleceği bütüncül bir şekilde ortaya konmuş olacaktır. Yapılacak olan tüm jeofizik-jeolojik, deprem-tektonik, topoğrafik, sosyokültürel ve mimari analizlerin zemin hazırlayacağı veri bütünü, kent rehberi adı altında yapım sürecine eşlik etmelidir (Arisu, 2018). Kentin var oluş amacının tam anlamıyla belirlenmiş olması, süreci takip eden adımları da oldukça kolaylaştıracaktır. Amacı belirlenen, analizleri tamamlanan ve uzman bir ekip ile işe başlanan kentsel tasarım projelerinde başarı kaçınılmaz olmaktadır.

## 5. Akıllı Kent Tasarımında Standardize Mimari Planlama Önerileri (Standardized Architectural Planning Suggestions in Smart City Design)

Elde edilen bulgular ışığında, akıllı kentlerin birbirlerinden farklılık göstermelerine rağmen tasarım ve uygulama aşamalarında değiştirilemez bazı karakteristik esaslara ihtiyaç duyulduğu sonucuna varılmıştır. Bu esaslar kentin kuruluş, takip ve değerlendirilme süreçlerinde de oldukça büyük önem arz edecek duruma gelecektir. Tasarıma konu olan olgunun, ona özel olarak oluşturulan esasları ile birlikte gelişmesi, sonuç ürünün sağlıklı ve uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır. Akıllı kent tasarımlarında standardize hale gelebileceğini düşündüğümüz yer bilimsel ve mimari esas önerileri aşağıda sunulmuştur.

### 5.1. Akıllı Kentler İçin Mimari Planlama ve Uygulama Önerileri Listesi (List of Architectural Planning and Implementation Recommendations for Smart Cities)

1. Alanlarında uzman kişilerden oluşan özel bir ekip (Jeofizik Müh., Jeoloji Müh., İnşaat Müh., Mimar, Şehir-Bölge Plancısı vb.) kurulmalıdır.
2. Akıllı kente fonksiyon ataması yapılmalıdır. Kentin hangi amaca yönelik işleyeceği belirlenmelidir. (Örn. Akıllı eğitim alanı, akıllı tarım alanı, akıllı yerleşim alanı, vb.)
3. Belirlenen fonksiyonun ihtiyaçları doğrultusunda bölge seçimi yapılmalıdır. Seçilmesi düşünülen bölge yerel malzeme ve kaynak, zemin, lojistik, ulaşım, coğrafya, iklim, doğa hayatı, ekonomi yönlerinden değerlendirilmeli ve ideali aranmalıdır. Bu sayede ileride oluşabilecek sorunların önüne büyük ölçüde geçilebilecektir.
4. Şehir plancıları seçilen arazinin özelliklerini kullanarak çeşitli avantajlar elde etmelidir ve öncelikli olarak yenilenebilir enerji kaynağı oluşturmaya çalışmalıdır. Mevcut eğitim, rüzgar, su kaynağı vb. unsurlar kullanılmalıdır.
5. Altyapı kurulumunda tüm sistem geri dönüşüm ilkesine bağlı kalmalıdır. Bu sayede kaynak verimliliği artacak, yeni kaynak elde etme fırsatları oluşacak ve üstyapılarda kullanılacak tamamlayıcı geri dönüşüm sistemleri ile bütünlük sağlanacaktır.
6. IOT sistemlerinin araziye uygulanması ile çeşitli doğal afetlerin erken uyarısı kente iletilebilmelidir. Bu sistemler hem insanların hem de kentin sağlığı için oldukça önemlidir.
7. Üstyapı kurulumunda tasarımcılar sürdürülebilir mimari ilkelere bağlı kalmalıdır. Bu sayede enerji verimliliği ilk olarak fiziksel biçim ile sonra ise takviye sistemler yardımıyla sağlanacaktır.
8. Üst yapılaşma esnasında kentin kültürü, gelenekleri ve oluşması istenen silüeti de dikkate alınmalıdır. Bu hamle ileride tüm kentleri tek tip olma durumundan koruyacaktır.
9. İnşa edilmesi planlanan yapılarda kullanılacak malzemelerin;

- (a) Kent fonksiyonuna uygunluğuna,
- (b) Sürdürülebilirlik özelliklerine,
- (c) Yerel ve sağlık açısından uygun bir malzeme olup olmadığına,
- (d) Teknoloji ile adaptasyon durumuna,
- (e) Teknik özelliklerine,
- (f) Uygulama esaslarına,

dikkat edilmelidir. Doğru malzeme seçimi, yapıların tüm kimliğini belirleyici bir görev görmektedir.

10. Akıllı yapılaşmanın sorunsuz gerçekleşebilmesi ve sorun olduğu esnada doğru noktaya doğru şekilde müdahale edilebilmesi için projede yer alacak inşaat çalışanlarının öncesinde gerekli eğitimleri almış olması gerekmektedir. Böylece yapım esnası ve yapım sonrası takip ile onarımda da dışarıdan desteğe gerek kalmadan tüm sorunlar çözülebilecektir.

11. Belirlenen esaslara uygun olarak elde edilen tüm alt ve üst yapılar; IOT teknolojisi yardımıyla insan, doğa, kaynak, kent, yönetim ve ulaşım ile birbirine bağlanabilmelidir. Bu bağlantı sağlandıktan sonra elde edilen kent akıllı olarak anılabilecektir. Bahsedilen bağlantı şeması aşağıdaki şekilde şematize edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Akıllı kentlerin bağlantı bileşenleri (Connecting components of smart cities)

## 6. Sonuçlar (Results)

Yeni ve gelişmekte olan akıllı kent kavramı, günümüz sorunlarına bir çözüm niteliğinde geliştirilmiş fakat henüz daha net bir tanıma sahip olamamıştır. Çeşitli disiplinlere konu olmasından dolayı birçok tarafa çekilmekte ve tek bir noktada toplanamamaktadır. Temel esasları ve sınırları oluşturulmadan teknolojik uygulamalar ile işlenmeye başlanması da anlamsal bir karmaşa ve ilerleyen safhalarda kavramsal bir parçalanmaya neden olmaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı, her ne kadar esnek bir kavram olsa da etki alanının belirleneceği, amaç ve kapsamının tanımlanacağı, uygulama ve takip prosedürünün işlenebileceği bir ortam oluşturmak adına temel uygulama esaslarının belirlenmesi gerekmektedir.

Yerbilimsel veriler olarak yeraltına ait makro ve mikro ölçekte hem yapısal durumun belirlenmesinde hem de fiziksel parametrelerin önceden ortaya konulmasında Jeofizik Mühendisliği yöntemlerinin önemi belirtilmiştir. Çalışma alanına ait hakim titreşim periyodu 0.14-0.7sn ve Burdur fayı üzerinde  $M_w=7$  büyüklüğünde bir deprem olması durumunda PGA değerleri 0.1-0.5g arasında değiştiği haritalar ile sunulmuştur. Ayrıca 1900 yılından günümüze Isparta ve civarında 5.5-7 büyüklükleri arasında 12 adet deprem gerçekleşmiş ve bölgenin aktif olduğu anlaşılmaktadır.

Akıllı kentlerin yer bilimsel ve mimari planlamaları olmadan gelişmesi mümkün değildir. Akıllı kentlerin oluşumunda akıllı planlama ile yola çıkılması ve zeminden itibaren kuruluşa veya dönüşüme başlanması, ileride telafi edilemeyecek sorunların önüne geçecektir. Çeşitli teknolojiler, malzemeler ve sistemler ile taşınmaz bir değer haline gelecek olan akıllı kentlerin korunabilmesi için mimari, inşai ve yer bilimleri açısından esaslarının belirlenmesi, takip edilmesi ve hatta süreç içerisinde iyileştirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, akıllı kentlerin önemi, mantıksal bir çerçevede açıklanmaya çalışılmış, amaçları kentsel sorunlar nezdinde incelenmiş ve doğrulanmış ayrıca standardize planlama esaslarına ilişkin önerilerde bulunulmuştur. Akıllı kentlerin sağlıklı, uzun ömürlü ve etkili bir biçimde gelişebilmesi için çeşitli esasların oluşturulmasının gereği ortaya konulmuştur.

## Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar; bu çalışma ile ilgili değerli görüş ve önerileri ile katkı koyan Osman Uyanık'a ve eleştirileri ile makalenin gelişmesini sağlayan hakemlere ve editöre teşekkür ederler.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

## Kaynaklar (References)

- Abojassim, A.A., Rasheed L.H., 2021. Natural radioactivity of soil in the Baghdad governorate. *Environmental Earth Sciences*, 80, 10.
- Akgün, A., Bulut, F., 2007. GIS-Based Landslide Susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) Region. *Environmental Geology*, 51, 1377-1387.
- Akgün, M., Gönenc, T., Pamukçu, O., Özyalın, Ş., Özdağ, Ö.C., 2013. Mühendislik Ana Kayasının Belirlenmesine Yönelik Jeofizik Yöntemlerin Bütünleşik Yorumu: İzmir Yeni Kent Merkezi Uygulamalar, *Jeofizik Dergisi*, 26(2), 67-80.
- Altundaş, S., 2022. Investigation of natural radionuclide variations and the possible uranium migration by testing with gamma-ray spectrometer: An example from Tuğlu Tepe and Deliler Sites in Şefaatli/Yozgat, Central Anatolia Region, Turkey. *Journal of Applied Geophysics*, 207, 104866.
- Arısu, S., 2018. Kentsel tasarım kavramında kentsel tasarım rehberlerinin yeri ve önemi. *Kent Akademisi*, 11(2), 243-255.
- Arkoç, O., Özşahin, B., 2015. Kentsel Planlamada Jeolojinin Etkisi, Kırklareli Örneği. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 30-40.
- Ateş, M., Önder, D.E., 2019. Akıllı Şehir Kavramı ve Dönüşen Anlamı Bağlamında Eleştiriler. *Megaron*, 14(1), 41-50.
- Ateş, E., Uyanık, O., 2019. Jeofizik Yöntemler ile Yer ve Yapı Etkileşimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 46-60.
- Aziz, A., Attia T., Hanafi, M., 2020. Radiological Impact and Environmental Monitoring of Gamma Radiations Along the Public Beach of Port Said, Egypt. *Pure and Applied Geophysics*, 177, 2871-2876.
- Barutçu, B., 2021. Akıllı Şehirler Üzerine Sistemik Bir Literatür Taraması ve Akıllı Şehirlerde Endüstri Mühendisliği Uygulama Alanları. *Başkent Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi*, s.57, Ankara.
- Caprotti, F., Cowley, R., 2019. Varieties of smart urbanism in the UK: Discursive logics, the state and local urban context. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 44(3), 587-601.

- Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J.R., Mellouli, S., Nahon, K., Pardo, T.A., Scholl, H.J., 2012. Understanding smart cities: An integrative framework. In 2012 45th Hawaii international conference on system sciences, s. 2289-2297. IEEE.
- Cohen, B., 2012. What exactly is a smart city. Co. Exist, 19. <https://www.fastcompany.com/1680538/what-exactly-is-a-smart-city>
- CSB, 2020. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (CSB). AKILLI ALTYAPI-Akıllı Şehirler Kapasite Geliştirme ve Rehberlik Projesi s.127.
- Çetin, M., Çiftçi, Ç., 2019. Literatüre göre dünya ve örneklerle akıllı kent kavramının irdelenmesi. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 2(3), 134-143.
- Diril, G., 2021. Sürdürülebilir Akıllı Şehirlerin Geleceği ve Dijitalleşmenin İnşaat Sektörüne Etkileri. Bahçeşehir Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, s. 186, İstanbul.
- Drahor, M.G., Göktürkler, G., Berge, M.A., Kurtulmuş, T.Ö., 2006. Application of electrical resistivity tomography technique for investigation of landslides: a case from Turkey. Environmental Geology, 50, 147-155.
- Ekin, N., Uyanık, O., 2021a. Comparison of Static and Dynamic Elastic Moduli in Concrete: Effects of Compressive Strength, Curing Conditions and Reinforcement. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 45(4), 2327-2343.
- Ekin, N., Uyanık, O., 2021b. Anisotropy of Reinforced Concrete from Geophysical Methods. Science of Sintering, 53(3), 1-23.
- Ersoy, H., Kaya, A., Angın, Z., Dağ, S., 2020. 2D and 3D Numerical Simulations of A Reinforced Landslide: A Case Study in NE Turkey. Journal of Earth System Science, 129, 82.
- Karabulut, S., 2018. Soil classification for seismic site effect using MASW and ReMi methods: a case study from western Anatolia (Dikili-İzmir). Journal of Applied Geophysics, 150, 254-266
- Karagüzel, R., Türkkkan Karaoğlu, G., Yılmaz, K.K., Çatlıoğlu, B., Çan, T., Akay, S.S., 2021. Kastamonu-Bozkurt 11 Ağustos 2021 taşkını ve düşündürdükleri. Yer Mühendisliği, 14-25.
- Karataş, N., Kaya, M.A., 2022. Deprem Riskinin Kentsel Planlama Sürecine Etkisi: İpsala, Keşan ve Enez İlçeleri (Edirne) Örneği. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi. 10(2), 654-679.
- Karataş, Z., 2015. Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri. Manevi temelli sosyal hizmet araştırmaları dergisi, 1(1), 62-80.
- Kemeç, A., Gül, H., 2021. Antalya Büyükşehir Belediyesi Örneğinde Akıllı Kent Uygulamaları. Kamu Yönetimi ve Politikaları Dergisi, 2(3), 355-382.
- Lacinák, M., Ristvej, J., 2017. Smart city, safety and security. Procedia engineering, 192, 522-527.
- Nam, T., Pardo, T.A., 2011. Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology, People, and Institutions. Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times, College Park, 12-15 June 2011, 282-291.
- Pamuk, E., Gönenç, T., Özdağ, Ö.C., Akgün, M., 2018. 3D Bedrock Structure of Bornova Plain and Its Surroundings (Izmir/Western Turkey). Pure and Applied Geophysics, 175(1), 325-340.
- Pamukçu, O., Gönenç, T., Uyanık, O., Sözbilir, H., Çakmak, O., 2014. A microgravity model for the city of Izmir (western Anatolia) and its tectonic implementations. Acta Geophysica, 62(4), 849-871.
- Rossi, U., 2017. Cities in global capitalism. John Wiley & Sons. Cambridge, Polity Press.
- Sabbağ, N., Uyanık, O., 2018. Determination of the reinforced concrete strength by apparent resistivity depending on the curing conditions. Journal of Applied Geophysics, 155, 13-25.
- Sabbağ, N., Uyanık, O., 2017. Prediction of reinforced concrete strength by ultrasonic velocities. Journal of Applied Geophysics, 141, 13-23.
- Taskin, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoglu, A., Hindiroglu, S., Karahan, G., 2009. Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to the gamma radioactivity in Kırklareli Turkey. Journal of Environmental Radioactivity, 100(1), 49-53.
- Tün, M., Pekkan, E., Özel, O., Güney, Y., 2016. An Investigation into the Bedrock Depth in the Eskisehir Quaternary Basin (Turkey) Using the Microtremor Method. Geophysical Journal International, 207, 589-607.
- Ulusoy, M., 2017. Akıllı Şehirler. İstanbul Bilgi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, s. 162, İstanbul.
- Uyanık, N.A., 2022. Determination of the Radiological Risk and the Cancer Effect Caused by Geological Units and Samples from Afyon, Turkey. Pure and Applied Geophysics, 179, 1295-1308.
- Uyanık, N.A., Akkurt, İ., Uyanık, O., 2010. A ground radiometric study of uranium thorium and potassium in Isparta Turkey. Annals of Geophysics, 53(5), 25-30.
- Uyanık, N.A., Öncü, Z., Uyanık, O., Akkurt, İ., 2015a. Determination of Natural Radioactivity from <sup>232</sup>Th with Gamma Ray Spectrometer in Dereköy Yazır Southwestern Anatolia. Acta Physica Polonica A, 128(No 2-B), B441-442.
- Uyanık, N.A., Öncü, Z., Uyanık, O., Bozcu, M., 2022. Determination of alteration zones and geological unit limits using natural radioactivity properties of Sandıklı-Suhut areas. Journal of Applied Geophysics, 196, 104525.
- Uyanık, N.A., Öncü, Z., Uyanık, O., Bozcu, M., Akkurt, İ., Günoglu, K., Yagmurlu, F., 2015b. Distribution of Natural Radioactivity from 40K Radioelement in Volcanics of Sandıklı-Suhut (Afyon) Area. Acta Physica Polonica A, 128(No 2-B), B438-440.
- Uyanık, N.A., Uyanık, O., Akkurt, İ., 2013a. Micro-Zoning of the Natural Radioactivity Levels and Seismic Velocities of Potential Residential Areas in Volcanic Fields: The Case of Isparta (Turkey). Journal of Applied Geophysics, 98, 191-204.
- Uyanık, N.A., Uyanık, O., Gür, F., Aydın, İ., 2013b. Natural radioactivity of bricks and brick material in the Salihli-Turgutlu area of Turkey. Environmental Earth Sciences, 68(2), 499-506.
- Uyanık, O., 2015. Deprem Ağır Hasar Alanlarının Önceden Belirlenmesi ve Şehir Planlaması İçin Makro ve Mikro Bölgeleştirmelerin Önemi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(2), 24-38.
- Uyanık, O., 2020. Soil liquefaction analysis based on soil and earthquake parameters. Journal of Applied Geophysics, 176, 104004.
- Uyanık, O., 2020a. Yer özelliklerinin jeofizik yöntemlerle belirlenmesi, *İzmir Depremi Ortak Akıl Buluşması Çalıştayı*: İzmirin yapılaşmasında zemin koşulları-zemin yapı etkileşimi, İzmir Büyükşehir Belediyesi.
- Uyanık, O., Çatlıoğlu, B., 2014. Elektrik Özdirenç ve Sismik Kırılma Yöntemlerinden Heyelan Geometrisinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18 (3), 22-29



- Uyanık, O., Ekinci, B., Uyanık, N.A., 2013c. Liquefaction Analysis from Seismic Velocities and Determination of Lagoon Limits Kumluca Antalya Example. *Journal of Applied Geophysics*, 95(1), 90-103.
- Uyanık, O., Sabbag, N., Uyanık, N.A., Öncü, Z., 2019. Prediction of mechanical and physical properties of some sedimentary rocks from ultrasonic velocities. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(8), 6003-6016.
- Uyanık, O., Taktak, G., 2009. Kayma Dalga Hızı ve Etkin Titreşim Periyodundan Sıvılaşma Çözümlemesi için Yeni Bir Yöntem. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 74-81.
- Uyanık, O., Tezcan, S., 2012. Beton Dayanımının Ultrasonik Yöntemle Tayini. *Jeofizik Bülteni*, 23(70), 41-45.
- Uyanık, O., Türker, E., 2007. Fethiye-Esen II HES Salt ve Santral Sahasındaki Potansiyel Heyelanının Yerteknik Özellikleri ve Yorumu. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 84-90
- Uyanık, O., Uyanık, N.A., 2022. Yapılaşmada Yanlış Yer Seçiminin Afet Oluşumuna Katkısı. *TMMOB Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 435-446, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB), Ankara, ISBN: 978-605-01-1453-7.
- Vanlı Senkaya, G., Senkaya, M., Karslı, H., Güney, R., 2020. Integrated shallow seismic imaging of a settlement located in a historical landslide area. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79, 1781-1796.
- Yıldırım, A., Şimşek, H., 2008. Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri (6. Baskı), Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Yüksel, A.S., Uyanık, O., Er, K., 2020. Development of a fuzzy logic based online visualization application for 2D geotechnical cross-section modeling. *Earth Science Informatics*, 13(4), 1523-1538.
- Winkowska, J., Szpilko, D., Pejić, S., 2019. Smart city concept in the light of the literature review. *Engineering Management in Production and Services*, 11(2), 70-86.
- URL-1. <https://www.akillisehirler.gov.tr/akilli-sehir-nedir/E.T.27.05.2022>
- URL-2. <https://www.smartcitiesworld.net/city-profile>
- URL-3. <https://www.london.gov.uk/what-we-do/business-and-economy/supporting-londons-sectors/smart-london/priorities-and-programmes-2021-and-beyond>
- URL-4. <https://www.smartnation.gov.sg/>
- URL-5. <https://amsterdamsmartcity.com/>
- URL-6. <https://smart-city-berlin.de/en/>
- URL-7 <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>



## EKLEMELİ İMALAT VE GELENEKSEL YÖNTEMLE İMAL EDİLMİŞ TİTANYUM ALAŞIMLI MALZEMENİN ABRAZİF AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Elif Nur SELÇUK<sup>1\*</sup>, Ertuğrul DURAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Ti6Al4V, Eklemeli İmalat, Ada Tarama, Izgara Tarama, Sürtünme, Aşınma.</i>	<p>Eklemeli İmalat (Eİ) yöntemleri ile arzulanılan mekanik özelliğe sahip malzemeler üretilmektedir. Eİ yöntemi birçok farklı üretim tekniklerinden oluşmaktadır. Bu üretim tekniklerinde istenilen mekanik özellikte malzeme üretebilmek için birçok parametre bulunmaktadır. Titanyum ve alaşımlarının ısıl direnci, dayanımı, esnekliği, tokluğu, işlenebilirliği, kaynak edilebilirliği, korozyon direnci ve biyoyoumluluğu yüksek olduğu için kullanım alanları oldukça fazladır. Geleneksel yöntemle üretilen bu malzemelerin kullanıldığı alandaki tüm mekanik özellikleri karşılması zordur. Bu yüzden Eİ yöntemi ile aynı malzemeye farklı işleme teknikleri uygulanarak kullanılmak istenilen alana uygun Titanyum alaşımı üretilmektedir. Fakat bu malzemelerde kullanılan yere bağlı olarak uygulanan yük, çevre şartları veya hareket tipi ile aşınmalar meydana gelebilmektedir. Aşınma tiplerinden en önemlilerinden biri de abrazif aşınmadır. Bu çalışmada, geleneksel yöntem (GY) ve eklemeli imalat yöntemi (Eİ) iki farklı tarama stratejisi (ada tarama EİAT, ızgara tarama EİIT) ile imal edilen Ti alaşımlarının (EİATTi/EİITTi/GYTİ) abrazif aşınma davranışları incelenmiştir. Abrazif aşınma deneyleri için aşındırıcı olarak P800A zımpara kullanılmış ve <math>\mu_{ort}</math> değerlerinin birbirine çok yakın değerde olduğu görülmüştür. Tüm numunelerin (GYTi-P800A, EİATTi-P800A ve EİITTi-P800A) ortalama sürtünme katsayıları (<math>\mu_{ort}</math>) dikkate alındığında, EİATTi numunesinde GYTİ numunesine göre yüzde 2.45 artarken, EİITTi numunesinde yüzde 1.16 artış görülmüştür. Aynı sırayla aşınma oranları ise yüzde 64 ve yüzde 51 oranlarında artmıştır. P800A-GYTİ çiftinde en düşük aşınma oranı değeri bulunmuştur. En yüksek aşınma direnci gösteren numune GYTİ alaşımıdır. P800A zımpara ile yapılan tüm testlerdeki Ti alaşımlarında şiddetli aşınma meydana gelmiştir.</p>

## INVESTIGATION OF ABRASIVE WEAR PROPERTIES OF THE TITANIUM ALLOY MATERIAL PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING AND CONVENTIONAL METHOD

Keywords	Abstract
<i>Ti6Al4V, Additive Manufacturing, Island Scanning, Grill Scanning, Friction, Wear.</i>	<p>With Additive Manufacturing (AM) methods, materials with desired mechanical properties can be produced. The AM method consists of many different production techniques. There are many parameters to produce materials with the desired mechanical properties. Titanium alloys have high thermal resistance, strength, flexibility, toughness, machinability, weldability, corrosion resistance and biocompatibility. To meet all the mechanical properties in the area in which they are used. Therefore, Titanium alloy suitable for the desired area can be produced by applying different processing techniques to the same material with the AM method. However, depending on the place used in these materials, wear may occur with the applied load, environmental conditions or movement type. One of the most important wear types is abrasive wear. In this study, the abrasive wear behavior of Ti alloys (AMISTi/AMGSTi/CMTi) produced with two different scanning strategies by CM and AM were investigated. Abrasive P800A sandpaper was used for the abrasive wear tests and it was seen that the average of the friction coefficients (<math>\mu_{ave}</math>) values were very close to each other. When the values of the <math>\mu_{ave}</math> of all samples</p>

\* İlgili yazar / Corresponding author: d2040102268@ogr.sdu.edu.tr, +90-246-211-1236

(CMTi-P800A, AMISTi-P800A and AMGSTi-P800A) are taken into account, an increase of 2.45 percent was observed in the AMISTi sample compared to the CMTi sample, while an increase of 1.16 percent was observed in the AMGSTi sample. In the same order, wear rates increased by 64 percent and 51 percent. The lowest wear rate value was found in the P800A-CMTi couple. It is the CMTi alloy of the sample with the highest wear resistance. Severe wear occurred on Ti alloys in all tests with P800A abrasive.

**Alıntı / Cite**

Selçuk, E.N., Durak, E., (2023). Eklemeli İmalat ve Geleneksel Yöntemle İmal Edilmiş Titanyum Alaşım Malzemenin Abrasif Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(2), 659-668.

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

E.N. Selçuk, 0000-0003-3799-4304

E. Durak, 0000-0001-6957-3796

**Makale Süreci / Article Process**

**Başvuru Tarihi / Submission Date**

17.08.2022

**Revizyon Tarihi / Revision Date**

07.02.2023

**Kabul Tarihi / Accepted Date**

01.03.2023

**Yayın Tarihi / Published Date**

28.06.2023

# INVESTIGATION OF ABRASIVE WEAR PROPERTIES OF THE TITANIUM ALLOY MATERIAL PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING AND CONVENTIONAL METHOD

Elif Nur Selçuk<sup>1†</sup>, Ertuğrul Durak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Isparta, Türkiye

## Highlights

- When the average friction coefficients ( $\mu_{ave}$ ) of all samples (CMTi-P800A, AMISTi-P800A and AMGSTi-P800A) are taken into account, an increase of 2.45 percent was observed in the AMISTi sample compared to the CMTi sample, while an increase of 1.16 percent was observed in the AMGSTi sample. In the same order, wear rates increased by 64 percent and 51 percent.
- The lowest wear rate value was found in the P800A-CMTi pair.
- The sample with the highest wear resistance is CMTi alloy.

## Purpose and Scope

The aim of this study is to examine the wear behavior of titanium alloys produced by different methods.

## Design/methodology/approach

The Pin on Disc Wear Test Rig was used in the study for determining friction and wear properties. The values affecting wear such as roughness and mass loss of the samples were measured. The wear properties of the samples were investigated by pin-on-disc tests. In addition, the traces formed after wear with SEM images draw attention.

## Findings

The average friction coefficients ( $\mu_{ort}$ ) results of all samples (CMTi-P800A, AMISTi-P800A and AMGSTi-P800A) are 0.775, 0.794, 0.784, respectively. In the same order, the wear rates are  $1.064 \times 10^{-2}$ ,  $1.748 \times 10^{-2}$ ,  $1.612 \times 10^{-2}$ . Average mass losses are 18.92 mg, 20.31 mg, 20.35 mg. The calculated K factors are  $2.7 \times 10^{-2}$ ,  $5.2 \times 10^{-2}$ ,  $4.8 \times 10^{-2}$  in the same order. Severe wear occurred in all samples as expected.

## Research limitations/implications

In this study, abrasive wear properties were experimentally investigated experimentally in a pin-on-disc device at a constant load of 15 N and a speed of 60 rpm using sandpaper.

## Practical implications

The ability to produce personalized medical parts with additive manufacturing is the most important advantage of this new production technique. With this study, from time to time, abrasive wear can be seen in these environments due to reasons such as scaling, wear particles, etc. between the prosthesis and the opposite bone surface. For this reason, the abrasive wear properties of the material produced with additive manufacturing were investigated. In the future, abrasive wear characteristics should be examined in human joint fluid media.

## Social Implications

It can be beneficial in terms of using wear-resistant materials in areas such as aviation, space, biomedicine.

## Originality

To determine the wear characteristics of titanium alloys with different mechanical properties with the change of production parameters.

## 1. Giriş (Introduction)

İmalat yöntemleri Dördüncü Sanayi Devriminin gelişmesiyle alışılmış imalat yöntemi ve alışılmamış imalat yöntemi olarak iki grupta toplanmaktadır. Talaşlı ve talaşsız imalat alışılmış imalat yöntemleridir. Talaşla malzeme kaybının önlemek, birçok malzemenin talaşlı işlemede zorlukların olması, maliyetin artmasından dolayı talaşsız imalat yöntemi tercih edilmektedir. Talaşsız imalat yöntemi döküm, dövme, plastik şekil verme, toz metalürjisi, kaynaklı imalat olarak sıralanabilir. Sıcaklık değişimlerinden dolayı malzemede oluşan iç gerilimler talaşsız imalat yöntemlerinin dezavantajıdır (Pereira vd., 2019). Havacılık, uzay endüstrisindeki talepler, pahalı malzemelerin üretimindeki problemlerden dolayı yeni imalat yöntemleri ortaya çıkmaktadır. Bu imalat yöntemlerinden

<sup>†</sup> İlgili yazar / Corresponding author: d2040102268@ogr.sdu.edu.tr, +90-246-211-1236

alışılmamış imalat yönteminde (Eİ) çeşitli enerji türlerinin dar bir alanda odaklanması ve denetlenmesi ile malzeme işlenmektedir. Ham malzemeyi etkin kullanma, olağanüstü küçük boyutlarda ve karmaşık geometri yapılarının üretimi, hızla parasal kaynağa dönüşebilmesi, verilerin işleme mekanizmasına aktarımının kolay olması, hassas malzemelerin işlenebilmesi, dayanımlı malzemelerin imalatı, çevre dostu olması gibi özellikler bu imalatın en önemli avantajlarından sayılmaktadır. Titanyum alaşımlarının (Ti6Al4V) ısıl direncinin yüksek olmasından ve bu malzemelerin geleneksel yöntemle üretiminin pahalı ve zor olmasından dolayı Eİ yöntemi ile üretilmektedir. Savunma, havacılık, uzay, kalıpcılık, kimyasal, sağlık, deniz endüstrileri, otomotiv sektörlerindeki firmalar karmaşık yapıdaki pahalı malzemelerin üretiminde bu yöntem tercih edilmektedir (Atzeni ve Salmi, 2012; Çelik ve Özkan, 2017; Özkan, 2019) . Stereolitografi (SLA), Ergiterek Yığıma ile Modelleme (FDM), Üç Boyutlu Yazıcı (3DP), Seçmeli Lazer Sinterleme (SLS), Seçmeli Lazer Ergitme (SLM), Elektron Işınli Ergitme (EBM) en yaygın kullanılan Eİ yöntemleridir.

SLM ile imalat yönteminde giriş ve çıkış parametrelerinin değişmesiyle farklı mekanik özellikte malzemeler üretilebilmektedir. Bu parametrelerden giriş parametrelerindeki lazer gücü, tarama mesafesi, tarama gücü, tarama stratejisi, katman kalınlığı, imalat atmosferi, toz karakteristiği önemli değişkenlerdir. Ayrıca çıkış parametresi de ürünün sertliği, bağıl yoğunluğu, yüzey düzgünlüğü, pürüzlüğü, mukavemeti, şekil ve boyut ölçü hassasiyeti vb. şeklinde sıralamak mümkündür. Tarama stratejisi tarama deseni olarak adlandırılmaktadır ve ada, ızgara, çizgisel, açısal tarama gibi çeşitleri vardır. Numunenin arakesitindeki karesel boşlukların belirli bir sıraya göre ergitilmesi ile ada tarama deseni oluşmaktadır. Bu desendeki tüm bölgeler belirlenen lazer gücü, lazer hızı ve tarama mesafesinde rastgele ergitilmektedir. Izgara tarama stratejisinde ise önce kartezyen koordinatta bir ekseninde daha sonra ise diğer ekseninde ergitilerek desen oluşturulmaktadır (Özsoy, 2016; Özsoy ve Duman; 2017; Delikanlı, 2017).

Bu çalışmada (Selçuk, 2019), Eİ yöntemlerinden SLM yöntemi ile iki farklı tarama metodu (ada, ızgara) ve geleneksel yöntemle imal edilmiş Ti alaşımlarının aşınma davranışları aşındırıcı P800A zımparası kullanılarak incelenmiştir. Abrazif aşınma ve sürtünme özellikleri ile söz konusu bu malzemelerin daha uygun olup olmayacağı konusunda elde edilen bulgular yorumlanmış ve öneriler sunulmuştur. Makalenin 2.bölümünde literatür özeti verilmiştir. 3.bölümde deneyde kullanılan materyaller ve yöntemler detaylıca anlatılmıştır. 4.bölümde ise, elde edilen sonuçlar grafik, şekil ve tablolarla özetlenmiştir. 5. bölümde ise sonuçlar literatürle karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

1980'lerin başından itibaren kullanılmaya başlayan Eİ teknolojisi sağlık alanında hastaya özel cihazların doku mühendisliğinde yapı iskelesi ve ilaç dağıtım sistemi olarak kullanılmıştır. Bu alanda kulak kepçesi, aynalı sağlıklı pelvis, asetabular kap, poliüretan malzemeden yapılmış dokular, protez ve ortezler, diş parçalarının imalatı gibi organ ve doku yerine kullanılacak malzeme üretmek için çalışmalar yapılmaktadır (Gebhardt vd., 2010; Melchels vd. 2011; Upex vd., 2017; Aydın vd., 2019; Javaid vd., 2020). Ti6Al4V alaşımı genellikle kalça, diz protezlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca bu alaşım uzay mekiğinin yakıt deposu, uçak çerçeveleri, helikopter rotor bıçakları, gaz türbinleri motor parçaları, disk fren rotorları, uydu itici tankı gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. Ayrıca uzay, havacılık gibi alanlarda karmaşık geometrilerdeki küçük parçaların üretimi ve sağlık alanında kişiye özellik kavramının öneminden dolayı Eİ kullanımı tercih edilmektedir (Anil Kumar vd., 2021; Sreeshva vd., 2021; Segu vd., 2021; Bacak vd., 2021) .

Aşınma, iki farklı bileşen arasındaki bağıl hareketler gibi mekanik işlemler nedeniyle bir makinenin başka bir bileşeninden kaynaklanan sürtünme nedeniyle birim zamanda malzemenin kaldırılması veya tahribatı olarak tanımlamak mümkündür. Aşınma, yüzeyin üretim prosedürüne ve geometrisine bağlı olarak geniş bir aralıkta değişebilir. Ayrıca malzemenin mekanik özellikleri ve karakteristikleri gibi farklı faktörler de aşınma varyasyonunu azaltmaya yardımcı olabilmektedir. Buna göre aşınmayı hafif aşınma ve şiddetli aşınma olarak iki farklı aşınma tipine ayrılabilir. Hasara uğrayıp kırılmış dış yüzey pürüzsüz ve aşınma kalıntısı bakımından küçük olduğunda hafif aşınma, daha büyük aşınma kalıntıları ise şiddetli aşınma olarak yorumlanır. Bunlar çıplak gözle görülebilir. Malzeme muhtemelen aşınma olgusunu farklı şekillerde deneyimleyebilir. En önemli aşınma mekanizmaları olarak adhezif, abrazif, erozyon, yorulma, fretting, oksidatif vb.. sıralanabilir. Abrazyon aşınma mekanizmasında, malzemenin yüzeylerden yer değiştirmesi gözlemlenebilir ve bu da her iki yüzeyde de bir kanal, çizik, oluk oluşmasına neden olmaktadır. Bu mekanizma, aşındırıcının sertliği, rijitliği, boyutu ve geometrisi gibi birçok unsura göre değişiklik göstermektedir. Abrazif aşınma şu şekilde görülebilir:

- i. Sert bir yüzeyin daha yumuşak olandan uzaklaştırdığı ve yüzeyde aşındırıcı iz bıraktığı 2 gövdeli abrazif aşınma,
- ii. Sert bir parçacığın iki kayabilir yüzey arasında sıkışıp kaldığı ve yüzeylerden birinde veya her ikisinde aşındırıcı iz bıraktığı 3 gövdeli abrazif aşınma. Abrazif aşınmanın önemli özelliklerinden biri sertliktir.

Sertlik, aşındırıcı aşınma oranını kontrol etmede bir şekilde çok önemli bir rol oynar.

Deneyel çalışmalar bir malzemenin sertliği arttıkça abrasif aşınma oranının azalacağını göstermektedir. Birçok malzeme için, abrazif aşınma oranı aynı zamanda partikülün boyutuna da bağlıdır (Kumar vd., 2021).

Kalıcı diz, kalça implantlarında kullanılan titanyum alaşımlarının zamanla aşındığı bilinmektedir. Vücut sıvısı ile temasa giren implantların aşınma hızları artmaktadır. Bazen aşınan implantlarda gevşeme de görülebilmektedir. Bu da insan sağlığı açısından tehlikeli olabilmektedir. Malzeme seçimi, eklemdeki yağlama durumu, hareket şekilleri, implant tasarımı gibi faktörler aşınma süresini ve boyutunu etkilemektedir (Güner ve Meran, 2020). Metal alaşımları vücut sıvısı içerisinde bulunan çeşitli iyonlar, mineraller ve proteinlerle etkileşime girerek korozyon ve metal iyonizasyonuna uğramaktadır. Bunun sonucunda ise polietilen bileşen kullanım ömründen erken aşınmaya maruz kalmaktadır (Bahçe vd, 2017). Bu yüzden implantlarda kullanılan malzemelerin aşınma özelliklerinin incelenmesi ve aşınma süresini arttırmaya yönelik çalışmaların yapılması önemlidir.

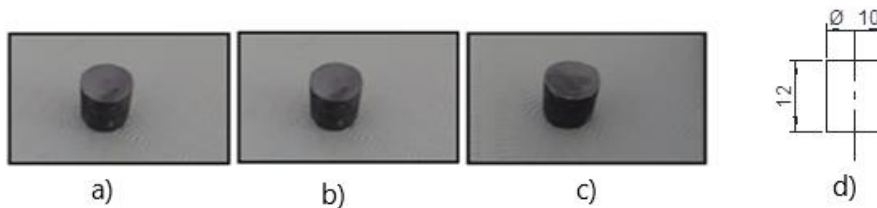
### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Sunulan çalışmada, kalça protezlerinde kullanılması amacıyla ada tarama (EİATTi) ızgara tarama (EİİTTi) yöntemi ve geleneksel yöntemle (GYTi) imal edilen üç farklı mekanik özelliğe sahip Ti6Al4V kullanılmıştır. Bu malzemelerin abrazif aşınma özelliklerini belirlemek amacıyla aşındırıcı olarak P800A zımpara kullanılarak aşındırma yapılmış ve aşınma-pürüzlülük durumları incelenmiştir. Deneyler SDÜ Makine Mühendisliği Triboloji laboratuvarında yapılmış ve Pim Disk Aşınma Test Cihazında (PDATC) gerçekleştirilmiştir. Deneyler  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Bu numunelerin kütleleri ise deneylerden önce ve sonra 0,0001g hassas terazi ile ölçülmüştür. Aşınmadan dolayı meydana gelen kütle kayıpları elde edilerek ve her numune için özgül aşınma oranına ulaşılmıştır. Aynı zamanda tüm deney numunelerinin deneylerden önce ve sonra yüzey pürüzlülükleri de ölçülmüştür. Titanyum alaşımlarının SDÜ Yenilikçi Teknolojiler Araştırma ve Uygulama Merkezinde (YETEM) yüzey topografyaları fotoğrafları Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Optik Mikroskop ile incelenmiştir. GYTi, EİATTi, EİİTTi alaşımları torna tezgâhında talaşlı imalatla istenilen boyutlara (çap 10 mm, boy 12 mm) getirilmiştir (Şekil 1). Daha sonra yüzey parlatma işlemi  $300 \text{ d}^{-1}$  kayma hızında zımpara (800, 1000, 1500, 2000 ) ile parlatılmıştır. Numuneler hegzanda (n-Hexan, Merck KGaA, I244167 532, 1.04367.2500, saflık derecesi ( $gc \geq 9.0$ )) 15 dakika süre ile temizlendikten sonra sıcak hava püskürtülerek kurutulmuştur. Ayrıca daha doğru sonuçlar alabilmek ve deney sayılarını arttırmak için test numunelerinin alt ve üst yüzeyleri ile testler yapılmıştır, böylelikle bir numuneden iki deney yapılmıştır. Numunelerin bir yüzeyinde deneyler 3 kere tekrarlanmıştır. Bu işlemi yapabilmek için deney sonrası yüzeylere parlatma işlemi uygulanmıştır. Tablo 1’de kullanılan numunelerin teknik ve mekanik özellikleri verilmektedir.

**Tablo 1.** Kullanılan numunelerin mekanik özellikleri  
(Mechanical properties of used samples) (Kayacan vd., 2018)

NUMUNE	YOĞUNLUK (gr/cm <sup>3</sup> )	ÇEKME DAYANIMI (MPa)	ELASTİSİTE MODÜLÜ (MPa)	SERTLİK N/mm <sup>2</sup>
GYTi	4,50	860	110	3800
EİATTi	4,41	1100	101	5700
EİİTTi	4,40	1100	101	5230

TIME TR200 marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazında herhangi bir yağ, sıvı kullanılmadan (kuru koşullar) numunelerin deney öncesinde ve sonrasında yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Numunelerin aritmetik ortalama pürüzlülüğü Ra, 10 nokta pürüzlük (en yüksek 5 pürüz tepesi, en düşük 5 pürüz tepesi) ortalama değeri Rz, en yüksek pürüz tepesi Rt değerleri  $\mu\text{m}$  olarak yüzeyin 5 farklı bölgesinden ölçülmüştür. Daha sonra ortalamaları hesaplanmıştır. Elde edilen deney öncesi ve sonrası sonuçlar grafikler olarak sunulmuştur. Abrazif aşınma deneyleri PDATC’de 15 N yük,  $60 \text{ d}^{-1}$  ( $0.084 \text{ m/s}$ ), ortalama 30 mm çapında dairesel bir yörünge üzerinde ve 100 m kayma katetme mesafesinde, 20 dakika test süresinde yapılmıştır.



**Şekil 1.** Deneylerde kullanılan numuneler a) EİATTi b) GYTi c) EİİTTi d) Numune ölçüleri

(Samples used in the experiments a) AMiSTi b) CMTi c) AMGSTi d) Specimen dimensions)

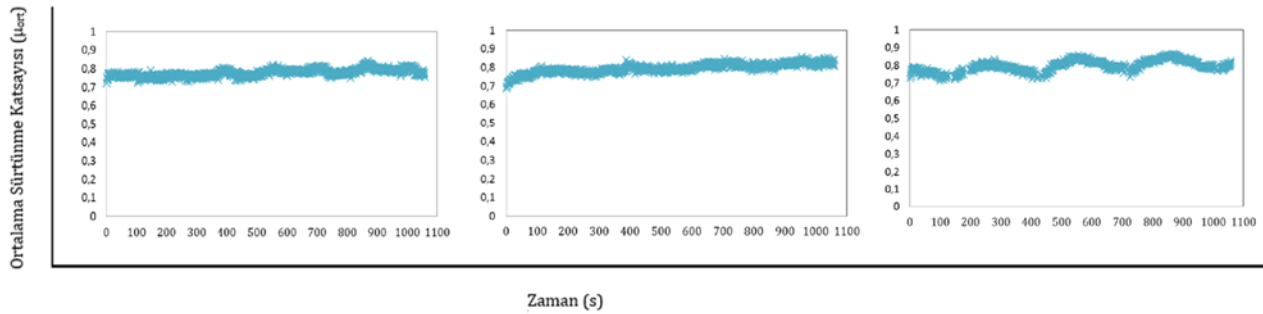
#### 4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Ti alaşımları-P800A ile yapılan deneyler sonucunda numunelerin ortalama sürtünme katsayıları, pürüzlülük değerleri, kütle kayıpları, aşınma oranları, K faktörü ve sertlik oranları hesaplanmıştır. Ayrıca SEM görüntüleri de incelenmiştir.

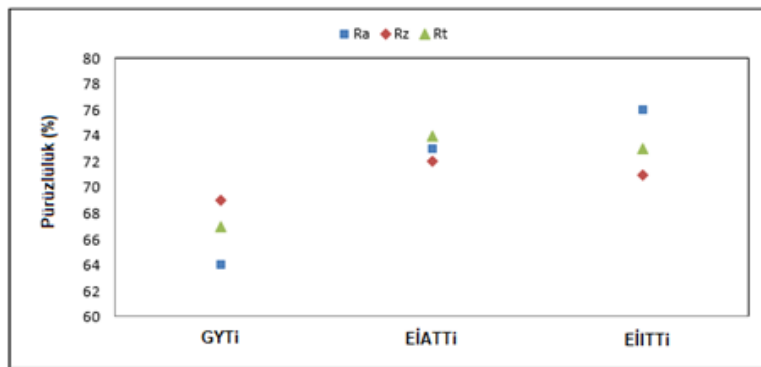
Aşınma ana malzemenin kristal-kafes tipi, büyüklüğü, şekil değişimi, Elastisite (Young) modülü sertliği, yüzey düzgünlük kalitesi, vb., karşı malzemenin de bulunduğu ortamın sıcaklığı, nem, atmosfer, vb., çalışma şartlar temas basıncı, yüzey hızı, kayma mesafesi, vb.. bağlı olarak farklı aşınma türleri oluşabilmektedir. Aşınma, yüzeylerden parçacık ayrılması olarak görülmekte ve fiziksel, kimyasal ve erime şeklinde ortaya çıkmaktadır (Bhushan, 2000; Ma vd., 2017).

Abrazif aşınma deneylerinde GYTi'li numunelerin  $\mu_{ort}=0.774$ , EİATTi'li numunelerin  $\mu_{ort}=0.794$  ve EİİTTi'li numunelerin  $\mu_{ort}=0.789$  olarak bulunmuştur. Şekil 2'de görüldüğü üzere EİATTi ve EİİTTi numunelerine ait  $\mu_{ort}$  değerleri birbirine çok yakın değerdedir.

GYTi'li numunelerinin Ra değerlerinde %64.05, Rz değerlerinde %69.47 ve Rt değerlerinde ise %67.89 oranında artış görülmüştür. EİATTi'li numunelerin ise Ra değerlerinde %73.71 oranında, Rz değerlerinde %72.68 oranında ve Rt değerlerinde ise %74.54 oranında artış dikkati çekmiştir. EİİTTi'li numunelerin Ra değerlerinde %76.59 oranında, Rz değerlerinde ise %71.60 oranında ve Rt değerlerinde ise %73,54 oranında artış görülmektedir. Tüm numunelerin aşınma sonrası pürüzlülük değerlerinde önemli derecede artış vardır. Pürüzlülükteki artış en çok EİİTTi alaşımında meydana gelmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Tüm numunelerin (sırasıyla GYTi, EİATTi, EİİTTi) zamana bağlı ortalama sürtünme katsayısı (Time dependent average friction coefficient of all samples (respectively CMTi, AMiSTi, AMGSTi))



Şekil 3. Tüm numunelerin pürüzlülük değerleri (Roughness values of all samples)

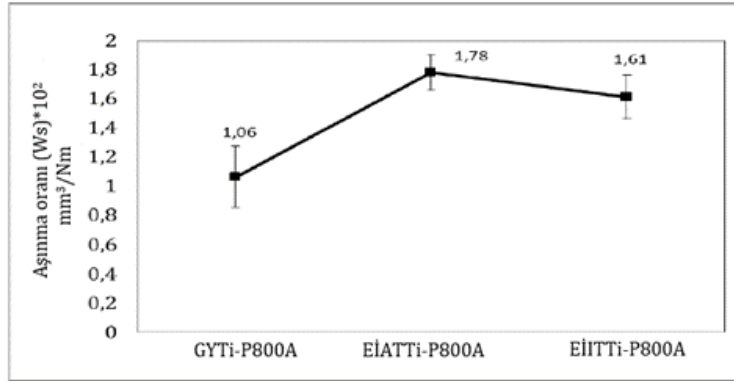
Aşınan malzemelerin farklı sertliklerde olması nedeni ile aşınma oranı Denklem 1 ile hesaplanabilmektedir. Çalışma şartları ve malzemenin tipine bağlı olarak aşınma oranı  $10^{-15}$  ile  $10^{-1}$   $\text{mm}^3/\text{Nm}$  arasında değer alabilmektedir. Bu nedenle aşınmanın kontrolü için çalışma koşulları ve malzeme seçimi son derece önemlidir (Grum, 2009; Kragelsky ve Alisin, 2016; Ameen, 2017).

$$Ws = \frac{V \cdot H}{F \cdot L} \quad (1)$$

Burada;  $W_s$  aşınma oranı,  $V$  aşınan hacim,  $H$  malzemenin yüzey sertliği, parçaya  $F$  uygulanan yük,  $L$  test süresince alınan kayma yolunun uzunluğudur. Birim mesafe ve birim kuvvete karşı gelen aşınma hacmi ise özgül aşınma oranıdır ( $w_s$ ). Bu oran benzer malzemeler arasındaki temas durumlarında kullanılmaktadır ve malzeme ve sürtünme koşullarına bağlı olarak  $10^{-9}$  ve  $10^{-2}$   $\text{mm}^3/\text{Nm}$  aralığında değerler almaktadır. Denklem 2 ve 3'te ise özgül aşınma oranı hesabı verilmiştir. Tüm numunelerin aşınma oranı değerleri hesaplanmış ve Şekil 4'te gösterilmektedir.

$$w_s = \frac{W_s}{H} \quad (2)$$

$$w_s = \frac{V}{F*L} \left( \frac{\text{mm}^3}{\text{Nm}} \right) \quad (3)$$



Şekil 4. Tüm numunelerin aşınma oranı değerleri (Wear rate values of all samples)

Aşınma katsayısı ( $K$  sabiti) ise Archard aşınma sabiti olarak bilinmektedir ve ilk olarak 1953 yılında J.F. Archard bu sabiti ifade etmiştir. Holm/Archard yasası olarak da ifade edilen denklemde  $K$  faktörü Denklem 4'te verilmiştir.

$$K = \frac{3*V*H}{F*L} \quad (4)$$

$K$  faktörüne bağlı olarak 3 çeşit aşınma rejimi belirtilmektedir. Aşınma-yük ilişkisini gösteren bu mekanizmada  $K$  faktörü;  $10^{-2}$  -  $10^{-4}$  arasında ise şiddetli aşınma,  $10^{-4}$  -  $10^{-6}$  arasında ise orta aşınma,  $10^{-6}$  -  $10^{-8}$  arasında ise parlatma aşınması olarak isimlendirilmektedir (Öncü, 2019).

Abrazif aşınma değerlendirilmelerinde yüzey sertlikleri de önemli faktör olduğu için sertlik oranları da hesaplanmıştır. Bu oranı (Sertlik oranı ( $r$ )) hesaplayabilmek için denklem 5 kullanılmıştır. Sertlik oranı ( $r$ ) kritik değer altında kaldığı zaman ( $r_{c1}$ ) (yaklaşık 0.6) abrazif aşınma ortaya çıkmaktadır (Kato ve Adachi, 2000).

$$r = \frac{\text{Aşınmış malzemenin sertliği}}{\text{Aşındırıcı malzemenin sertliği}} \quad (5)$$

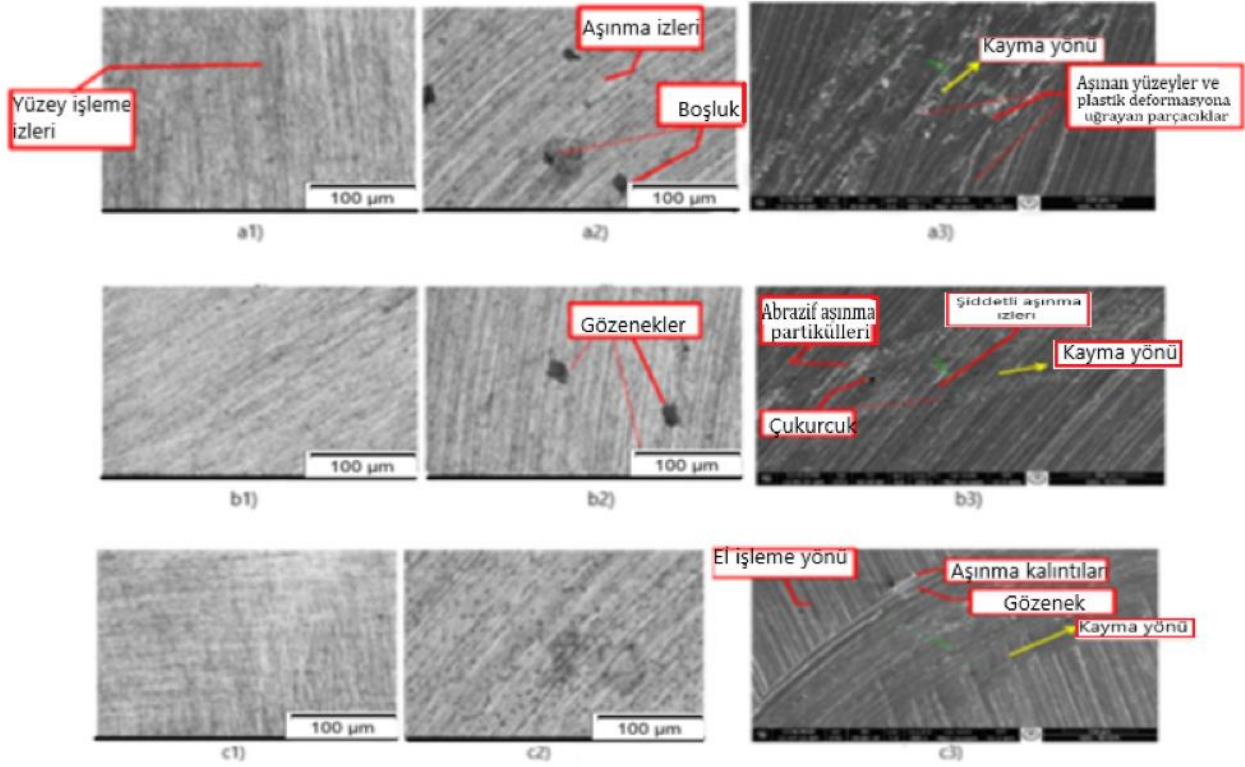
Tüm numunelerin  $K$  faktörü ve sertlik oranları hesaplanmış ve bulunan sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Numunelerin  $K$  faktörü ve sertlik oranı (K factor and hardness ratio of samples)

Numune	$K$ faktörü	Sertlik oranı( $r$ )
GYTi	$2.7*10^{-2}$	0.12
EİATTi	$5.2*10^{-2}$	0.19
EİİTTi	$4.8*10^{-2}$	0.17

GYTi, EİATTi, EİİTTi numuneleri ile yapılan deneylerin sonucuna göre, GYTi numunesinde daha az aşınma olduğu görülmektedir. Bu sonuca göre tüm numunelerin aşınma direnci yönünden birbirine yakın özellikte olduğu, GYTi'nin az da olsa daha iyi bir aşınma direnci gösterdiği görülmektedir.  $K$  değerlerine bakıldığı zaman, tüm numunelerin şiddetli aşınma bölgesindedir ve GYTi numunesinde  $K$  faktörünün diğer numunelere göre daha küçük değerdedir. Archard denklemi incelendiğinde, aşınma oranı ve  $K$  faktörü sertlik ile doğru orantılıyken, kütle kaybı ile ters orantılı olduğu rahatlıkla görülmektedir. Deney sonuçlarına göre, tüm numunelerde  $K$  faktörü, sertlik ve kütle kaybı doğru orantılı çıkmıştır. Bunun nedeni, tüm numunelerin yoğunluklarının farklı olmasıdır. Aşındırıcı P800A zımpara ile yapılan numunelerin abrazif aşınma yüzeylerinin optik ve SEM görüntüleri Şekil 5'te gösterilmektedir.





**Şekil 5.** Ti alaşımları-P800A çiftindeki tüm titanyum alaşımlarının optik ve SEM görüntüleri a1-3) GYTİ b1-3) EİATTİ c1-3) EİİTTİ (Optical and SEM images of all titanium alloys in the Ti alloys-P800A pair a1-3)CMTİ b1-3)AMİSTİ c1-3)AMGSTİ)

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

Bu çalışmada, üç farklı özellikteki titanyum alaşımlarının kuru koşullarda P800A zımpara ile abrazyif aşınma davranışları test edilmiştir. GYTİ-P800A, EİATTİ-P800A ve EİİTTİ-P800A çiftleri ile yapılan deneylerde yüzeylerin frezelemesi, kaba tornalanması işlemine benzer görünüme sahip olup yüzey pürüzlülük değerlerinde deney başlangıcına göre büyük artışlar meydana gelmiştir. EİİTTİ alaşımında en yüksek ve GYTİ alaşımında ise en düşük pürüzlülük artışı elde edilmiştir. Tüm numunelerin (GYTİ-P800A, EİATTİ-P800A ve EİİTTİ-P800A) ortalama sürtünme katsayıları ( $\mu_{ort}$ ) sonuçları sırasıyla 0.775, 0.794, 0.784'dir. Aynı sırayla aşınma oranları ise ( $W_s$ )  $1.064 \times 10^{-2}$ ,  $1.748 \times 10^{-2}$ ,  $1.612 \times 10^{-2}$ 'dir. Ortalama kütle kayıpları ise 18.92 mg, 20.31mg, 20.35 mg'dir. Hesaplanan K faktörleri ise yine aynı sırayla  $2.7 \times 10^{-2}$ ,  $5.2 \times 10^{-2}$ ,  $4.8 \times 10^{-2}$ 'dir. K faktörü aşınma türü hakkında bilgi vermektedir. Deney sonuçlarına göre bulunan değerler  $10^{-2}$  –  $10^{-4}$  arasında olduğu için aşınmanın şiddetli aşınma gösterdiği sonucuna varılmıştır. Sertlik oranı ise sırasıyla 0.12, 0.19, 0.17 bulunmuştur. Bu değerler de tüm numunelerde abrazyif aşınma meydana geldiğini göstermektedir. Tüm testlerden elde edilen sonuçlara göre en yüksek aşınma direnci gösteren numune GYTİ'li numunelerdedir. Tüm numunelerin (GYTİ P800A, EİATTİ-P800A ve EİİTTİ-P800A) şiddetli aşınma bölgesinde olduğu ve EİİTTİ-P800A çiftindeki EİİTTİ'li numunelerin yüzeyinde abrazyif aşınma sonucu SEM görüntülerinde aşınma izleri, aşınma çizikleri daha yoğun olduğu dikkat çekmektedir.

Seçici lazer eritmede (SLM), işlem parametreleri, örneğin lazer gücü, tarama alanı ve tarama hızı gibi, parça özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. SLM işlemi sırasında mikro yapıları aktif olarak kontrol ederek aşınma direncini arttırmak önemlidir ( Yang, vd., 2019). Seçici Lazer Eritme (SLM) teknolojisi ile eklemeli olarak üretilen parçaların kalitesi ve tarama stratejileri arasında önemli bir ilişki gösterilmiştir. Bu nedenle, yüksek hizmet gereksinimleri olan uygulamalarda SLM teknolojisini desteklemek için tarama stratejisinin etkisinin derinlemesine incelenmesi, üretim süreci için büyük değer taşımaktadır (Giganto, vd., 2022).Tarama stratejilerinin SLM yapıları 316L paslanmaz çeliğin mikro yapısı, tane büyümesi, tane boyutu ve dolayısıyla mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, mikrosertlik, tarama stratejisinin dikdörtgen bir desenle uygulanmasıyla iyileştirildiğini göstermektedir(Song, vd., 2020).

Sonuç olarak aynı malzemeden farklı tekniklerle numune üretilmesi ile farklı mekanik ve tribolojik özellikte malzemeler elde edilebilmektedir. Yapılacak yeni çalışmalarda tarama açıları, tarama desenleri gibi birçok giriş parametreleri değiştirilerek hem mekanik hem de tribolojik olarak yeni malzemeler ortaya çıkabilmektedir. Havacılık, uzay, biyomedikal alanlarda kullanılan parçaların geleneksel yöntemlerle imalatı zor olduğu için Eİ yöntemi tercih edilebilir ve hem mekanik açıdan hem de tribolojik yönden daha uygun malzeme uzay, havacılık, biyomedikal gibi önemli alanlarda kullanılabilir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

## Kaynaklar (References)

- Ameen, N.H., (2017). Soya Yağı Ve Kullanılmış Kızartma Yağı Yağ Asiti Metil Esterleri Karışımlarının Sınır Yağlama Şartlarında Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 79s.
- Anil Kumar, V., Gupta, R.K., Prasad, M., Narayana Murty, S.V.S., (2021). Recent Advances In Processing Of Titanium Alloys And Titanium Aluminides For Space Applications: A Review. *J Mater Res* 36:689–716.
- Atzeni, E., Salmi, A. (2012). Economics Of Additive Manufacturing For End-Usable Metal Parts. *Int J Adv Manuf Technol* 62:1147–1155. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3878-1>.
- Aydin, H.S., Gümüş, Ö.Y., Küçük, İ., (2019). Eriyik Yığıma Modellemesi Esaslı Üç Boyutlu (3B) Eklemeli Üretim Tekniği Kullanılarak Poliüretan Malzemeden Bir Yapay İnsan Kulak Kepçesi Üretimi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilim Enstitüsü Derg 23:666–672. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.540029>.
- Bacak, S., Varol Özkavak, H., Tath, M., (2021). FDM Yöntemi İle Üretilen PLA Numunelerin Çekme Özelliklerine İşlem Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(1), 209-216.
- Bahçe, E., Aslan, A. K. , Güler, M. S. , Çakır, N. & Emir, E. (2017). Kalça Protezinin Aşınma Özellikleri Üzerinde Çoklu Tabakalı Kaplanmasının Etkilerinin Sonlu Elemanlar Metoduyla Nümerik Analizi . *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* , 7 (2) , 201-214 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/orudubtd/issue/33029/367261>
- Bhushan, B., (2000). *Modern Tribology Handbook, Two Volume Set*. CRC press. Volume One, Principles of Tribology, 1728 s.
- Çelik, K. Özkan, A., (2017). Eklemeli İmalat Yöntemleri İle Üretim Ve Onarım Uygulamaları. *Düzce Üniversitesi, Bilim Ve Teknoloji Derg* 5:107–121.
- Delikanlı, Y.E., (2017). Özel Geometriyle Pürüzlendirilmiş ve Hafifletilmiş Kalça İmplantının Tasarımı ve Lazer Sinterleme Yöntemi İle İmalatı. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 186 s.
- Gebhardt, A. Schmidt, F.M. Hötter, J.S. Sokalla, V. Sokalla, P., (2010). Additive Manufacturing By Selective Laser Melting The Realizer Desktop Machine And Its Application For The Dental Industry. *Phys Procedia* 5:543–549. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2010.08.082>.
- Giganto, S., Martínez-Pellitero, M., Barreiro, J., Leo, P., Castro-Sastre, A., (2022), Impact of the laser scanning strategy on the quality of 17-4PH stainless steel parts manufactured by selective laser melting, *Journal of Materials Research and Technology*, 20, 2022, Pages 2734–2747, ISSN 2238-7854, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.08.040>.
- Grum, J., (2009). Book Review: *Modern Tribology Handbook, Volume One: Principles of Tribology and Volume Two: Materials, Coatings, and Industrial Applications* edited by Bharat Bhushan. *Int J Microstruct Mater Prop* 4:388–390.
- Güner, A.T., Meran, C., (2020). Ortopedik implantlarda kullanılan biyomalzemeler. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 26(1), 54-67.
- Javaid, M., Haleem, A., (2020). 3D Printed Tissue And Organ Using Additive Manufacturing: An overview. *Clin Epidemiol Glob Health* 8:586–594. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2019.12.008>.
- Kato, K. Adachi, K., (2000). Wear Mechanisms. In: *Modern Tribology Handbook: Volume One: Principles of Tribology*. CRC press, pp 273–300.
- Kayacan, M.C., Delikanlı, Y.E., Duman, B., Özsoy, K., (2018). Ti6Al4V Toz Alaşımı Kullanılarak SLS İle Üretilen Geçişli (Değişken) Gözenekli Numunelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendis Mimar Fakültesi Derg* 33.
- Kragelsky, I.V. Alisin, V., (2016). *Friction Wear Lubrication: Tribology Handbook*. Vol:3, ISBN 0-08.027591-5.
- Kumar, A., Choudhary, A. Tiwari, A., James, C., Kumar, H., Arora, P.K., Khan, S.A., (2021). An Investigation On Wear Characteristics Of Additive Manufacturing Materials, *Materials Today: Proceedings* 47, 3654–3660.
- Ma C, Andani MT, Qin H, Moghaddam, N.S. Ibrahim, H. Jahadakbar, A. Amerinatanzi, A. Ren, Z. Zhang, H. Doll, G.L. Dong, Y. Elahinia, M. Ye, C., (2017). Improving Surface Finish And Wear Resistance Of Additive Manufactured Nickel-Titanium By Ultrasonic Nano-Crystal Surface Modification. <https://doi.org/10.1016/J.JMATPROTEC.2017.06.038>.
- Melchels, F.P.W. Domingos, M.A.N. Klein, T.J. Malda, J. Bartolo P.J. Huttmacher D.W. (2011). Additive Manufacturing of Tissues and Organs. *Prog Polym Sci* 37:1079–1104. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.11.007>.
- Öncü, G., (2019). Atık Bitkisel Yağ Metil Esterlerinin Yağlama Yağı Olarak Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 158 s.
- Özkan, D.Ç., (2019). Hızlı Prototipleme Teknolojisinin Gelişimi, Çeşitleri Ve İmalat Sektöründe Sağladığı Avantajlar. *Mühendis Ve Makina Güncel*, Aralık 2019, [www.mmo.org.tr](http://www.mmo.org.tr).
- Özsoy, K. Duman, B., (2017). Eklemeli İmalat (3 Boyutlu Baskı) Teknolojilerinin Eğitimde Kullanılabilirliği (Usability Of Additive Manufacturing (Three Dimensional Printing) Technologies In Education), 1:36–48.
- Özsoy, K., (2016). Lazer Ergitme Yöntemi İle Kişiyi Özel Hafifletilmiş Gerçek Kafatası Parçası İmplant İmalatı. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 178 s.
- Pereira, T., Kennedy, J.V., Potgieter, J., (2019). A Comparison Of Traditional Manufacturing Vs Additive Manufacturing, The Best Method For The Job. *Procedia Manuf* 30:11–18. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.003>.
- Segu, D.Z. Wang, L.L. Hwang, P. Kang, S.W., (2021). Experimental Characterization Of Friction And Wear Behavior Of Textured Titanium Alloy (Ti-6Al-4V) For Enhanced Tribological Performance. *Mater Res Express* 8:085008.
- Selçuk, E. N., (2019). Eklemeli İmalat Ve Geleneksel Yöntem İle İmal Edilmiş Titanyum Alaşımli Biyomedikal Malzemenin Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 134 s.
- Song, Y., Sun, Q., Guo, K., Wang, X., Liu, J., Sun, J., (2020), Effect of scanning strategies on the microstructure and mechanical

- behavior of 316L stainless steel fabricated by selective laser melting, *Materials Science and Engineering: A*, 793,2020,139879,ISSN 0921-5093,<https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139879>.  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509320309515>)
- Sreesha, R.B. Kumar, D. Chandraker, S. Agrawal, A., (2021). Room Temperature Sliding Wear Behavior of Ti6Al4V: A Review. In: AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, p 040041.
- Upex, P. Jouffroy, P. Riouallon, G., (2017). Application Of 3D Printing For Treating Fractures of Both Columns of The Acetabulum: Benefit of Pre-Contouring Plates On The Mirrored Healthy Pelvis. *Orthop Traumatol Surg Res* 103:331–334. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2016.11.021>.
- Yang, Y., Zhu, Y., Yang, H., (2019). Enhancing wear resistance using selective laser melting (SLM): Influence of scanning strategy. *Jurnal Tribologi* 23, pp.113-124.



## DAVRAZ DAĞI (ISPARTA) VE ÇEVRESİNDE KARBONAT AKİFERDE BULUNAN YERALTISUYUNUN HİDROJEOKİMYASAL GELİŞİMİ

Selma DEMER<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Davraz Dağı,  
Isparta,  
Karbonat Akifer,  
Hidrojeokimyasal Proses,  
Kavramsal Model.*

### Öz

Bu çalışmada Davraz Dağı (Isparta) karbonat akiferindeki yeraltısuyunun hidrojeokimyasal evrimini belirlemek amacıyla, bölgenin tektonik ve jeolojik özelliklerine bağlı olarak suların hidrojeokimyasal kavramsal modeli tanımlanmıştır. İnceleme alanından toplam 21 adet temsili yeraltısuyu örneği alınmış ve suların üç farklı fasiyeste olduğu belirlenmiştir: (a) Ca-HCO<sub>3</sub>, (b) Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> ve (c) Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>. Ölçülen kısmen yüksek SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ve NO<sub>3</sub><sup>-</sup> konsantrasyonları evsel ve tarımsal faaliyetlerle ilişkilidir. İnceleme alanında yeraltısuyu kimyasını denetleyen temel faktör su-kayaç etkileşimidir ve kalsit ve dolomit çözünmesi baskın jeokimyasal süreçlerdir. Çalışma alanındaki yeraltısuyu örneklerinin pCO<sub>2</sub> değerlerinin, atmosferik pCO<sub>2</sub>'den daha yüksek olması karbonat çözünmesini hızlandırmış, su-kaya etkileşimi ile akiferdeki başlıca mineral fazları olan kalsit ve dolomit çözünerek suların Ca ve Mg konsantrasyonlarını artırmıştır. Suların SI<sub>kalsit</sub> ve SI<sub>dolomit</sub> değerlerinin pozitif olması bu minerallerin akifer ortamda yeraltısuyunun hidrojeokimyasal bileşimini kontrol ettiğini göstermektedir. Karbonat sistemi için mineral stabilite diyagramı çalışma alanındaki suların, Mg-kalsit ile dengede olduğunu ve bu mineralin derin rezervuarlardaki ana karbonat minerali olduğunu göstermektedir. Hidrojeokimyasal kavramsal modele göre karbonat kayaçlar üzerine düşen yağış suları, atmosferden bir miktar karbondioksiti alarak karbonik asit oluşturmuştur. Bu su yeraltına süzülürken, içinde dolaşım yaptığı karbonat kayaçlarda bulunan Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> ve HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>ü çözerek Ca-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> karakterinde suların oluşmasını sağlamıştır.

## HYDROGEOCHEMICAL EVOLUTION of GROUNDWATER in DAVRAZ MOUNTAIN (ISPARTA) CARBONATE AQUIFER AND ITS SURROUNDING

### Keywords

*Davraz Mountain,  
Isparta,  
Carbonate Aquifer,  
Hydrogeochemical Process,  
Conceptual Model.*

### Abstract

In this study, to determine the hydrogeochemical evolution of the groundwater in the Davraz Mountain (Isparta) carbonate aquifer, the hydrogeochemical conceptual model of the waters was defined depending on the tectonic and geological characteristics of the region. A total of representative twenty-one groundwater samples were collected from the study area and it was determined that the waters were divided into three different groundwater facies: (a) Ca-HCO<sub>3</sub>, (b) Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, and (c) Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>. In some samples partially high SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentrations are associated with domestic and agricultural activities. The main factor controlling the groundwater chemistry in the study area is the water-rock interaction and the dissolution of calcite and dolomite is the dominant geochemical process. The pCO<sub>2</sub> values of the groundwater samples in the study area were higher than the atmospheric pCO<sub>2</sub> also accelerated the carbonate dissolution. Thus, calcite and dolomite, the main mineral phases in the aquifer were dissolved by the water-rock interaction and increasing the Ca and Mg concentrations of the waters. The positive SI<sub>calcite</sub> and SI<sub>dolomite</sub> values of the waters show that these minerals control the hydrochemical composition of the groundwater in the aquifer. The mineral stability diagram for the carbonate system shows that the waters in the study area

\* İlgili yazar / Corresponding author: selmademer@sdu.edu.tr, +90-246-211-1329

are in equilibrium with Mg-calcite and that Mg-calcite is the main carbonate mineral in deep reservoirs. According to the hydrogeochemical conceptual model, precipitation waters falling on carbonate rocks took some carbon dioxide from the atmosphere and formed carbonic acid. While this water was infiltrated underground, it dissolved  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , and  $\text{HCO}_3^-$  in the carbonate rocks in which it circulated, resulting in the formation of  $\text{Ca-HCO}_3$  and  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$  waters.

**Alıntı / Cite**

Demir, S., (2023). Davraz Dağı (Isparta) ve Çevresinde Karbonat Akiferde Bulunan Yeraltısuyunun Hidrojeokimyasal Gelişimi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 669-692.

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

S. Demir, 0000-0003-4031-9633

**Makale Süreci / Article Process**

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	07.02.2023
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	09.03.2023
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	09.03.2023
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

# Hydrogeochemical Evolution of Groundwater in Davraz Mountain (Isparta) Carbonate Aquifer and Its Surrounding

Selma Demer<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

---

## Highlights

---

- Carbonate aquifers have important in the water supply of drinking water.
- The waters in the Davraz Mountain (Isparta) carbonate aquifer are generally in the composition of Ca-HCO<sub>3</sub> and Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>.
- Carbonate weathering is the dominant geochemical process in the waters in the study area.
- Calcite and dolomite minerals control the hydrogeochemical composition of the groundwater in the aquifer media.

---

## Purpose and Scope

The aim of this study is to investigate the hydrogeochemical properties and hydrogeochemical evolution of the waters associated with the carbonate rocks in Davraz Mountain and to define the hydrogeochemical conceptual model of the waters depending on the tectonic and geological characteristics of the region.

## Design/methodology/approach

To determine hydrogeochemical properties a total of representative twenty-one groundwater samples were collected from the study area. In-situ measurements, such as temperature (Thermometer-Testo-95-1), hydrogen ion activity (pH meter-WTW pH 330i), electrical conductivity (Electrical conductivity meter-WTW cond 330i), and redox potential (WTW pH 330i with ORP electrode) were measured in the field by means of portable instruments. The titrimetric method was used for the determination of the HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentrations. The collection and analysis of the samples followed the conventional Standard Methods. Hydrogeochemical analyzes were carried out at Süleyman Demirel University, Department of Geological Engineering, Water-Rock and Mineral Analysis Laboratory. An inductively coupled plasma-optic emission spectrometry (ICP-OES Perkin Elmer 2100 DV) was used for cations (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>), and trace elements (such as Li, Pb, Zn, Cu, Al, Fe, Mn, Sb, As, Ba, Cr, Ni, Sr, and Si), and ion chromatography (IC-Dionex ICS 3000) was used for anions (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, F<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Hydrogeochemical analysis results were evaluated using AquaChem v.3.7 software package. For determining the chemical equilibrium between minerals and water, saturation indices (SI) of various minerals were obtained using the aqueous speciation SOLMINEQ.88 software. By interpreting the hydrogeochemical analysis data, the hydrogeochemical properties and hydrogeological processes of the waters were determined, and the conceptual model of waters interrelated with Davraz Mountain carbonate rocks was revealed.

## Findings

It has been determined that the groundwaters in the study area are in three groundwater facies: (a) Ca-HCO<sub>3</sub>, (b) Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, and (c) Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>. The fact that the waters are in Ca-HCO<sub>3</sub> and Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> facies is related to the Kuyubaşı dolomite and Beydağları formation belonging to the Beydağları autochthon, which has carbonate rock lithology in the study area. Based on the ionic ratios of waters such as Ca/Mg, Ca/HCO<sub>3</sub>, Ca+Mg/HCO<sub>3</sub>, and graphical evaluations, it has been determined that the main factor controlling the groundwater chemistry in the study area is the water-rock interaction and the dissolution of calcite and dolomite is the dominant geochemical processes. The mineral stability diagram for the carbonate system shows that the waters in the study area are in equilibrium with Mg-calcite and that Mg-calcite is the main carbonate mineral in deep reservoirs. According to the hydrogeochemical conceptual model of water samples, precipitation waters falling on the carbonate rocks took some carbon dioxide from the atmosphere and formed carbonic acid. While this water was percolated underground, it dissolved Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, and HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> in the carbonate rocks in which it circulated, resulting in the occurrence of Ca-HCO<sub>3</sub> and Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> waters.

## Originality

In previous studies in the study area, there are no studies on the hydrogeochemical properties and hydrogeochemical processes of the waters in the Davraz Mountain carbonate aquifer. In this study, the hydrogeochemical properties and hydrogeochemical evolution of the waters associated with the carbonate rocks in Davraz Mountain were clarified and the hydrogeochemical conceptual model of the waters was defined depending on the tectonic and geological characteristics of the region.

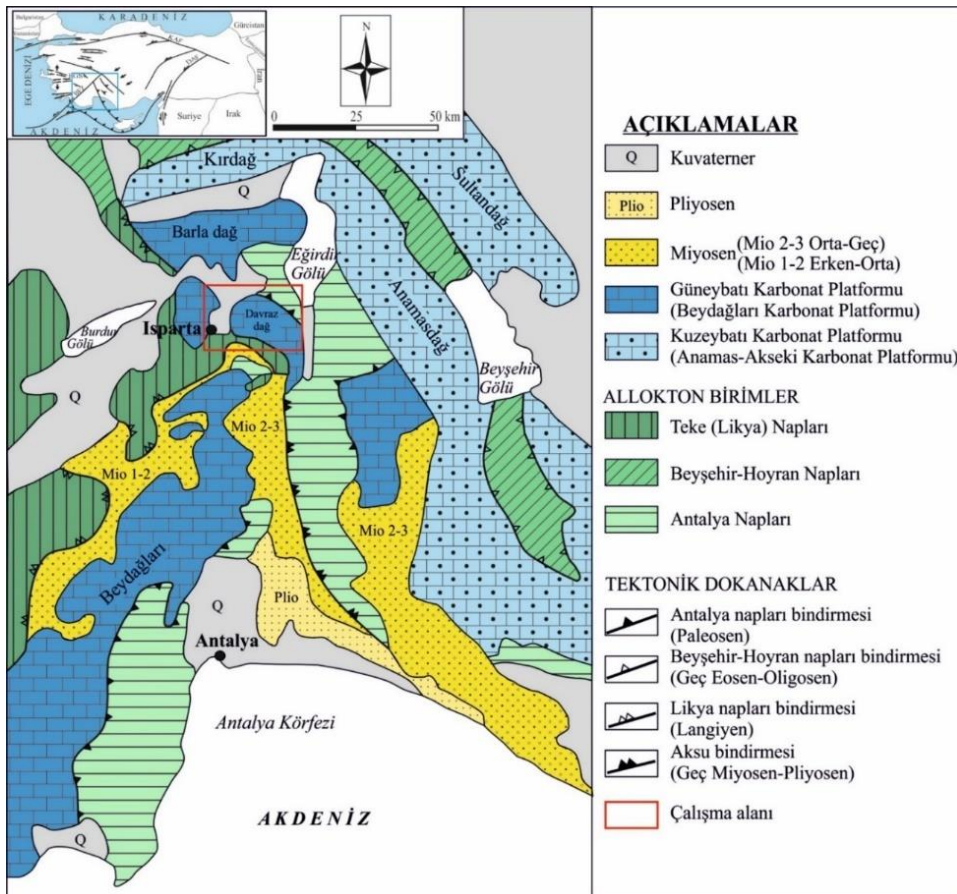
---

<sup>†</sup> Corresponding author: selmademer@sdu.edu.tr, +90-246-211-1329

## 1. Giriş (Introduction)

Karbonat akiferler, dünyada su temin edilen en önemli kaynaklardan biridir ve karstik akiferler birçok araştırmaya konu olmuştur (Moral vd., 2008; Leventeli, 2010; Bahir vd., 2021; Hoaghia vd., 2021; Benamina vd., 2022). Karstik akiferler, çözünebilir kayaçların kimyasal olarak bozunmasıyla oluşur. Kireçtaşı ve dolomit gibi karbonat kayaçlar en önemli karstik kayaçlardır. Karstlaşma, karbonatik konglomeralar, karbonatik metamorfik kayaçlar (mermer) ve evaporitik oluşumlar (jips veya anhidrit) gibi farklı kaya türlerinde de meydana gelebilir (Ford ve Williams, 2007; Goepfert vd., 2011; Skoglund ve Lauritzen, 2011; Gil-Márquez vd., 2019; Goldscheider vd., 2020). Karbonat kayaları söz konusu olduğunda, atmosferden ve/veya toprak bölgesinden gelen CO<sub>2</sub> karstlaşmada kilit bir rol oynar. Yeraltına süzülen yağmur suyu veya çözünmüş CO<sub>2</sub> içeren su, karbonat kayaçların çatlaklarında ve kırıklarında dolaşarak karstlaşmaya neden olur (Ford ve Williams, 2007; Goldscheider vd., 2020). Karst yeraltısuyunun fiziko-kimyasal özelliklerini yöneten birbiriyle ilişkili bir dizi süreç ve faktör vardır. Kalsit ve dolomit minerallerinin kayaçtaki oranları ve çözünme kinetikleri temel faktörlerden biridir. CO<sub>2</sub> kısmi basıncı (pCO<sub>2</sub>) çözünme dengesini belirleyen önemli bir faktördür (Plummer vd., 1978; Buhmann ve Dreybrodt, 1985). Karbonat kayaçların yaygın olduğu bölgelerde yeraltısuyunun hidrojeokimyası, su-kayaç etkileşimlerinin sürekli olarak meydana gelmesi ve karbonat minerallerinin nispeten hızlı çözünme ve çökeltme kinetiğine sahip olması nedeniyle dinamikdir (Back vd., 1966; Daniele vd., 2013). Karbonatlı kayaçlarda uzun mesafeler boyunca dolaşan yeraltısuyu hızla karbonat mineralleri ile dengeye ulaşır.

Alp-Himalaya dağ kuşağı üzerinde bulunan Türkiye'nin % 40'ı çözünmeye uygun karbonatlı ve evaporitik kayaçlardan meydana gelmektedir. Yeraltı karstlaşması dikkate alındığında ise bu oran % 60'ları bulmaktadır (Nazik ve Tuncer, 2010; Nazik ve Poyraz, 2017). Türkiye yüzey ve yeraltı karstlaşmasının morfojenetik ve morfometrik özelliklerine göre altı karst bölgesine ayrılmış olup (Nazik ve Poyraz, 2017) Isparta bölgesi Toros Dağları Karst Bölgesinde Batı Toroslar Karst alanı içinde yer almaktadır. Türkiye'nin güneyinde yaklaşık doğu-batı uzanımlı Toros kuşağı literatürde "Toros karbonat platformu", "Toros karbonat eksenini", "Toros kireçtaşı eksenini" gibi isimlerle de tanımlanmaktadır. Ayrıca Toroslar Türkiye'nin güncel buzulları ve Geç Kuvaterner buzullaşması ile ilgili çökeltilerin bulunduğu önemli alanları içerisinde bulundurmaktadır. İnceleme alanı, Batı Toroslarda ve Isparta Büklümü'nün batı kanadını oluşturan Beydağları karbonat ekseninin kuzeydoğu ucunda yer alan ve karbonatlı kayaçlardan oluşan Davraz Dağı civarını kapsamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı ve çevresinin bölgesel jeolojisini gösteren yerbulduru haritası (Poisson vd., 2003'ten yararlanarak) (Location map showing regional geology of the study area and surroundings (from Poisson et al., 2003))

Isparta Büklümü kuzey kesiminde Dedegöl Dağı 2992 metre yüksekliği ile bölgenin en yüksek dağıdır. Davraz Dağı 2635 metre yüksekliği ile diğer önemli bir yükseltiyi oluşturmaktadır. Bu iki dağın özelliği genelde yılın kış ve yaz dönemlerinin önemli bir bölümünde karların erimeden kalabilmesidir. Bu nedenle Davraz Dağı diğer karbonat kayaçlarının hakim olduğu bölgelerden yükselti farkı ve yıl içerisinde daha uzun süreli kar bulundurması özelliği ile ayrılır. Bu çalışma Davraz Dağındaki karbonatlı kayaçlarla ilişkili suların yeraltısuyu akış yolu boyunca hidrojeokimyasal özelliklerini ve hidrojeokimyasal evrimini araştırmayı ve bölgenin tektonik ve jeolojik özelliklerine bağlı olarak suların hidrojeolojik kavramsal modelini tanımlamayı amaçlamaktadır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

İnceleme alanını içine alan Batı Torosların jeolojik ve tektonik yapısı ile ilgili çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu araştırmalarda (Poisson vd., 1984; Şenel vd., 1996; Şenel, 1997; Poisson vd., 2003) bölgede otokton ve allokton konumlu kayaçların tanımlaması, tektonik özellikleri konularına açıklık getirilmiştir. Irlayıcı (1993), Karagüzel ve Irlayıcı (1998), Demir (2008) Isparta Ovası drenaj alanı içindeki kuyu ve kaynak sularının kalitesi, kirliliği ve kullanımı ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarda drenaj alanı içinde kireçtaşları ve alüvyonun hidrolojik olarak akifer özelliğine sahip olduğu ve Isparta Ovası akım yönünün kuzeydoğudaki Atabey ovasına doğru olduğunu ifade edilmiştir. Demir (2008 ve 2010) Isparta Ovası beslenme alanı içerisinde bulunan kuyu ve kaynaklardan alınan örneklerde iyon değişimi, karbonat ve silikat ayrışma süreçlerinin etkili olduğunu ve izotop verilerine göre atmosferik suları temsil ettiğini belirtmiştir. Leventeli (2010), karbonatlı kayaçlardan oluşan Tahtalı Dağı'nın (Antalya) karstik özelliğinden dolayı önemli yeraltısuyu kaynağı olduğunu, ancak buraya yapılacak kayak tesisi ile morfolojik yapının, hidrolojik dengenin bozulacağı, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kirleneceği, endemik bitki ve hayvan türlerinin zarar göreceğini belirtmiştir. Moral vd. (2008), İspanya'da Sierra de Segura karbonat akiferindeki yeraltısuyunun jeokimyasal gelişimini incelemiş ve hidrokimyasal evrimin su-kayaç etkileşiminin süresiyle belirlendiğini ifade etmiştir. Çalışmaya göre suların Ca-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> fasiyesinde olduğu ve CO<sub>2</sub>, kalsit ve dolomit çözünmesi nedeniyle, suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerini kazandığı sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde Benamina vd. (2022) Cezayir Sidi Kada Dağları'ndaki karstik akiferin hidrokinamik ve hidrokimyasal özelliklerini araştırmış ve bölgedeki yaygın dolomitlere bağlı olarak Mg-HCO<sub>3</sub> bileşiminde suların oluştuğunu belirtmiştir. Bu karstik akiferde suların gelişiminde beslenme ve su-kayaç etkileşimine ve antropojenik etkilere değinilmektedir. İnceleme alanında yapılan önceki çalışmalarda Davraz Dağı karbonat akiferindeki suların hidrojeokimyasal özellikleri ve hidrojeokimyasal prosesleri ile ilgili çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma ile Davraz Dağındaki karbonat kayaçlar ile ilişkili suların hidrojeokimyasal özelliklerine ve hidrojeokimyasal gelişimine açıklık getirilmiş ve bölgenin tektonik ve jeolojik özelliklerine bağlı olarak suların hidrojeokimyasal kavramsal modeli tanımlanmıştır.

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

Bu çalışmada Isparta ilinin D-GD'sunda yer alan Davraz Dağı karbonat akiferi ile ilişkili olan yeraltısuları incelenmiştir. Toplam 21 adet temsili su örneği alınmıştır. Örnek alınan lokasyonlar Şekil 2 ve 5'te görülmektedir. Sıcaklık (T: Termometre-Testo-95-1), hidrojen iyonu aktivitesi (pH metre-WTW pH 330i), elektriksel iletkenlik (EC: Elektriksel iletkenlik ölçer-WTW cond 330i) ve redoks potansiyeli (Eh-WTW pH 330i ORP elektrotlu) gibi yerinde ölçümler arazide taşınabilir aletlerle gerçekleştirilmiştir. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> konsantrasyonunu belirlemek için titrimetrik yöntem kullanılmıştır. Katyonların tayini için alınan örnekler 45 µm membran filtre ile süzülükten sonra HNO<sub>3</sub> ilave edilerek pH<2 olması sağlanmış, anyon analizleri için alınan örneklere ilave işlem yapılmamıştır. Örnekler polipropilen numune şişelerine alınarak etiketlenmiş ve buz paketleri içeren bir taşınabilir buz kutusu ile 4 °C'de laboratuvara nakledilmiştir. Örneklerin toplanması ve analizi sırasında standart yöntemler (APHA-AWWA-WEF, 2005) kullanılmıştır. Hidrojeokimyasal analizler Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Su-Kayaç ve Mineral Analiz Laboratuvarında yapılmıştır. Katyon (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) ve eser element (Li, Pb, Zn, Cu, Al, Fe, Mn, Sb, As, Ba, Cr, Ni, Sr, Si) ölçümleri için indüktif eşleştirilmiş plazma-optik emisyon spektrometresi (ICP-OES Perkin Elmer 2100 DV) ve anyon ölçümleri (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, F<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) için iyon kromatografisi (IC-Dionex ICS 3000) kullanılmıştır. Analiz sonuçları için herhangi bir doğruluk ve kesinlik deneyleri yapılmamış olmakla beraber, suların yük-denge oranları %5'in altında olduğu için sonuçlar kabul edilebilir sınırlar içindedir. Hidrojeokimyasal analiz sonuçları AquaChem v.3.7 yazılım paketi (Calmbach, 1999) kullanılarak değerlendirilmiştir. Mineraller ve su arasındaki kimyasal dengeyi belirlemek için çeşitli minerallerin doygunluk indisleri (SI) SOLMINEQ.88 (Kharaka vd., 1988) bilgisayar programı ile hesaplanmıştır.

## 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

### 4.1. Jeolojik Özellikler (Geological Properties)

Isparta Büklümü, Antalya körfezinin kuzeyinde, Batı Toros karbonat ekseninin ters V şeklinde bükülmesi ile meydana gelmiş, farklı stratigrafik kaya istiflenmelerine sahip bir bölgedir. Bölgede Mesozoyik yaşlı karbonat



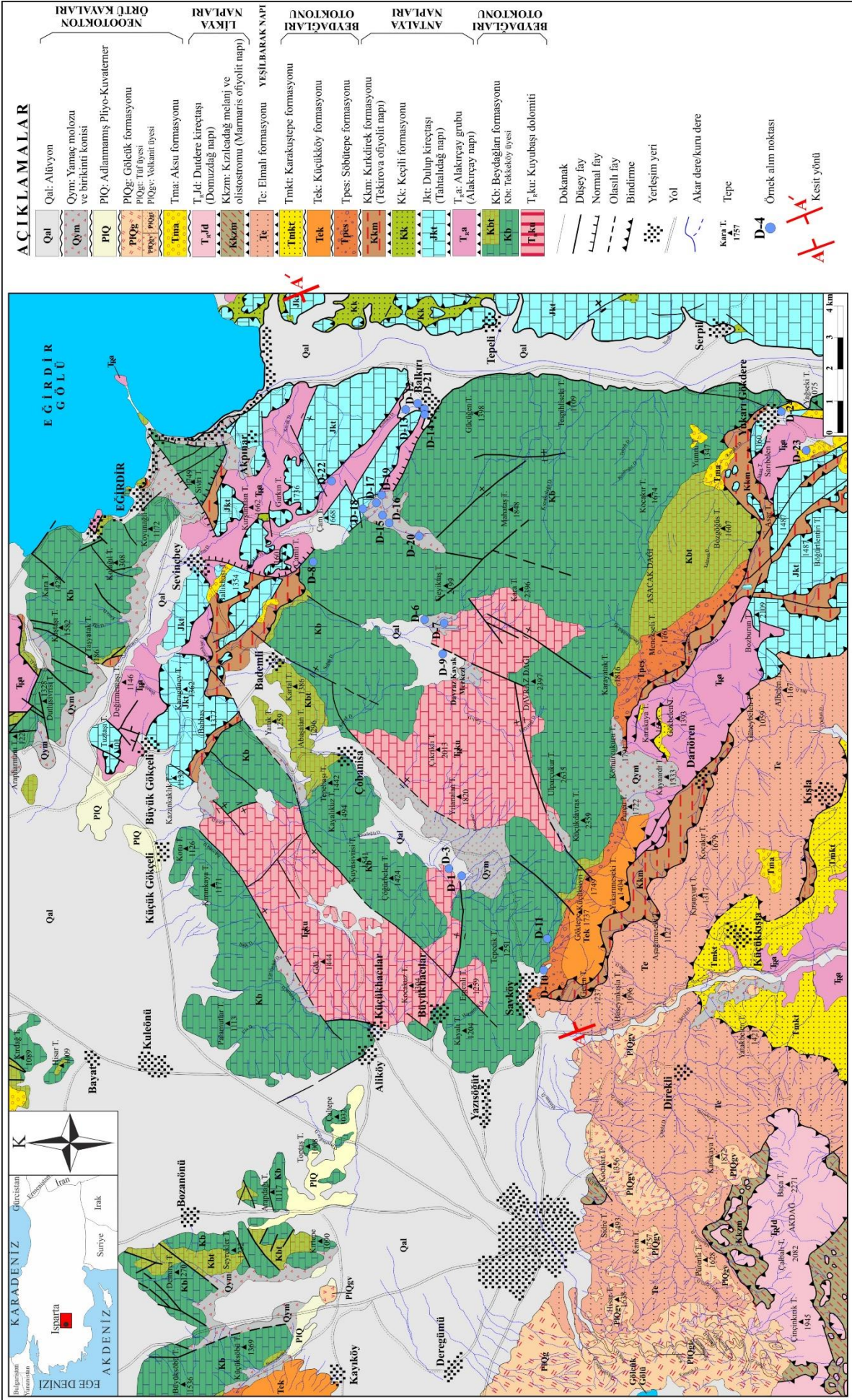
kayaçlar ve bunlara eşlik eden Tersiyer yaşlı tortul ve volkanik kaya birimleri genellikle otokton birimleri meydana getirir. Ofiyolitler ve bunlara eşlik eden pelajik kaya toplulukları ise allokton birimlerdir (Şekil 1). Isparta Büklümünün doğu kanadında Anamas-Akseki otokton karbonat platformu ve bunu tektonik olarak üzerleyen Beyşehir-Hoyran ofiyolitik napları yer alırken, Isparta Büklümünün batı kanadında otokton Beydağları karbonatları ile bunu üstleyen Antalya napları ve Likya napları bulunmaktadır (Şenel, 1984; Robertson ve Woodcock, 1984; Abubakar ve Yağmurlu, 2017). Tüm birimler üzerinde ise neotokton örtü birimleri yer alır (Şenel, 1997; Şekil 1-2).

Batı Torosların otokton kaya birimlerini oluşturan Beydağları otoktonu çalışma alanında Kuyubaşı dolomiti, Beydağları formasyonu, Söbütepe formasyonu, Küçükköy formasyonu ve Karakuştepe formasyonu ile temsil edilir (Şenel, 1997; Şekil 2). Orta-Üst Triyas yaşlı Kuyubaşı dolomiti (TRku) dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından, Üst Kampaniyen-Maastrihtiyen (Üst Kretase) yaşlı Beydağları formasyonu (Kb) neritik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Beydağları formasyonunda sık erime boşlukları olup, karstlaşma yaygındır. Beydağları formasyonunun üst kesiminde yer alan Tekkeköy üyesi (Kbt), yerel olarak çört yumrulu ve kalkarenit ara düzeyli mikritlerden oluşur. Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Söbütepe formasyonu (Tpes), kireçtaşı, killi kumlu kireçtaşı, marn, kiltası, siltaşı, kumtaşı vb. oluşur. Marn, kiltası, kireçtaşı ve killi kireçtaşlarından oluşan Küçükköy formasyonunun (Tek) yaşlı Üst Lütesiyen-Priaboniyen (Eosen) olarak belirlenmiştir. Burdigaliyen (Miyosen) yaşlı Karakuştepe formasyonu (Tmkt), kumtaşı, kiltası ve siltaşı ardalanmasından oluşur (Şenel, 1997).

Antalya napları, Beydağları otoktonu üzerine Geç Kretase-Erken Paleosen zaman aralığı içinde, daha çok K-G yönlü daralmaya bağlı olarak yerleşmiştir. Bu nap sistemi, bölgenin tektonik gelişimine bağlı olarak Isparta büklümü kesiminde karmaşık bir yapı kazanmıştır. Antalya napları Şenel vd. (1996) tarafından alttan üste doğru (i) Çataltepe napı, (ii) Alakırçay napı, (iii) Tahtalıdağ napı ve (iv) Tekirova ofiyolitik napı olarak bölümlendirilmiştir. Bu allokton kütleler Üst Senoniyen yaşlı ofiyolit kırıntılı olistostromlarla (Keçili formasyonu) sonlanmaktadır. Keçili formasyonu (Kk), ofiyolit ve diğer allokton kütlelerin bloklarını içermekte ve ince-orta tabakalı marn, kiltası, siltaşı, killi-kumlu kireçtaşı, mikrit, konglomera, kumtaşı ve çeşitli olistolitlerden oluşmaktadır (Şenel, 1997). Çalışma alanında Alakırçay napı, Tahtalıdağ napı ve Tekirova ofiyolitik napına ait birimler gözlenmektedir (Şekil 2). Orta-Üst Triyas yaşlı Alakırçay napı (Alakırçay grubu-TRa), yanal ve düşey yönde birbirleriyle geçişli halobial mikrit, çörtlü mikrit, radyolarit, çört şeyl, bitkili kumtaşı, yastık yapılı bazalt, spilit, silisleşmiş bazalt vb. kaya türlerinden oluşur. Aşırı kıvrımlanma ve faylanma nedeniyle çok fazla karışmış ve kaotik bir yapı kazanmıştır. Yapısal olarak Alakırçay napı üzerinde bulunan Tahtalıdağ napı (Dulup kireçtaşı-Jkt) genelde Kambriyen-Üst Kretase yaşlı dolomit, dolomitik kireçtaşları ve neritik kireçtaşlarıdır (Şenel, 1997). Tekirova ofiyolit napı, mafik ve ultramafik kayaçlar ile ofiyolit ve ofiyolitli melanjdardan oluşmaktadır. Çalışma alanında ofiyolit melanj olan Kırkdirek formasyonu (Kkm) ile temsil edilir. Yerleşim yaşlı Üst Senoniyen olan Kırkdirek formasyonu, serpantin hamur içinde değişik boyutta kireçtaşı, bitkili kumtaşı, şeyl, tabakalı çört, radyolarit, bazik volkanit, gabro, diyabaz vb. bloklar içermektedir (Şenel, 1997).

Alt Langiyen'de Beydağları otoktonu üzerine yerleşen Likya napları (i) Tavas napı, (ii) Bodrum napı, (iii) Domuzdağ napı, (iv) Gülbahar napı ve (v) Marmaris ofiyolit napı olmak üzere 5 ana tektonik birliğe ayrılmıştır. Ayrıca Beydağları otoktonu ile Likya napları arasında yanal yönlerde süreklilik gösteren Yeşilbarak napı gözlenmektedir. Çalışma alanında Marmaris ofiyolit napı Kızılcaadağ melanj ve olistostromu, Domuzdağ napı ise Dutdere kireçtaşı ile temsil edilir (Şenel, 1997; Şekil 2). Yeşilbarak napı çalışma alanında, Eosen yaşlı kumtaşı ve şeyllerden oluşan Elmalı formasyonu (Te) ile temsil edilmektedir. Birimin alt ve üst ilişkisi tektonik olup, aşırı deformasyonla makaslanmış, kendi içinde kıvrımlı, kırıklı bir yapı kazanmıştır. Marmaris ofiyolit napının Kızılcaadağ melanj ve olistostromundaki melanj kesimi (Kkzm), serpantin bir hamur içinde radyolarit, çört, kireçtaşı, bazalt, spilit, tuf, tüfit, gabro, diyabaz, harzburjit, dünit gibi bloklar içerir. Olistostrom kesimi, kaotik bir yapı gösterir ve konglomera, kumtaşı, kiltası ve siltaşı matrikslidir ve değişik türde ofiyolit kökenli olistolitler ile değişik yaşta karbonat, çörtlü kireçtaşı, volkanit, radyolarit, çört vb. olistolitler kapsamaktadır. Senoniyen döneminde oluşan birim, Eosen sonu Alt Langiyen sürüklenimi sırasında tekrar güneye aktarılmıştır. Rekrystalize kireçtaşlarından oluşan Domuzdağ napı (Dutdere kireçtaşı-TRjd), Orta Triyas-Liyas yaşlıdır (Şenel, 1997).

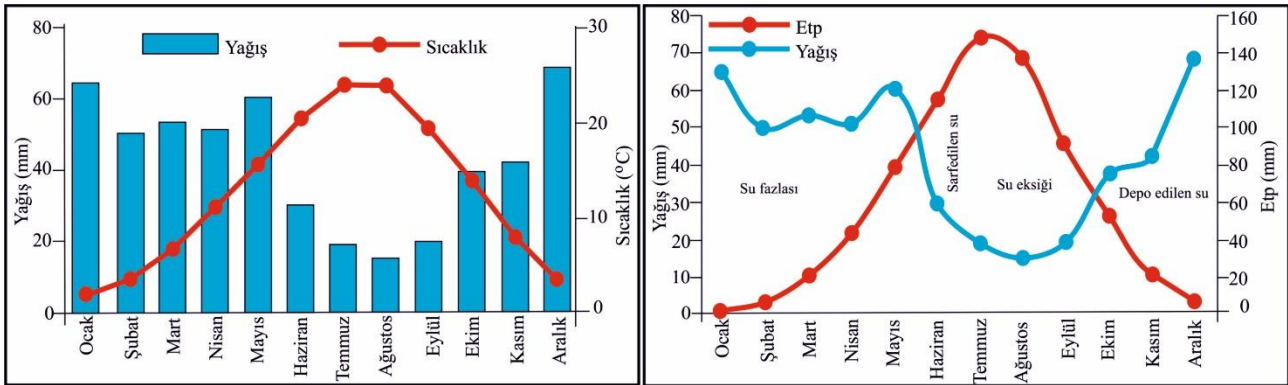
Aksu formasyonu, Gölcük formasyonu, adlanmamış Pliyo-Kuvaterner ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozu bölgenin neotokton örtü birimleridir (Şekil 2). Konglomeralardan oluşan Aksu formasyonu (Tma) Serravaliyen (Tortoniyen?) yaşlıdır. Yer yer kumtaşı, kiltası, siltaşı ve marn seviyeleri de gözlenen birim, çalışma alanında çok az yüzeyleme vermektedir. Pliyo-Kuvaterner yaşlı Gölcük formasyonu (PIQg), (i) kalın tuf düzeylerinden oluşan Tuf üyesi (PIQt) ve (ii) andezitik ve trakiandezitik lav akıntılarında oluşan Volkanit üyesi (PIQv) olmak üzere iki üyeden oluşmaktadır. Adlanmamış Pliyo-Kuvaterner (PIQ), gevşek tutturulmuş konglomera, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşur. Genel olarak düzlük alanlarda ve dere yataklarında yüzeylenen alüvyon (Qal) gevşek tutturulmuş kil, silt, kum, çakıl ve blokta oluşan güncel çökellerdir. Yamaç molozu (Qym) ise dağ yamaç ve eteklerinde bulunur ve çoğunlukla gevşek çakıl ve bloklardan oluşmaktadır (Şenel, 1997).



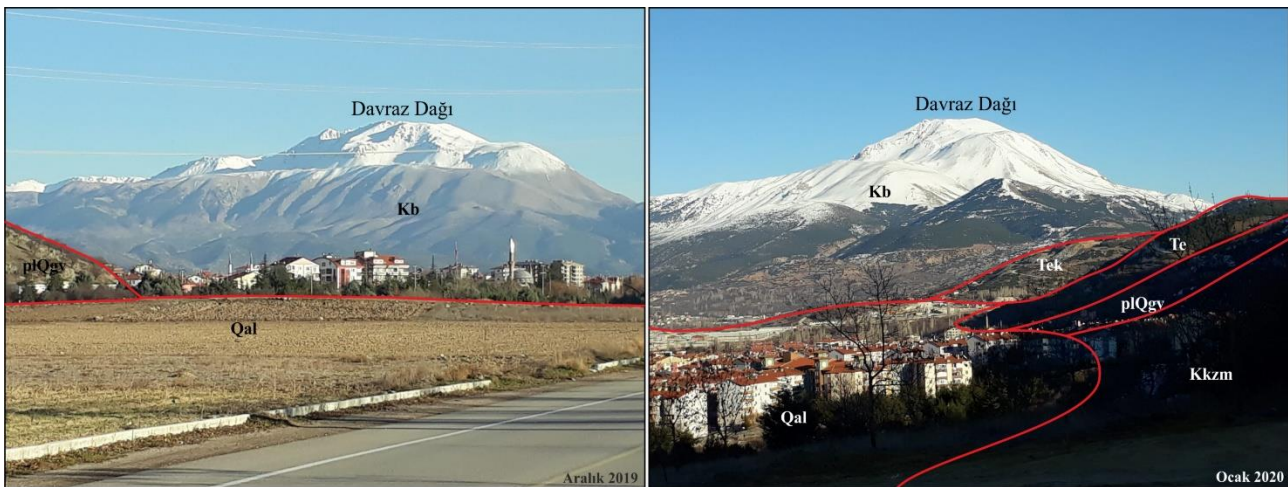
Şekil 2. Çalışma alanının jeolojî haritası (Şenel, 1997) den yararlanılmıştır (Geological map of the study area (from Şenel, 1997))

#### 4.2. Hidrolojik Parametreler ve Hidrojeolojik Özellikler (Hydrological Parameters and Hydrogeological Properties)

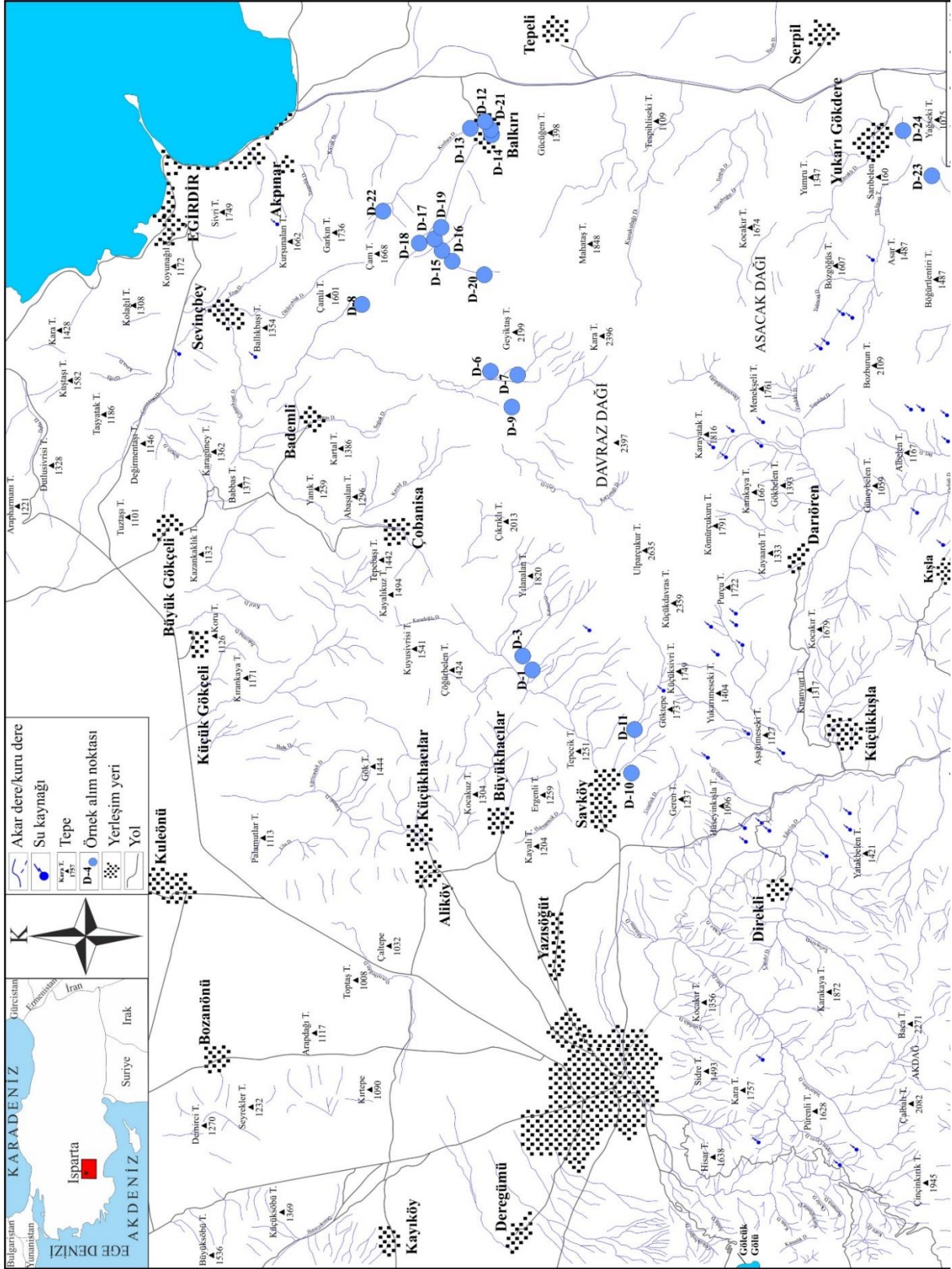
Çalışma alanı Akdeniz iklimi ile Orta Anadolu karasal iklimi arasında geçiş bölgesinde yer alması nedeniyle, bölgede her iki iklimin özellikleri gözlenir. Yılın en soğuk ayları Ocak-Şubat, en sıcak ayları ise Temmuz ve Ağustos'tur. Yağışlar genellikle yağmur, kış aylarında ise zaman zaman kar, bahar ve yaz aylarında ise sağanak yağışlar şeklinde gözlenir. Isparta-Merkez Devlet Meteoroloji İstasyonu 1990-2020 ölçüm periyoduna göre aylık sıcaklık ve yağış değerleri grafiği Şekil 3'te görülmektedir. Bu verilere göre yıllık ortalama sıcaklık 12,5 °C, yıllık toplam yağış miktarı 511,70 mm, yıllık potansiyel buharlaşma 725,40 mm, yıllık gerçek buharlaşma 383,26 mm olarak belirlenmiştir. Yağışın fazla olduğu aylarda 145,81 mm su fazlası, diğer aylarda ise 342,16 mm su eksikliği olduğu belirtilmektedir (Dursun ve Yazıcı, 2022; Şekil 3). Davraz Dağı çalışma alanının en yüksek dağı olup, bölgede kar yağışı genel olarak Aralık ayında başlamakta, Nisan-Mayıs aylarına kadar devam etmektedir. Kış ayları boyunca kar ile kaplı olması (Şekil 4) nedeniyle Davraz Dağı kış mevsiminde yoğun ilgi görmektedir. Yaklaşık 2200 m kodunda bulunan Isparta-Davraz Meteoroloji İstasyonunun 2017-2022 ölçüm periyoduna göre ortalama sıcaklık 7,3 °C, toplam yağış miktarı 581,28 mm'dir. 1000 m kotundaki Isparta-Merkez Meteoroloji İstasyonunun verilerine göre sıcaklık verileri düşük, yağış verileri ise yüksektir. Davraz Meteoroloji İstasyonu verilerine göre Ocak-Nisan aylarında ortalama karla örtülü gün sayısı 27 gün, ortalama kar yüksekliği 85 cm, en fazla kar yüksekliği 2022 Mart ayında 201,4 cm olarak kaydedilmiştir. Kar örtüsünün uzun süre yerde kalması için sıcaklığın 0 °C altında olması gerekir. Meteorolojik verilere göre yaklaşık 2 ay sıcaklık değerleri 0 °C'nin altındadır. Çalışma alanında Isparta-Antalya karayolu boyunca uzanan Isparta Çayı en büyük yüzeysel akışa sahip olan deredir. Doğu kesimde ise Eğirdir ve Kovada Gölü arasında uzanan Kovada kanalı önemli akışa sahiptir. Bölgedeki diğer dereler çoğunlukla yağışlarla akışa geçen mevsimsel derelerdir (Şekil 5).



**Şekil 3.** Isparta Meteoroloji İstasyonuna ait 1990-2020 yılları arası meteorolojik veriler (a) yağış-sıcaklık ve (b) yağış-potansiyel buharlaşma (Etp) aylık değişim grafiği (Dursun ve Yazıcı, 2022). (Meteorological data of Isparta Meteorology Station between 1990-2020 (a) precipitation-temperature and (b) precipitation-potential evaporation (Etp) monthly variation graph (Dursun and Yazıcı, 2022).)



**Şekil 4.** Davraz Dağı'ndan (Isparta) görünüm (a) Kuzeybatıdan bakış, (b) Güneybatıdan bakış (Kb: Beydağları formasyonu, Tek: Küçükköy formasyonu, Te: Elmalı formasyonu, Kkzm: Kızılcadağ melanj ve olistostromu, plQgv: Gölcük formasyonu volkanit üyesi, Qal: Alüvyon) (Views of Davraz Mountain (Isparta) (a) View from the northwest, (b) View from the southwest (Kb: Beydağları formation, Tek: Küçükköy formation, Te: Elmalı formation, Kkzm: Kızılcadağ melange and olistostrome, plQgv: Gölcük formation volcanicite member, Qal: Alluvium))



Şekil 5. Çalışma alanı civarına ait drenaj ağı haritası ve örnek lokasyonları (Drainage network map and sample locations of the study area and surrounding)

Çalışma alanında bulunan jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilmiş ve akifer olabileceği özelliklerine göre akifer, akitart, akifüj ortamlar olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 1). Çalışma alanında bulunan alüvyon, yamaç molozu birimleri gözenekli ve gevşek yapısından dolayı "geçirimsiz birim-taneli ortam akiferi" olarak adlandırılmıştır. Bu birimler içerdikleri çakıl, kum, kil, silt gibi tutturulmamış ve kırıntılı malzemeler arasındaki gözeneklerde önemli miktarlarda yeraltısuyu bulundurmaktadır. Isparta ovası içinde açılan sondaj kuyularında bu seviyelerden yeraltısuyu alınmaktadır. Kireçtaşı, dolomit ve dolomitik kireçtaşı gibi karbonat kayalar içeren Kuyubaşı dolomiti, Beydağları formasyonu ve Tekkeköy üyesi, Dulup kireçtaşı ve Dutsdere kireçtaşı "geçirimsiz birim-erimli çatlaklı karstik akifer" olarak sınıflandırılmıştır. Bu karbonat kayalar sahip olduğu kırıklı

çatlaklı yapısı ile karstik özellik göstermektedir ve hidrojeolojik olarak çalışma alanında önemli akifer olarak değerlendirilir. Beydağları formasyonu ve Kuyubaşı dolomiti çalışma alanında geniş bir alanı kaplar (Şekil 2) ve uygun hidrojeolojik koşullara yol açar. Kıvrımlar ve faylar, karstik sistemlerin yeraltı drenajı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve besleme ve deşarj alanları arasındaki dinamik akış sisteminin önemli bir bölümünü oluşturur (Goldscheider, 2005; Petalas, 2017). Çalışma alanı içinde, faylar ve kırık-çatlak sistemleri bulunmaktadır. Aksu formasyonu, Gölcük formasyonu ve Alakırçay grubu “yarı geçirimli birim-akitart ortam” olarak sınıflandırılmıştır. Aksu formasyonu, genel olarak konglomeralardan oluşmasına rağmen yer yer yeraltısuyunun hareketini kısıtlayabilecek kumtaşı, kıltaşı, siltaşı ve marn seviyeleri içermektedir. Bu nedenle iletkenliği düşük olabilmektedir (Şener ve Şener, 2016). Gölcük formasyonuna ait andezit ve trakiandezitler kırıklı çatlaklı olduğunda ve geniş alanlar kapladığı durumlarda yeraltısuyu bulundurabilir. Tüfler ise içerdiği pomza seviyelerine bağlı olarak az miktarda su bulundurduğu için “akitart ortam” olarak değerlendirilirken (Karagüzel ve İrlayıcı, 1998), Alakırçay grubu tektonik hareketlere bağlı olarak gelişen kıvrım ve faylar nedeniyle “akitart ortam” özelliği göstermektedir. Genel olarak filiş karakterinde gözlenen Söbütepe, Küçükköy, Karakuştepe, Elmalı ve Keçili formasyonları bünyelerinde bulundukları kıltaşı, siltaşı ve marn seviyelerinin akifer olabilmeye potansiyellerinin bulunmaması nedeniyle “geçirimsiz birim-akifüj ortam” olarak sınıflandırılmıştır. Benzer şekilde serpantin, gabro, diyabaz, çört, radyolarit ve kireçtaşı bloklarının kuvvetli tektonizma ile karışması sonucu oluşan Kırkdirek formasyonu ve Kızılcaadağ melanj ve olistostromu da “akifüj ortam” olarak ayrılmıştır. Mikrit, killi-kumlu mikrit ara seviyeli kumtaşı, kıltaşı, siltaşı ve konglomeralardan oluşan Keçili formasyonu içerisindeki kıltaşı seviyeleri bu birimlerin akifer olma özelliğini kısıtlamaktadır. Bu tip litolojiler geçirimsizlikleri çok düşük olduğundan su bulundurmazlar ve hidrojeolojik olarak geçirimsiz özellik gösterirler.

**Tablo 1.** Çalışma alanındaki jeolojik birimler ve hidrojeolojik özellikleri  
(Geological units and hydrogeological properties of the study area)

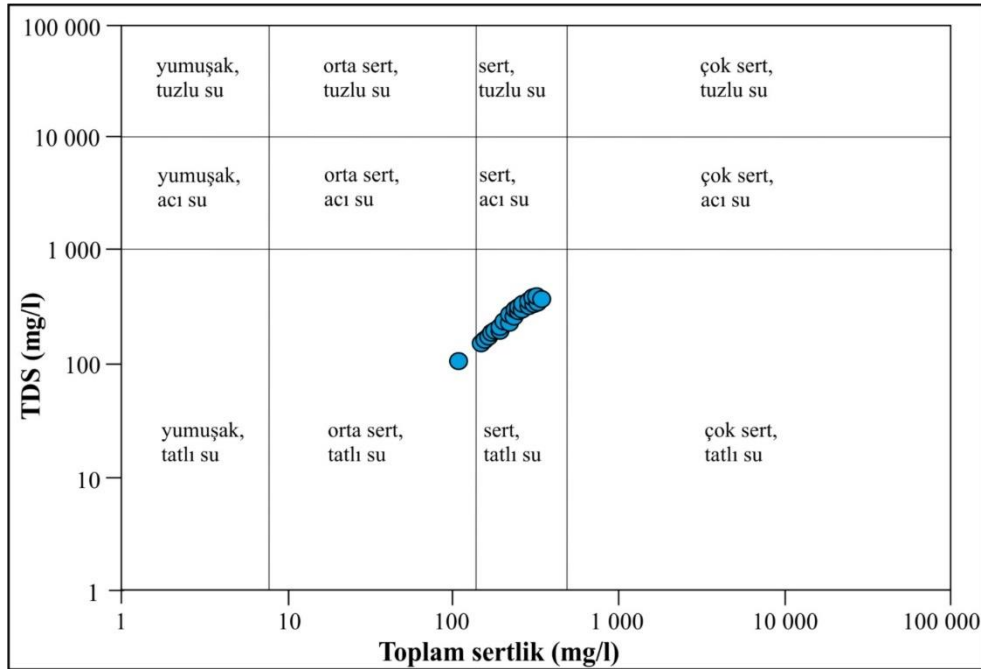
	Formasyon	Litoloji	Hidrojeolojik özellikleri
Neotokton örtü kayaları	Alüvyon (Qal)	Kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutunda malzeme	Geçirimli (taneli akifer)
	Yamaç molozu (Qym)	Gevşek çakıl ve blok boyutunda malzeme	Geçirimli (taneli akifer)
	Adlanmamış Pliyo-Kuvaterner (PIQ)	Gevşek tutturulmuş konglomera, kumtaşı ve çamurtaşları	Geçirimli (taneli akifer)
	Gölcük formasyonu (PIQg) Volkanit üyesi (PIQgv) Tüf üyesi (PIQgt)	Andezitik ve trakiandezitik lav akıntıları ile kalın tüf düzeyleri	Yarı geçirimli (akitart)
	Aksu formasyonu (Tma)	Konglomera, yer yer kumtaşı, kıltaşı, siltaşı ve marn seviyeleri	Yarı geçirimli (akitart)
	Dutdere kireçtaşı (TRId)	Rekristalize kireçtaşı	Geçirimli (karstik akifer)
Likya napları	Kızılcaadağ melanj ve olistostromu (Kkzm)	Melanj kesimi, serpantin bir hamur içinde radyolarit, çört, kireçtaşı, bazalt, split, tüf, tüfit, gabro, diyabaz, harzburjit, dünit olistostrom kesimi, karbonat, çörtlü kireçtaşı, volkanit, radyolarit, çört vb.	Geçirimsiz (akifüj)
	Elmalı formasyonu (Te)	Kumtaşı ve şeyl	Geçirimsiz (akifüj)
Beydağları otoktonu	Karakuştepe formasyonu (Tmkt)	Kumtaşı, kıltaşı ve siltaşı	Geçirimsiz (akifüj)
	Küçükköy formasyonu (Tek)	Marn, kıltaşı, kireçtaşı ve killi kireçtaşları	Geçirimsiz (akifüj)
	Söbütepe formasyonu (Tpes)	Kıltaşı, siltaşı, kumtaşı, kireçtaşı	Geçirimsiz (akifüj)
Antalya napları	Kırkdirek formasyonu (Kkm)	Serpantin hamur içinde değişik boyutta kireçtaşı, bitkili kumtaşı, şeyl, tabakalı çört, radyolarit, bazik volkanit, gabro, diyabaz vb. bloklar	Geçirimsiz (akifüj)
	Keçili formasyonu (Kk)	Marn, kıltaşı, siltaşı, killi-kumlu kireçtaşı, mikrit, konglomera, kumtaşı ve çeşitli olistolitler	Geçirimsiz (akifüj)
	Dulup kireçtaşı (Jkt)	Dolomit, dolomitik kireçtaşları ve neritik kireçtaşları	Geçirimli (karstik akifer)
	Alakırçay grubu (TRa)	Mikrit, çörtlü mikrit, radyolarit, çört şeyl, bitkili kumtaşı, yastık yapılı bazalt, split, silisleşmiş bazalt vb. kaya türleri	Yarı geçirimli (akitart)
Beydağları otoktonu	Beydağları formasyonu (Kb) Tekkeköy üyesi (Kbt)	Neritik kireçtaşları	Geçirimli (karstik akifer)
	Kuyubaşı dolomiti (TRku)	Dolomit	Geçirimli (karstik akifer)

Davraz Dağı'nın büyük bir bölümünde kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşları yüzeylemektedir. Bu bölgede yağış, yeraltısularının ana beslenme kaynağıdır. Isparta Ovası'nda yeraltısuyunun alındığı seviye genel olarak tutturulmamış kil, silt, kum, çakıl ve tüflerin oluşturduğu kırıntılı malzemelerden oluşan birim içindedir (Şekil 2). Isparta ovasının doğu kesimlerinde yüzeyleyen kireçtaşlarının yakınında açılmış kuyularda (Aliköy, Küçükhaçlar, Büyükhaçlar civarı) 70 m civarında kireçtaşları kesilmiş olup yeraltısuyu kireçtaşlarından alınmaktadır (İrlayıcı, 1993; Karagüzel ve İrlayıcı, 1998; Demer ve Hepdeniz, 2018).

### 4.3. Hidrojeokimyasal Özellikler (Hydrogeochemical Properties)

Akiferin mineralojik ve kimyasal özellikleri, suyun yeraltında kalış süresi ve sıcaklık, karbonat çözünme süreçlerinin ve yeraltısuyu kimyasal bileşiminin anlaşılması için temel faktörlerdir (Moral vd., 2008; Gao vd., 2020). Çalışma alanındaki suların hidrojeokimyasal analizleri Tablo 2'de, tanımlayıcı istatistiksel analizleri Tablo 3'te görülmektedir. Su sıcaklıkları 7,30-14,60 °C arasında değişmektedir. Bölgede sular düşük mineralizasyon

değerleri (TDS: 106 ile 380 mg/l arasında) sunmaktadır. Dolayısıyla bu sulara 176-633  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişen EC değerleri ölçülmüştür. Suların pH değeri ise 7,11 ile 8,19 arasında (ortalama 7,57) değişmekte olup nötr ile zayıf alkali koşulları gösterir. Bu durum çözülmüş karbonatın egemen olarak  $\text{HCO}_3^-$  formunda olduğunu ve bölgedeki kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarının çözünmesinin önemini gösterir. Çalışma alanında sulara  $\text{Ca}^{2+}$  konsantrasyonu 35,21-105,10 mg/l arasında değişmektedir (ortalama 67,49 mg/l). Sulara  $\text{Ca}^{2+}$  miktarı kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit, fluorit, plajiyoklas (anortit), piroksen (diyopsit), amfibol ve feldspat çeşitlerindeki kalsiyumun çözünmesinden kaynaklanabilir (Hounslow, 1995). Sulara ikinci egemen katyon olan  $\text{Mg}^{2+}$  konsantrasyonu ortalama 9,97 mg/l olup 2,80-19,33 mg/l arasında değişmektedir. Doğal sulara Mg kaynağı sedimanter kayalarda dolomitten yada magmatik ve metamorfik kayalar içinde bulunan ferromagnezyen minerallerden (olivin, diyopsit, biyotit, hornblend) gelmektedir (Hounslow, 1995). Sulara sodyum Na-plajiyoklasın ayrışması ya da ters iyon değişimine bağlıdır (Meybeck, 1987; Zhang vd., 2020). Çalışma alanında sulara  $\text{Na}^+$  düşük konsantrasyondadır ( $\text{Na}^+$ : 0,37-3,87 mg/l; ortalama 1,37 mg/l). Benzer şekilde sular 0,02-1,74 mg/l arasında değişen düşük  $\text{K}^+$  içeriğine sahiptir. Tarım alanlarına uygulanan gübreler, ilaçlar vs. nitrat, sülfat ve potasyum gibi parametrelerde artışa neden olabilir (Dar vd., 2015). Çalışma alanındaki sulara  $\text{SO}_4^{2-}$  değerleri 1,63-21,90 mg/l (ortalama 5,75 mg/l) dir. D-22 örnek noktasında ölçülen yüksek  $\text{SO}_4^{2-}$  (99,84 mg/l) değeri yakınında bulunan meyve bahçelerinde kullanılan tarım ilaçları ile ilişkili olabilir. D-14 nolu su örneği ise köy meydanında bulunan keson kuyuya ait olup, bu kuyudan 2 l/s ile su alınmaktadır ( $\text{SO}_4^{2-}$ : 21,90 mg/l;  $\text{NO}_3^-$ : 25,32 mg/l). Buradaki kısmen yüksek  $\text{SO}_4^{2-}$  ve  $\text{NO}_3^-$ 'in evsel ve tarımsal faaliyetlerle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Klorür ( $\text{Cl}^-$ ), yeraltısularına deniz suyundan, evaporitlerden, yağmur ve kar sularından katılmaktadır. Yağmur suyunda klor miktarı 1-10 mg/l arasında iken deniz suyunda 20.000 mg/l düzeyine ulaşmaktadır. Yeraltısularında ise bu değer 200 mg/l'yi geçmez (Hounslow, 1995).  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonu 0,79-9,19 mg/l arasında (ortalama 2,77 mg/l) değişmekte iken,  $\text{HCO}_3^-$  konsantrasyonu 115,90-427,00 mg/l arasında (ortalama 250,97 mg/l) değişmektedir. Karbonat ve silikat ayrışması yeraltısuyunda  $\text{HCO}_3^-$  konsantrasyonlarını artırabilir (Nasher ve Ahmed, 2021). Toplam sertlik (TH), 126 mg/l  $\text{CaCO}_3$  ile 468 mg/l  $\text{CaCO}_3$  arasında (ortalama 255,43 mg/l) değişmektedir. TH değerine göre sular sert sular sınıfında, toplam çözülmüş madde (TDS) içeriğine göre tatlı su sınıfındadır. Sadece bir örnek (D-11) düşük TDS miktarı nedeniyle orta sertlikte ve tatlı su sınıfında yer almaktadır (Şekil 6). Çalışma alanındaki tüm sulara eser element konsantrasyonları (Li, Pb, Zn, Cu, Al, Fe, Mn, Sb, As, Ba, Cr ve Ni) analitik tekniğin ölçüm sınırları altında (<0,01 mg/l) olup analiz tablosunda gösterilmemiştir.



Şekil 6. TDS ve TH'ye göre yeraltısuyu sınıflaması (Mthembu vd., 2020'den yararlanarak)  
(Classification of groundwater based on TDS and TH (from Mthembu et al., 2020))

Tablo 2. Çalışma alanındaki suların hidrojeokimyasal analiz sonuçları (Hydrogeochemical analysis results of waters in the study area)

Örnek	T (°C)	pH	Eh (mV)	EC (µS/cm)	TDS (mg/l)	TH (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	Sr (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	F <sup>-</sup> (mg/l)	logpCO <sub>2</sub> (atm)	İyon dengesi (%)
D-1	10,0	8,19	193	313	188	180	2,97	0,40	8,84	54,35	15,89	0,11	26,07	207,4	1,25	3,58	0,02	-2,93	-4,7
D-3	11,7	8,18	202	347	208	216	1,14	0,48	11,71	55,49	12,75	0,08	33,63	213,5	1,15	2,99	0,02	-2,91	-4,3
D-6	9,8	7,86	237	381	229	234	1,58	0,57	7,76	67,91	11,23	0,10	1,94	268,4	0,79	1,78	0,01	-2,48	-4,4
D-7	7,3	7,81	261	363	218	234	1,05	0,17	16,05	52,98	5,78	0,07	9,61	256,2	0,97	1,63	0,01	-2,46	-4,7
D-8	9,0	8,14	235	395	237	270	0,93	0,16	11,24	67,58	15,51	0,10	5,87	274,5	0,86	2,39	0,01	-2,76	-3,6
D-9	8,8	8,15	250	314	188	180	1,67	0,50	10,59	50,97	9,11	0,15	15,90	213,5	1,84	2,65	0,02	-2,88	-4,9
D-10	11,8	7,97	234	423	254	270	1,71	0,27	11,86	69,19	14,05	0,33	12,01	280,6	2,11	3,48	0,01	-2,58	-4,3
D-11	9,1	8,02	267	176	106	126	0,87	0,13	4,96	35,21	3,23	0,04	4,90	115,9	1,05	1,98	0,01	-3,00	3,7
D-12	12,5	7,86	211	309	185	216	0,51	1,74	12,66	48,37	3,68	0,09	2,46	195,2	2,53	6,16	0,07	-2,62	1,2
D-13	11,8	7,48	237	314	188	198	0,53	0,32	12,29	46,52	3,72	0,09	2,31	183,0	2,45	6,44	0,08	-2,26	1,8
D-14	12,0	7,36	272	590	354	360	3,87	1,68	10,35	91,21	10,99	0,28	25,32	305,0	9,19	21,9	0,10	-1,93	-4,3
D-15	12,3	7,37	276	494	296	270	1,25	0,58	9,48	81,93	10,08	0,28	7,38	305,0	3,83	8,45	0,11	-1,94	-4,5
D-16	11,4	7,36	274	494	296	288	1,05	0,71	7,19	85,73	10,87	0,22	17,54	292,8	5,28	6,19	0,04	-1,95	-4,1
D-17	11,6	7,45	287	432	259	306	0,95	0,60	8,76	78,79	9,59	0,22	7,03	292,8	3,08	6,57	0,08	-2,04	-4,3
D-18	10,1	7,84	281	263	158	180	1,35	0,54	5,07	53,87	6,53	0,15	6,79	158,6	1,53	7,12	0,08	-2,69	-4,5
D-19	12,1	7,24	285	633	380	468	1,46	0,33	16,22	105,10	23,81	0,36	4,43	427,0	4,44	7,04	0,12	-1,67	-4,9
D-20	9,3	7,50	244	311	187	216	<0,01	0,02	2,80	63,36	7,22	0,09	0,60	201,3	2,10	2,49	0,08	-2,24	-0,4
D-21	13,4	7,11	288	566	340	378	1,92	0,54	7,37	102,67	17,67	0,19	2,82	353,8	6,86	17,01	0,28	-1,61	-4,7
D-22	9,2	7,34	296	597	358	378	1,05	0,61	19,33	92,87	4,42	0,62	0,76	292,8	2,24	99,84	0,27	-1,93	-5,0
D-23	11,9	7,38	210	268	161	162	0,37	0,16	5,92	50,97	9,88	0,08	2,41	189,1	2,15	1,93	0,04	-2,15	-3,4
D-24	14,6	7,49	228	335	201	234	1,16	0,23	8,88	62,14	8,58	0,10	2,16	244,0	2,54	3,27	0,05	-2,15	-3,6

Varyasyon katsayısı (CV), örneklerin dağılım değişim derecelerini yansıtır ve örneklerin standart sapma değerinin (SD) ortalama değere oranı olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak CV değeri % 10'dan düşük ise düşük değişkenlik, % 10-100 arasında ise orta düzeyde değişkenlik ve % 100'den büyük ise yüksek düzeyde değişkenliği gösterir (Zhou vd., 2012; Ağca, 2014). Hesaplanan varyasyon katsayısı (CV) değerleri en yüksek parametre SO<sub>4</sub> (% 206,70), en küçük parametre pH (% 4,62)'dir (Tablo 3). Bu sınıflamaya göre suların pH değeri düşük değişkenlik, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ve NO<sub>3</sub><sup>-</sup> değeri yüksek değişkenlik, diğer parametreler ise orta derecede değişkenlik göstermektedir. Yüksek CV değerleri homojen olmayan dağılımı gösterirken, düşük CV değerleri parametrelerin homojen dağıldığını gösterir (Ağca, 2014).

**Tablo 3.** Çalışma alanındaki yeraltısularının hidrojeokimyasal analizlerinin tanımlayıcı istatistiksel verileri (n=21)  
(Descriptive statistical data of hydrogeochemical analysis of groundwaters in the study area (n=21))

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Standart sapma (SD)	Varyasyon katsayısı (CV)
T (°C)	7,30	14,60	10,94	11,6	1,78	16,28
pH	7,11	8,19	7,57	7,5	0,35	4,62
EC (µS/cm)	176	633	396	363	124,37	31,40
Eh (mV)	193	296	251	250	31,03	12,37
Toplam Sertlik (CaCO <sub>3</sub> mg/l)	126	468	255,43	234	84,35	33,02
TDS mg/l	106	380	238	217,8	74,62	31,40
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	3,23	23,81	10,22	9,88	5,19	50,75
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	35,21	105,10	67,49	63,36	19,60	29,04
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	2,80	19,33	9,97	9,48	4,03	40,47
Na <sup>+</sup> (mg/l)	0,37	3,87	1,37	1,15	0,82	60,09
K <sup>+</sup> (mg/l)	0,02	1,74	0,51	0,48	0,44	86,32
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	0,79	9,19	2,77	2,15	2,13	76,96
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,60	33,63	9,14	5,87	9,37	102,55
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	1,63	99,84	10,23	3,58	21,15	206,70
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	115,90	427,00	250,97	256,20	70,70	28,17

Yeraltısuyundaki çözülmüş bileşenlerin korelasyon ilişkisini incelemek için 21 parametre arasındaki korelasyon matrisi hesaplanmış ve Tablo 4'te sunulmuştur. Pozitif korelasyon iki değişken arasındaki doğru orantıyı, negatif korelasyon ters orantıyı, 0'a yakın değerler ise değişkenlerin arasında ilişki olmadığını gösterir. Korelasyon katsayısı (r) <0,5 ise parametreler arasında önemli bir doğrusal ilişki olmadığı, r =0,5 ile 0,8 arasında ise parametreler arasında önemli bir doğrusal korelasyon olduğu ve r>0,8 olduğunda ise parametreler arasında güçlü bir doğrusal korelasyon olduğunu ifade eder (Ashwin vd., 2022). Su içinde çözülmüş iyonların konsantrasyonunun artması EC değerini ve dolayısıyla TDS'yi artırır. Bu nedenle EC ve TDS parametreleri arasında yüksek korelasyon vardır (r=1,00). Çalışma alanındaki kireçtaşları ile etkileşim nedeniyle Ca ve HCO<sub>3</sub> yüksek derecede pozitif korelasyon vermektedir. Bu durum suların Ca-HCO<sub>3</sub>, Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> karakteri kazanmasında etkin rol oynamaktadır. Ca-EC ve Ca-TDS (r=0,96), Ca-HCO<sub>3</sub>(r=0,92), HCO<sub>3</sub>-EC ve HCO<sub>3</sub>-TDS(r=0,93), HCO<sub>3</sub>-TH (r=0,93), EC-TH (r= 0,96), Ca-TH (r= 0,95) parametre çiftleri arasında güçlü doğrusal korelasyon olduğu görülmektedir. Mg-EC, Mg-TDS ve Mg-TH (r= 0,50), Mg-SO<sub>4</sub> (r=0,52), Ca-Cl (0,70), EC-Cl ve EC-TDS (0,69), EC-SO<sub>4</sub> ve EC-TDS (0,51), Na-Cl (0,53), Na-NO<sub>3</sub> (0,57), K-Cl (0,55) parametre çiftleri arasında önemli sayılabilecek doğrusal korelasyon gözlenirken, diğer parametreler arasında anlamlı bir ilişki yoktur. TH'nin Ca ve HCO<sub>3</sub> ile güçlü korelasyona sahip olması (r>0,8) su sertliğinin Ca ve HCO<sub>3</sub> ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Na ve Ca arasındaki düşük korelasyon, kation değişim sürecinin ek bir sodyum kaynağı olmadığını gösterir (Petalas, 2017).

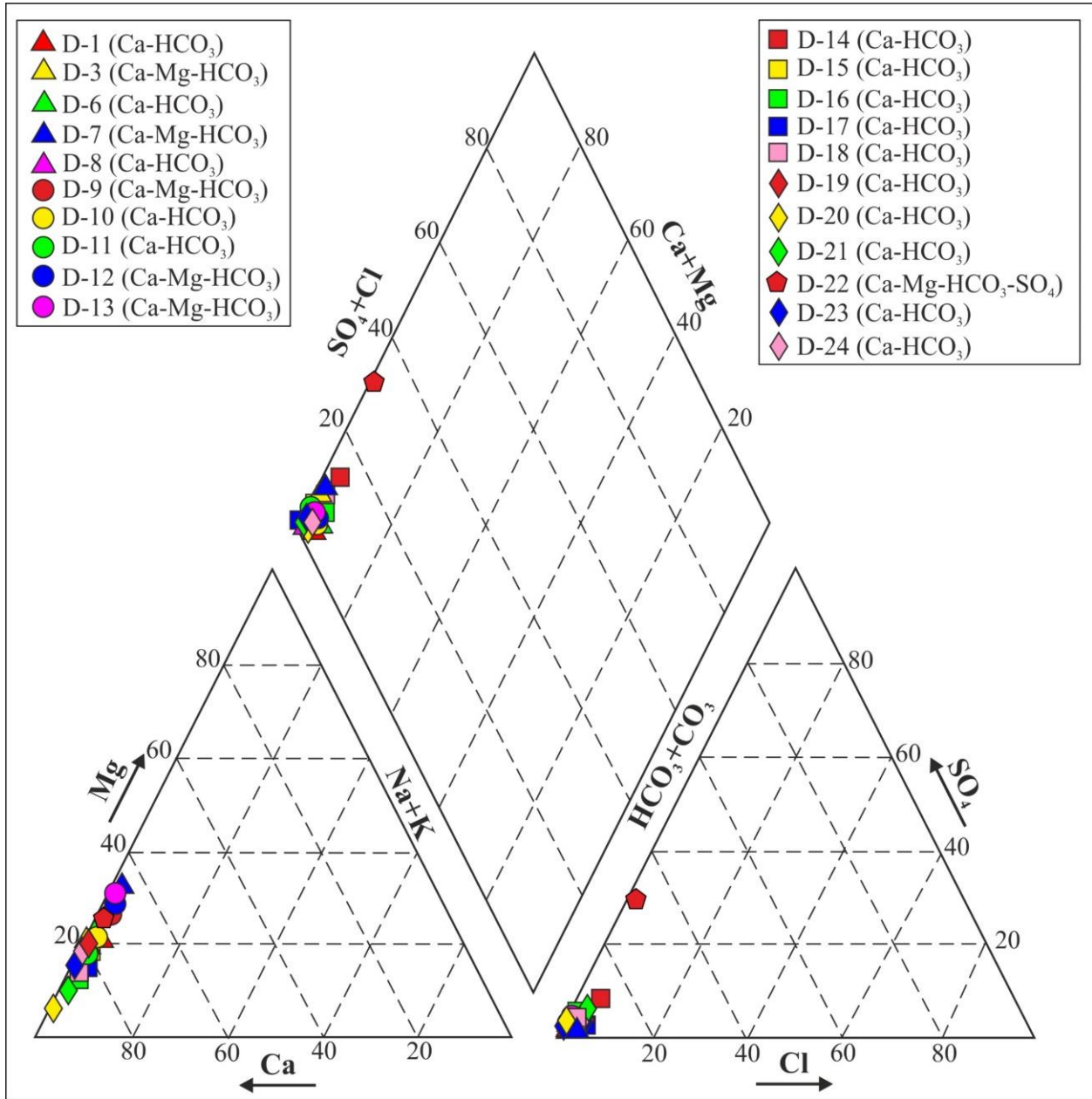
**Tablo 4.** Çalışma alanındaki yeraltısularının hidrojeokimyasal parametrelerine ait korelasyon matrisi (Correlation matrix of hydrogeochemical parameters of groundwaters in study area)

	Ca	Mg	Na	K	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	pH	T	Yükseklik	EC	TDS	TH	pCO <sub>2</sub>
Ca	1,00	0,28	0,36	0,22	0,70	-0,04	0,44	0,92	-0,68	0,33	-0,12	0,96	0,96	0,95	0,86
Mg		1,00	-0,05	0,18	-0,01	0,05	0,52	0,44	-0,03	-0,10	0,12	0,50	0,50	0,50	0,16
Na			1,00	0,36	0,53	0,57	0,06	0,29	0,02	0,03	-0,04	0,38	0,38	0,29	0,17
K				1,00	0,55	0,25	0,20	0,14	-0,13	0,30	-0,35	0,31	0,31	0,25	0,12
Cl					1,00	0,16	0,17	0,57	-0,69	0,52	-0,53	0,69	0,69	0,64	0,74
NO <sub>3</sub>						1,00	-0,16	-0,02	0,41	-0,03	0,10	0,05	0,05	-0,07	-0,22
SO <sub>4</sub>							1,00	0,24	-0,34	-0,11	-0,02	0,51	0,51	0,46	0,31
HCO <sub>3</sub>								1,00	-0,55	0,31	-0,02	0,93	0,93	0,93	0,79
pH									1,00	-0,49	0,49	-0,62	-0,62	-0,62	-0,85
T										1,00	-0,83	0,28	0,28	0,30	0,48
Yükseklik											1,00	-0,11	-0,11	-0,14	-0,37
EC												1,00	1,00	0,96	0,80
TDS													1,00	0,96	0,80
TH														1,00	0,82
pCO <sub>2</sub>															1,00

Çalışma alanındaki sular alkali toprak elementleri (Ca+Mg), alkali elementlerden (Na+K) büyük olan ve zayıf asit kökleri (HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>), güçlü asit köklerinden (SO<sub>4</sub>+Cl) büyük olan sulardır. Su kimyasını kontrol eden jeokimyasal süreçleri değerlendirmek ve hidrokimyasal fasiyelerdeki değişimi tanımlamak için Piper (1944) diyagramı kullanılmıştır. Piper diyagramına göre çalışma alanındaki suların 3 farklı fasiyeste olduğu belirlenmiştir: (a) Ca-HCO<sub>3</sub> (15 örnek), (b) Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> (5 örnek) ve (c) Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> (1 örnek) (Şekil 7). Suların Ca-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> fasiyesinde olması, inceleme alanında bulunan kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı formasyonları ile ilişkilidir. Sadece D-22 nolu örnekte yüksek SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> konsantrasyonu gözlenmiştir. Bu yüksek SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> içeriği yapılan tarımsal faaliyetler ile ilgilidir. Karbonat kayaçların bulunduğu litolojideki sular, ayrışma reaksiyonları sonucunda dolomit veya kireçtaşının çözünmesinden kaynaklanan başlıca kalsiyum, bikarbonat ve magnezyum iyonları içermektedir



(Krawczyk ve Ford, 2006). Çalışma alanındaki Ca-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> su fasiyesleri, suların kimyasal bileşiminin kalsit ve dolomit varlığıyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

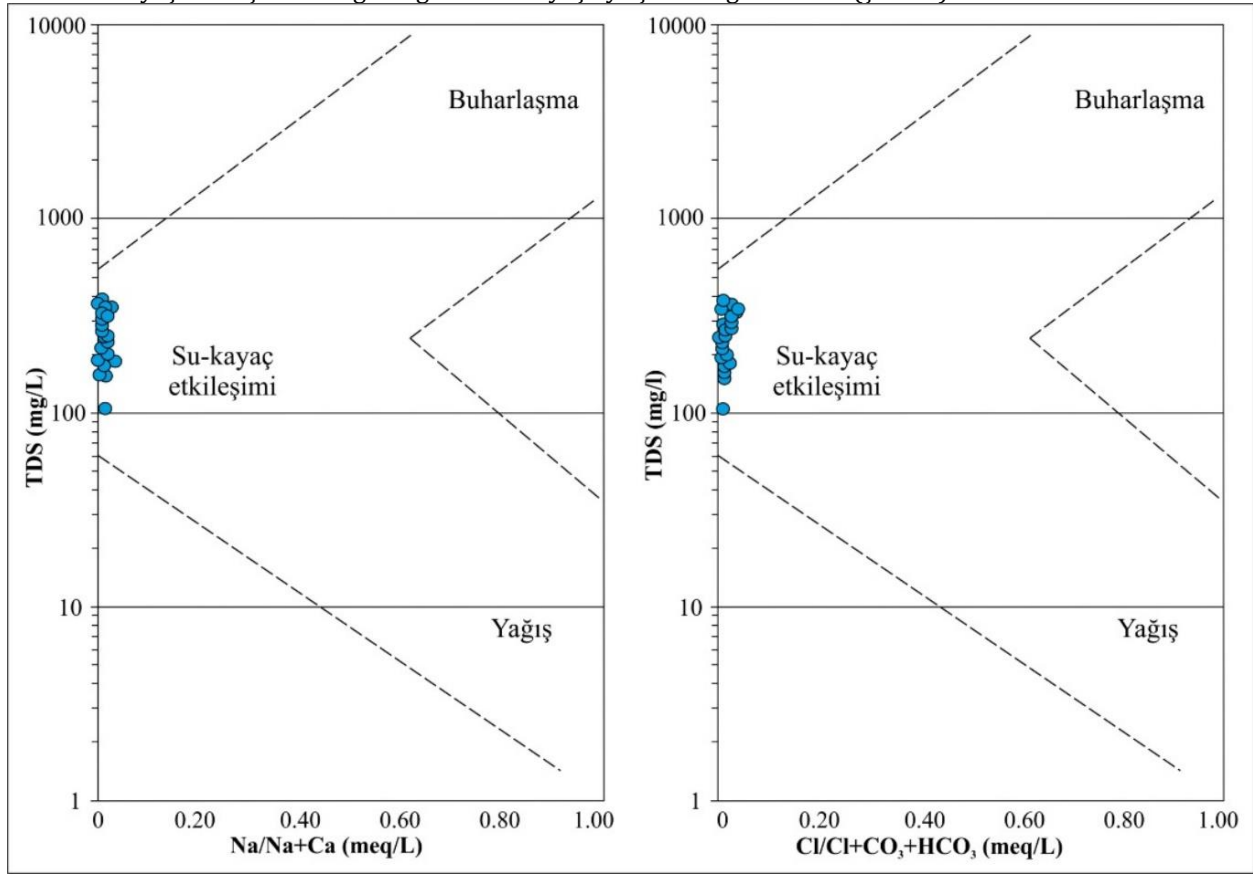


Şekil 7. Çalışma alanındaki yeraltısularının Piper diyagramı (Piper diagram of groundwaters in the study area)

#### 4.4. Hidrojeokimyasal Prosesler (Hydrogeochemical Processes)

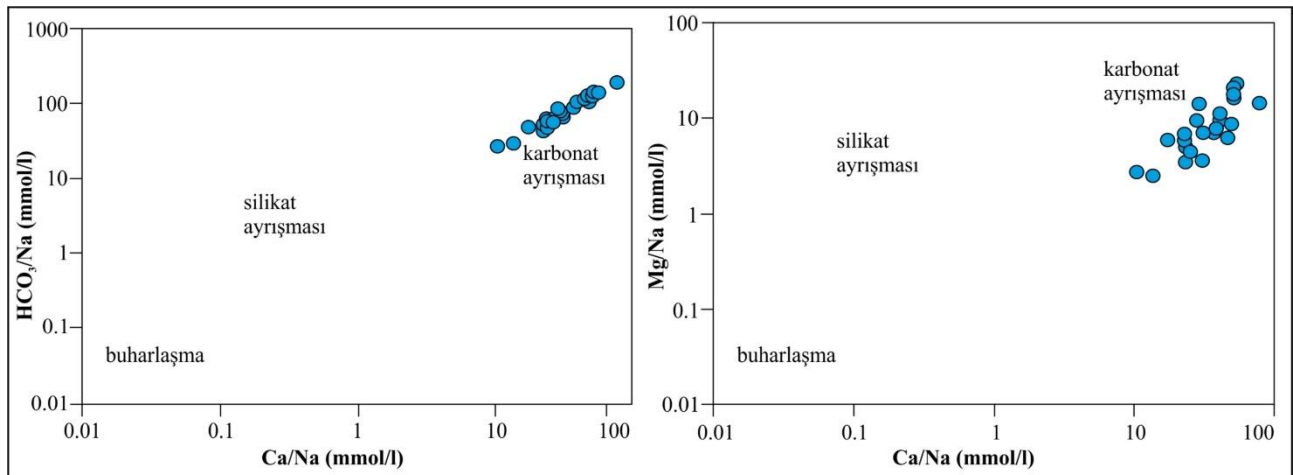
Sularda bulunan iyonların konsantrasyonu, yeraltısuyu ve akifer mineralleri arasında meydana gelen hidrojeokimyasal reaksiyonlara bağlıdır. Bu reaksiyonlar, yeraltısuyu majör iyon konsantrasyonu dengeye ulaştığında meydana gelir. Bu nedenle yeraltısuyundaki çeşitli majör iyon konsantrasyonları hidrojeokimyasal prosesleri tanımlamakta yararlıdır (Singh ve Hasnain, 2002; Laksmanan vd., 2003). Atmosferik CO<sub>2</sub>'nin su içinde çözünmesi ve sülfürlerin oksidasyonu, karbonatların, silikatların ve alüminosilikat minerallerinin ayrışması için kullanılan protonların büyük kısmını sağlayan ana reaksiyonlardır. Karbonat kayaçlarının çözünmesi, silikat parçalanmasından daha hızlı ilerler ve sularda çözünen element konsantrasyonlarının elde edilmesinde meydana gelen mekanizmalardan biridir. Silikat ayrışmasının çözelti ürünlerini ölçmek zordur. Çünkü silikatların bozunması, çözülmüş türlerle birlikte çeşitli katı fazlar (çoğunlukla killer) oluşturur. Çözeltideki çeşitli iyonların nispi oranları, çözünürlüklerinin yanı sıra ana kayadaki nispi bolluklarına da bağlıdır (Singh vd., 2008; Dişli, 2018). Ayrışmanın doğası ve sudaki çözülmüş iyonların kaynağı, kütle dengesi yaklaşımı uygulanarak ve iyonların nispi bolluğu, çözünen maddeler arasındaki korelasyonlar ve bölgenin jeolojisi dikkate alınarak değerlendirilebilir (Singh ve Hasnain, 2002). TDS'nin Na/(Na+Ca) ve Cl/(Cl+HCO<sub>3</sub>) oranlarına göre çizilen Gibbs diyagramı (Gibbs, 1970), sudaki iyonik oranları kullanarak, su-kayaç etkileşimi ile kimyasal prosesleri tanımlamada

kullanılmaktadır. Bu grafikte, kayaç baskın, evaporasyon/kristalizasyon baskın ve atmosferik yağış baskın olmak üzere üç alan tanımlanmıştır. Gibbs diyagramına göre çalışma alanındaki su örnekleri ana hidrojeokimyasal sürecin su-kayaç etkileşimi olduğunu gösteren kayaç ayrışma bölgesindedir (Şekil 8).



Şekil 8. Çalışma alanındaki yeraltısularının Gibbs diyagramı (Gibbs diagram of groundwaters in the study area)

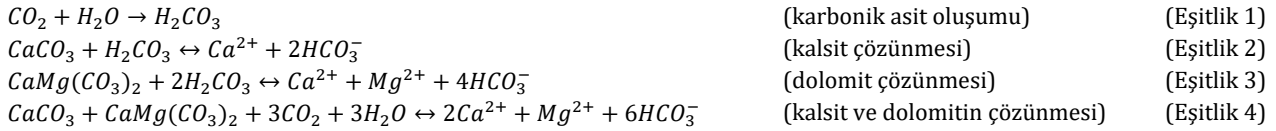
Litolojinin yeraltısuyundaki iyonlar üzerindeki potansiyel etkisi Na-normalize molar oranı ile açıklanabilir (Gaillardet vd., 1999). Ca/Na ile  $\text{HCO}_3/\text{Na}$  ve  $\text{Mg}/\text{Na}$  arasındaki dağılım grafikleri, üç ana ayrışma mekanizmasının (silikat ayrışması, karbonat ayrışması ve buharlaşma) yeraltısuyunun çözünen konsantrasyonuna nispi katkısını belirlemek için kullanılır. Şekil 9, karbonat minerallerinin ayrışmasının yeraltısuyu kalitesini etkileyen en baskın hidrojeokimyasal süreç olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 9. Çalışma alanındaki yeraltısularının (a) Ca/Na'a karşı  $\text{HCO}_3/\text{Na}$  ve (b) Ca/Na'a karşı  $\text{Mg}/\text{Na}$  grafiği (Bivariate diagrams of groundwaters in the study area (a) Ca/Na vs  $\text{HCO}_3/\text{Na}$  and (b) Ca/Na vs  $\text{Mg}/\text{Na}$ )

#### 4.4.1. Karbonat Minerallerinin Su Kimyasına Katkısı (Contribution of Carbonate Minerals to Water Chemistry)

Suların  $\text{HCO}_3^-/\text{SiO}_2$  oranı, akiferde meydana gelen ayrışma sürecinin türünü ortaya çıkarabilir.  $\text{HCO}_3^-/\text{SiO}_2 < 5$  oranı silikat ayrışma sürecini gösterirken,  $\text{HCO}_3^-/\text{SiO}_2 > 10$  oranı karbonat ayrışma sürecini gösterir (Hounslow, 1995). Bu çalışmadaki yeraltısularının  $\text{HCO}_3^-/\text{SiO}_2$  oranları  $> 10$  olup, karbonat ayrışmasının ana ayrışma süreci olduğunu göstermektedir. Kalsit ve dolomitin saf sudaki çözünürlüğü çok düşüktür, ancak asidik çözeltilerde kolayca çözünür. Karstik süreçlerdeki en önemli asit ise, genellikle edafik kökenli gaz halindeki  $\text{CO}_2$ 'nin çözünmesinden oluşan karbonik asittir (Eşitlik 1; Parkhurst ve Appelo, 1999; Moral vd., 2008). Karbonat minerallerinin (kalsit ve dolomit) ayrışması genellikle sulara Ca ve Mg konsantrasyonunda önemli bir artışa neden olur. Çalışma alanında karbonat mineralleri egemen olup, su kalitesini kontrol eden kimyasal reaksiyon aşağıdaki eşitliklerle ifade edilebilir (Eşitlik 2, 3, 4):



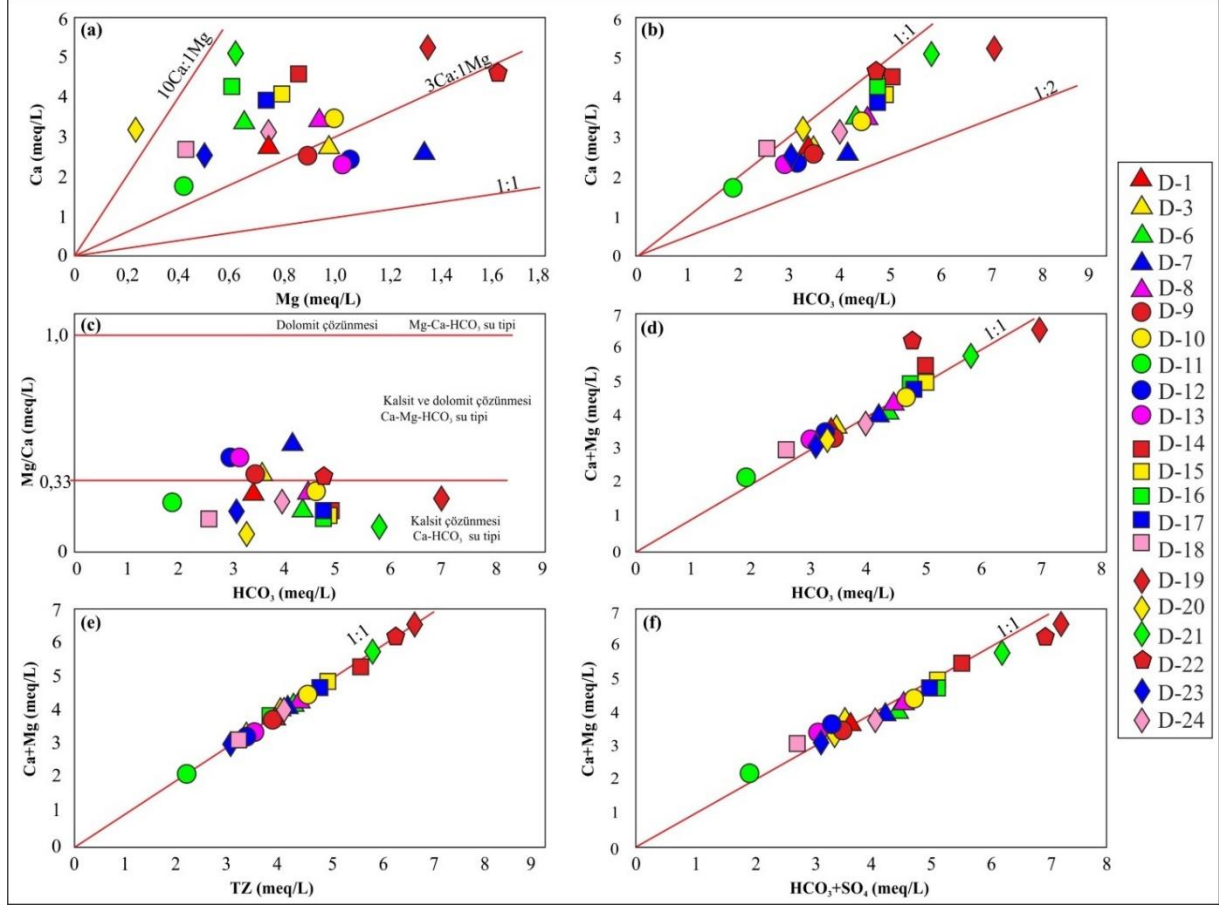
Kalsit ve dolomitin karbonat ayrışma süreçlerindeki nispi katkısı,  $r\text{Ca}/r\text{Mg}$  oranına bakılarak ele alınabilir.  $r\text{Ca}/r\text{Mg}=1$  olması saf dolomit katkısını gösterir (Eşitlik 3),  $1 < r\text{Ca}/r\text{Mg} < 3$  ise, bir miktar kalsit katkısıyla birlikte dolomit çözünmesinin baskınlığını gösterir.  $r\text{Ca}/r\text{Mg}=3$  ise hem kalsitin hem de dolomitin çözünmesini gösterir (Eşitlik 4).  $r\text{Ca}/r\text{Mg}$  oranının daha büyük değerleri, kalsit çözünmesinin baskınlığına ilave olarak belirli dolomit katkısı anlamına gelir ve  $r\text{Ca}/r\text{Mg}=10$  olması ise kalsitin toplam katkısını temsil eder (Herms vd., 2021). Şekil 10a'da  $r\text{Ca}/r\text{Mg}$  oranının 1:1 çizgisinin yukarısında olduğu ve kalsit ve dolomit çözünmesinin baskın jeokimyasal süreçler olduğu söylenebilir. Dolayısıyla,  $r\text{Ca}/r\text{Mg}$  oranındaki değişimin, bölgedeki kayaç ayrışmasıyla ilişkili olduğu görülmektedir. Yeraltısuyunda  $\text{Ca}^{2+}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  sadece kalsitten kaynaklanıyorsa,  $\text{Ca}/\text{HCO}_3$  oranı 1:2, eğer dolomit ayrışmasından kaynaklanıyorsa bu oran 1:4 olmaktadır (Eşitlik 2 ve 3; Nasher ve Ahmed, 2021). Ca-HCO<sub>3</sub> diyagramında, örneklerin 1:2 çizgisi üstünde bulunması suyun kimyasal evriminin karbonat kayaçlarıyla etkileşimle karakterize edildiğini gösterir (Şekil 10b). Benzer şekilde saf dolomit çözünmesinde  $\text{Mg}/\text{Ca}=1$ , kalsit ve dolomit çözünmesinde  $\text{Mg}/\text{Ca} \approx 0,33$ , kalsitin çözünmesi durumunda ise  $\text{Mg}/\text{Ca}$  oranı 0,1'den küçük sular üretilir (Mayo ve Loucks, 1995; Szramek vd., 2011; Dişli, 2018). Şekil 10c'ye göre  $\text{Mg}/\text{Ca} = 0,33$  çizgisinin altında kalan örnekler kalsit çözünmesinin baskın süreç olduğu Ca-HCO<sub>3</sub> su tipinde suları gösterirken,  $\text{Mg}/\text{Ca}=0,33$  çizgisinin üstünde kalan örnekler Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> su tipinde olup dolomit çözünmesinin etkisini göstermektedir.  $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{HCO}_3$  oranının yaklaşık 1 olması da  $\text{Ca}^{2+}$  ve  $\text{Mg}^{2+}$ 'un karbonatların çözünmesinden kaynaklandığını desteklemektedir (Şekil 10d; Nasher ve Ahmed, 2021; Wu vd., 2021; Eşitlik 2 ve 3). Çözünmüş  $\text{CO}_2$ , akiferdeki karbonat kayaçları ile reaksiyona girerek kalsit ve dolomiti çözer (Eşitlik 2 ve 3; Nasher ve Ahmed, 2021). Tüm bu veriler karbonatların çözünme ve çökme işlemlerinin baskınlığını yansıtır ve katyon değişim işlemlerinin önemli bir katkısı olmadığını göstermektedir (Moral vd., 2008). Toplam katyonlara (TZ) karşı Ca+Mg dağılım diyagramında da (Şekil 10e) örneklerin 1:1 çizgisi boyunca doğrusal dağılım göstermesi,  $\text{Ca}^{2+}$  ve  $\text{Mg}^{2+}$ 'un yeraltısuyu kimyasını oluşturan ana katyonlar olduğunu ve majör iyon kimyasına karbonat ayrışmasının katkısını belirtmektedir (Demir vd., 2019; Su vd., 2020).

İyon değişimi, akiferlerin çeşitli koşullarına bağlı olarak tek değerli katyonlar ( $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$ ) ve iki değerli katyonların ( $\text{Ca}^{2+}$  ve  $\text{Mg}^{2+}$ ) birbirleri ile yer değiştirdiği akiferde önemli bir hidrokimyasal işlemidir (Nasher ve Ahmed, 2021). Yeraltısularındaki  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  konsantrasyonları, genel olarak karbonat (kalsit ve dolomit) ve sülfat (jips ve anhidrit) minerallerinin ayrışma süreçleri ile ilişkili olması durumunda örnekler 1:1 çizgisi boyunca dizilmektedir. 1:1 çizgisi altında kalan örnekler silikat ayrışması yada iyon değişimini gösterir. Bu durumda  $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$  göre Ca+Mg tükenir (McLean ve Jankowski, 2000). 1:1 çizgisi yukarısında kalan örnekler ise Ca ve Mg'a katkı sağlayacak ters iyon değişimi gibi diğer bazı reaksiyonların varlığını göstermektedir (Dişli, 2018; Nasher ve Ahmed, 2021). Ca+Mg ile  $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$  grafiğinde (Şekil 10f) inceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin denge çizgisi (1:1) boyunca ve etrafında dizilim göstermesi karbonat kayaçların yaygın bulunması nedeniyle bölgede karbonat ayrışmasının önemli bir hidrojeokimyasal süreç olduğunu göstermektedir.

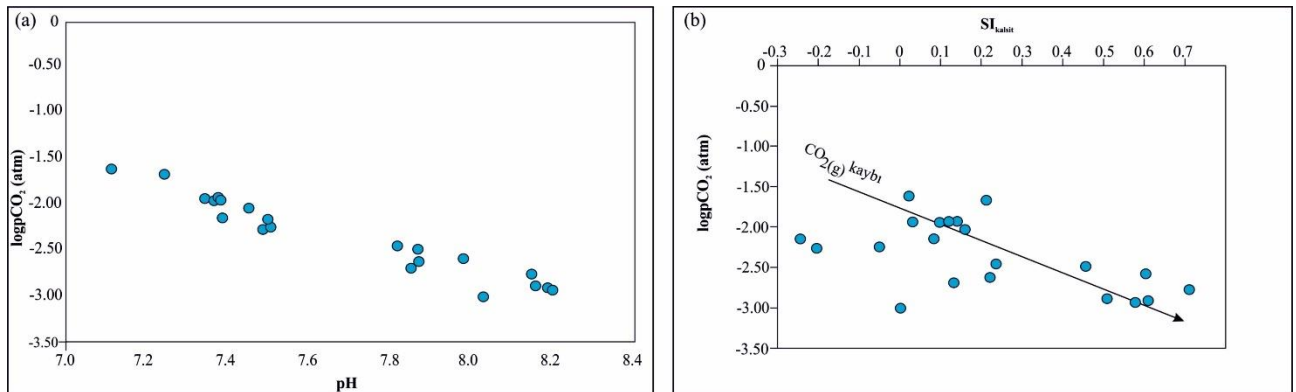
#### 4.4.2. Karbondioksit Kısmi Basıncı ( $p\text{CO}_2$ ) ve Doygunluk İndeksi (Partial Pressure of Carbon Dioxide ( $p\text{CO}_2$ ) and Saturation Index)

İnceleme alanındaki yeraltısuyu esasen doğrudan yağıştan süzülmeden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle hidrojeokimyasal süreçleri değerlendirirken açık sistem koşullarındaki  $p\text{CO}_2$  ( $10^{-3,5}$  atm) ile dengede olan suların kireçtaşı-dolomit mostralalarına sızdığı kabul edilir (Moral vd., 2008). Kısmi karbondioksit basıncı ( $p\text{CO}_2$ ) değerleri, SOLMINEQ.88 (Kharaka vd., 1988) jeokimyasal bilgisayar kodu ile hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki yeraltısularının  $p\text{CO}_2$  değerleri  $10^{-1,61}$  ile  $10^{-3,00}$  atm arasında değişmektedir (ortalama  $p\text{CO}_2$ :  $10^{-2,34}$  atm) ve

hesaplanan  $pCO_2$  değerleri, atmosferik  $pCO_2$ 'den ( $10^{-3.5}$  atm) daha yüksektir. Bu durum, topraktaki organik madde bozuşmasının ve kök solunumunun muhtemelen akifer sistemindeki ana  $CO_2$  kaynakları olduğunu göstermektedir (Njitchoua vd., 1997; Van der Weijden ve Pacheco, 2003; Akpataku vd., 2019).  $pCO_2$ 'nin bu değerleri asidik koşulları artırabilir ve karbonat çözünmesi proseslerini büyük ölçüde hızlandırılabilir (Akpataku vd., 2016). Nispeten yüksek  $pCO_2$  değerleri,  $CO_2$ 'ye göre açık sistemi gösterir (Benamina vd., 2022). Suların pH değeri ile  $pCO_2$  değerleri negatif korelasyona sahiptir ve pH değeri arttıkça  $pCO_2$  azalmaktadır (Adams vd., 2001; Liu vd., 2015; Şekil 11a).



**Şekil 10.** Çalışma alanındaki suların iyonik karşılaştırma grafikleri (a) Ca ve Mg, (b) Ca ile  $HCO_3$ , (c) Mg/Ca ile  $HCO_3$ , (d) Ca+Mg ile  $HCO_3$ , (e) Ca+Mg ile toplam katyon (TZ) (f) Ca+Mg ile  $HCO_3+SO_4$  (Ionic scatter diagrams of groundwaters in the study area (a) Ca vs Mg, (b) Ca vs  $HCO_3$ , (c) Mg/Ca vs  $HCO_3$ , (d) Ca+Mg vs  $HCO_3$ , (e) Ca+Mg vs total cation (TZ) (f) Ca+Mg vs  $HCO_3+SO_4$ )



**Şekil 11.** Çalışma alanındaki su örneklerinin (a)  $CO_2$  kısmi basıncı-pH, (b)  $CO_2$  kısmi basıncı- $SI_{kalsit}$  grafiği (Plots of partial pressure of  $CO_2$  vs pH (a), and partial pressure of  $CO_2$  vs  $SI_{calcite}$  (b) groundwaters in the study area)

Minerallerin doygunluk indeksi (SI) değerleri ile yeraltısuyunun hidrokimyasal bileşimini kontrol eden reaktif mineralin rolü belirlenebilir. SI aşağıdaki formüle göre hesaplanır (Su vd., 2021; Wu vd., 2021):

$$SI = \log \left( \frac{IAP}{K} \right)$$

burada,

SI : doyunluk indeksi

IAP: çözeltilinin iyon aktivite ürünü

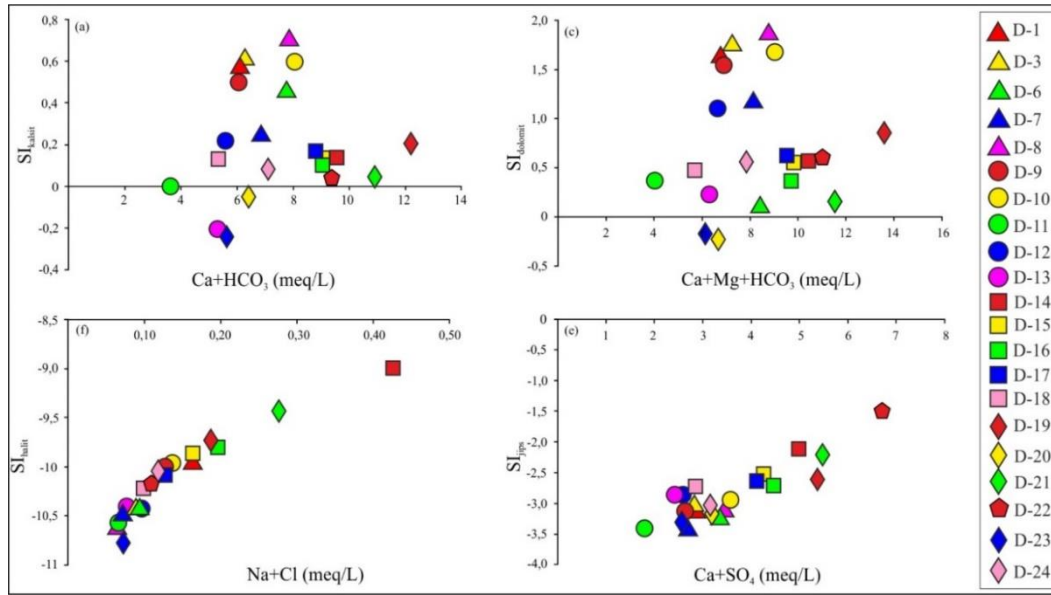
K : reaksiyonun denge sabitidir.

Termodinamik olarak pozitif SI değerleri ( $SI > 0$ ), mineralin yeraltısuyunda aşırı doyun olduğunu ve çökme potansiyelini, negatif SI değerleri ( $SI < 0$ ), mineralin yeraltısuyunda doymamış olduğunu ve bu nedenle çözünme potansiyelini temsil eder.  $SI = 0$  ise mineralin denge durumunda olduğu kabul edilir (Appello ve Postma, 1996; Wu vd., 2021). Doyunluk indeksi değerlerini belirlemek için SOLMINEQ.88 (Kharaka vd., 1988) yazılımı kullanılmıştır. Çalışma alanından alınan su örneklerinin çeşitli mineral fazlarına göre hesaplanan doyunluk indeksleri Tablo 5'te gösterilmiştir. Jeokimyasal modellemenin sonuçları, su örneklerinin genel olarak kalsit ( $SI$ : -0,243 ile 0,712 arasında, ortalama: 0,211) ve dolomit ( $SI$ : -0,229 ile 1,873 arasında, ortalama: 0,754) minerallerine göre doyun olduğunu göstermektedir. Süzülen meteorik su, akiferdeki başlıca mineral fazları olan kalsit ve dolomit ile reaksiyona girerek, çözünmüş Ca ve Mg konsantrasyonlarını artırır. Dolayısıyla yeraltısuyunda doyun olan bu mineraller yeraltısuyu kimyasal bileşimine karbonat mineral katkısını göstermektedir. Ayrıca bu minerallere göre doyunluk durumunun olması, yeraltısuyunun kalsit ve dolomit çökeltilerini üretebileceğini göstermektedir. Kalsit ve dolomit minerallerine göre doyun yeraltısuyu örnekleri kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı litolojisine sahip olan Kuyubaşı dolomiti, Beydağları formasyonu, Dulup kireçtaşı birimleri ile ilişkilidir. Buna karşın, tüm örnekler, çalışma alanı litolojisinde bulunmayan halit ( $SI$ : -10-763 ile -8,997 arasında) ve jips ( $SI$ : -3,407 ile -1,493 arasında) minerallerine göre doyunluk altındadır ve yeraltısuyunda bu minerallerin çözünmesi beklenir. Karbonat kayaçlar için yüksek çözünme hızı, suların kalsit ve dolomit açısından doyun/doyunluğa yakın olmasına ve jips, halit gibi minerallerin doyunluk altı kalmasına neden olarak, bu minerallerin akış yolları boyunca sürekli çözümlerini sağlar (Stumm ve Morgan, 1996; Sappa vd., 2012).  $pCO_2$ , karbonat minerallerinin doyunluk durumunda önemli bir rol oynar (Chidambaram vd., 2011). Yeraltısuyu sistemine  $CO_2(g)$  girişi ile  $pCO_2$  artmakta ve  $SI_{kalsit}$  azalmaktadır. Yani, kireçtaşıdan süzülen yağış suları, yeraltısuyunu seyreltmekte ve  $SI_{kalsit}$ 'in azalmasını ve  $\log pCO_2$ 'nin artmasını sağlamaktadır (Chidambaram vd., 2011; Adji vd., 2017). Şekil 11b'de düşük  $CO_2$  kısmi basıncına, yüksek  $SI_{kalsit}$  değerlerinin eşlik ettiği görülmektedir. Bu durum, bu yeraltısularının  $CO_2$  kaybetmiş ve kalsiti çökeltilmiş olabileceğini gösterir (Su vd., 2020). Ancak değerlerin doyunluk sınırına yakın olması yağış suları ile  $CO_2(g)$  eklenmesinden kaynaklandığı daha olasıdır ve kalsit çökelişinin bundan dolayı az olduğu düşünülmektedir.

Mineral çözünmesi veya çökmesi ile yeraltısuyundaki iyonlar arasındaki ilişkileri daha iyi göstermek için (Wu vd., 2021), her mineral için SI ve karşılık gelen iyonların konsantrasyonları Şekil 12'de sunulmuştur. Kalsit ve dolomit için SI değerleri doyunlukla pozitifdir (Şekil 12 a ve b). Bu durum, bu minerallerin akifer ortamda var olduğunu ve yeraltısuyunun hidrokimyasal bileşimini kontrol ettiğini düşündürmektedir. Kalsit ve dolomit doyunluk indeksi değerlerinin pozitif olması, yeraltısuyu akış yolları boyunca çözünme ve güçlü mineralizasyona işaret eder ve bu minerallerin yeraltısuyunda çökme eğiliminde olduğunu düşündürür. Sadece  $SI_{kalsit}$  üç örnekte ve  $SI_{dolomit}$  iki örnekte negatiftir. Şekil 12c'de görüldüğü gibi,  $SI_{halit}$  ile  $Na+Cl$  pozitif olarak ilişkilidir ve yeraltısuyundaki  $Na+Cl$  konsantrasyonu arttıkça,  $SI_{halit}$ , önce keskin bir şekilde artar ve sonra belirli bir  $Na+Cl$  konsantrasyonuna ulaşıldıktan sonra daha yavaş artmaktadır. Aynı şekilde  $SI_{jips}$  ile  $Ca+SO_4$  pozitif ilişkili olup artan çözünürlük ile doyunluğa yaklaşma eğilimindedir (Şekil 12d). Karbonat kayaçların yüksek çözünme hızı, kalsit ve dolomit açısından doyun/doyunluğa yakın suların oluşmasını sağlarken, jips ve halit mineralleri doyunluk altında kalarak, akış yolları boyunca çözülmeye devam eder. Bu, yeraltısuyunun akış yolları boyunca jips ve haliti çözme kapasitesine sahip olduğunu ve dolayısıyla çözeltilerdeki  $Ca^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Na^+$  ve  $Cl^-$  konsantrasyonlarının artacağını gösterir (Langmuir, 1971; Sappa vd., 2012).

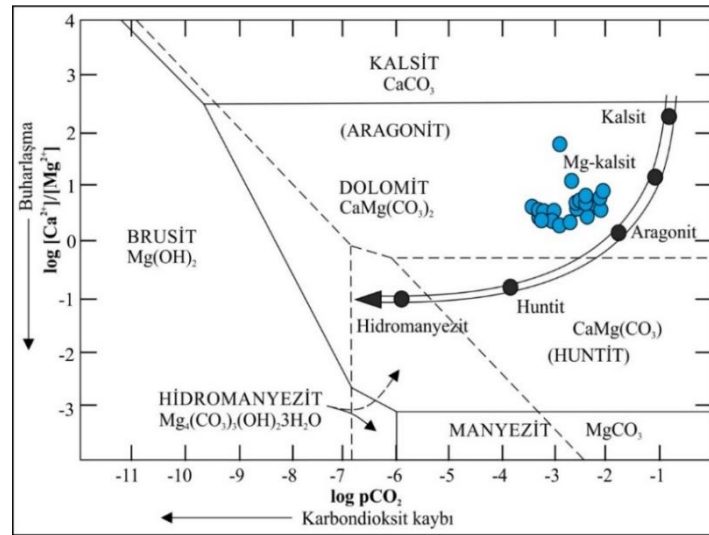
**Tablo 5.** Çalışma alanındaki suların seçilmiş mineral fazlarına göre doygunluk indisleri (SI) (Saturation indices (SI) with respect to selected mineral phases of waters in the study area)

	SI <sub>kalsit</sub>	SI <sub>dolomit</sub>	SI <sub>jips</sub>	SI <sub>halit</sub>
D-1	0,578	1,598	-3,042	-9,954
D-3	0,610	1,783	-3,129	-10,415
D-6	0,457	0,124	-3,250	-10,428
D-7	0,236	1,173	-3,407	-10,509
D-8	0,712	1,873	-3,156	-10,623
D-9	0,509	1,560	-3,192	-10,031
D-10	0,605	1,683	-2,998	-9,981
D-11	0,001	0,375	-3,403	-10,545
D-12	0,222	1,101	-2,859	-10,422
D-13	-0,205	0,247	-2,846	-10,415
D-14	0,140	0,571	-2,121	-8,997
D-15	0,122	0,546	-2,557	-9,864
D-16	0,102	0,362	-2,668	-9,797
D-17	0,161	0,604	-2,672	-10,073
D-18	0,132	0,466	-2,720	-10,205
D-19	0,213	0,854	-2,590	-9,743
D-20	-0,050	-0,229	-3,117	-
D-21	0,024	0,147	-2,192	-9,435
D-22	0,032	0,605	-1,493	-10,173
D-23	-0,243	-0,185	-3,314	-10,763
D-24	0,083	0,571	-3,048	-10,074



**Şekil 12.** Çalışma alanındaki yeraltı suları için SI grafikleri (a) SI<sub>kalsit</sub> ile Ca+HCO<sub>3</sub>, (b) SI<sub>dolomit</sub> ile Ca+Mg+HCO<sub>3</sub>, (c) SI<sub>halit</sub> ile Na+Cl ve (d) SI<sub>jips</sub> ile Ca+SO<sub>4</sub> (SI plots for the groundwater in the study area (a) SI<sub>calcite</sub> vs Ca+HCO<sub>3</sub>, (b) SI<sub>dolomite</sub> vs Ca+Mg+HCO<sub>3</sub>, (c) SI<sub>halite</sub> vs Na+Cl and (d) SI<sub>gypsum</sub> vs Ca+SO<sub>4</sub>)

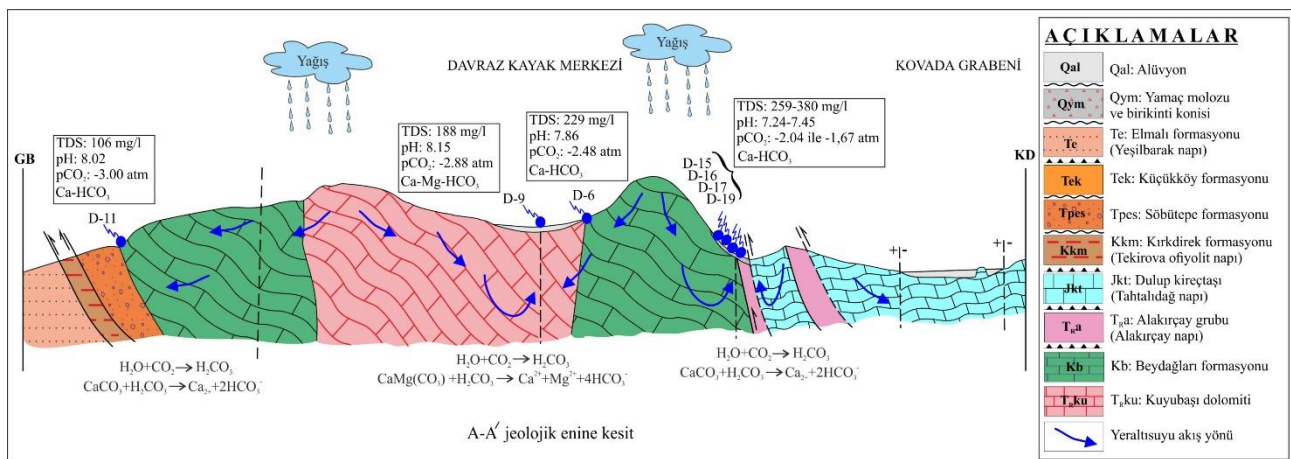
Suyun kimyasal dengesine ait termodinamik ilişkilerden yararlanarak hazırlanan mineral stabilite diyagramları, hidrojeokimyasal süreçleri değerlendirmekte yararlıdır ve suyun bileşiminin ayrışma bölgesindeki ana kaya ile ilişkili olduğu düşüncesine dayanmaktadır. 25°C'de CaCO<sub>3</sub>-MgCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O sisteminin faz diyagramından karbonat minerallerinin oluşum sırası tahmin edilmektedir (Şekil 13; Lippmann, 1973; Hill ve Forti, 1997). Karbonat sistemi için mineral stabilite diyagramında CO<sub>2</sub>'nin ortamdan uzaklaşmasıyla, önce kalsit çökelmekte ve magnezyum iyonu kalsiyum iyonuna göre artmaktadır. Daha sonra sırayla yüksek magnezyumlu kalsit (Mg-kalsit), aragonit, huntit ve son olarak da hidromanyezit çökelişi olduğu görülmektedir (Ford ve Willams, 2007; Aly vd., 2011; Kumar vd., 2016). Bu diyagramda çalışma alanındaki suların, Mg-kalsit ile dengede olduğu görülmektedir. Bu denge, Mg-kalsitin derin rezervuarlardaki ana karbonat minerali olduğu anlamına gelir (Aly vd., 2011; Kumar vd., 2016).



Şekil 13. Karbonat sistemi için mineral stabilite diyagramı (Ford ve Williams, 2007)  
(Mineral stability diagrams for the carbonate system (Ford and Williams, 2007))

#### 4.5. Çalışma Alanındaki Suların Hidrojeokimyasal Kavramsal Modeli (Hydrogeochemical Conceptual Modeling of Waters in the Study Area)

Çalışma alanındaki jeolojik, tektonik ve hidrojeokimyasal verilere dayanarak şematik kavramsal model oluşturulmuştur (Şekil 14). Suların oluşumunu sağlayan hidrojeokimyasal süreçlerin tanımlanmasında çeşitli grafikler ve iyonik oranlara göre yapılan değerlendirmelerle  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ve  $\text{HCO}_3^-$ 'ün yeraltısuyu kimyasını oluşturan ana bileşenler olduğu ve kalsit ve dolomit çözünmesinin baskın jeokimyasal süreçler olduğu belirlenmiştir. Su-kaya etkileşimi sırasında karbondioksit kısmi basıncındaki bir artış, mineral çözünme sürecini etkiler. Çalışma alanındaki yeraltısuyu örneklerinin hesaplanan  $\text{pCO}_2$  değerlerinin, atmosferik  $\text{pCO}_2$ 'den ( $10^{-3.5}$  atm) daha yüksek olması da asidik koşulları artırarak karbonat çözünme proseslerini hızlandırmıştır. Karbonat kayalar üzerine düşen yağış suları, atmosferden bir miktar karbondioksiti ve hatta süzülüşü topraktaki organik maddeden de karbondioksiti emerek zayıf karbonik asit oluşturmuştur. Bu asidik su yeraltına süzülürken, gözenekler ve çatlaklar gibi önceden var olan açıklıkları genişleterek karbonat kayaları çözmüştür. Oluşan bu boşluklar birbiri ile bağlantılı olabilen ağlar oluşturur. Dolayısıyla yeraltında dolaşım yapan sular bölgedeki karbonat kayalardan  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ve  $\text{HCO}_3^-$ 'ü çözerek bünyesine katmış ve  $\text{Ca-HCO}_3$  ve  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$  karakterinde suların oluşmasını sağlamıştır.



Şekil 14. Davraz Dağı (Isparta) çevresinde bulunan yeraltısularının hidrojeokimyasal kavramsal modeli  
(Hydrogeochemical conceptual model of groundwaters in Davraz Mountain (Isparta) and surrounding)

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

Bu çalışmada, Davraz Dağındaki (Isparta) karbonatlı kayalarla ilişkili suların hidrokimyasal özellikleri ve hidrokimyasal evrimi araştırılmıştır. Bölgede yağış, yeraltısuyunun ana beslenme kaynağıdır ve çalışma alanında bulunan kireçtaşları ve dolomitik kireçtaşları, iklimsel özellikler, bitki örtüsü vb unsurlardan etkilenerek suların hidrojeokimyasal özellikleri kazanmasını sağlamıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. İnceleme alanından alınan su örneklerinin majör iyon içerikleri Piper diyagramı ile değerlendirilmiş ve suların (a) Ca-HCO<sub>3</sub>, (b) Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> ve (c) Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> olmak üzere 3 farklı fasiyeste olduğu belirlenmiştir. Suların Ca-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> fasiyesinde olması, inceleme alanında bulunan kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı litolojisine sahip olan Beydağları otoktonuna ait Kuyubaşı dolomiti ve Beydağları formasyonu ile ilişkilidir. Bazı örneklerde ölçülen kısmen yüksek SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ve NO<sub>3</sub><sup>-</sup> konsantrasyonları ise evsel ve tarımsal faaliyetlerle ilişkilidir.
2. İnceleme alanında yeraltısuyu kimyasını denetleyen temel faktör su-kayaç etkileşimi olup, kalsit ve dolomit çözünmesi baskın jeokimyasal süreçlerdir.
3. Kalsit ve dolomit için doygunluk indeksi değerlerinin çoğunlukla pozitif olması, bu minerallerin akifer ortamda yeraltısuyunun hidrokimyasal bileşimini kontrol ettiğini göstermektedir.
4. Karbonat sistemi için mineral stabilite diyagramı çalışma alanındaki suların, Mg-kalsit ile dengede olduğunu ve Mg-kalsitin derin rezervuarlardaki ana karbonat minerali olduğunu göstermektedir.
5. Tüm verilerden yararlanarak hazırlanan hidrojeokimyasal kavramsal modele göre karbonat kayaçlar üzerine düşen yağış suları, atmosferden bir miktar karbondioksiti alarak karbonik asit oluşturur ve bu asidik su yeraltına süzülürken, gözenekler ve çatlaklar gibi önceden var olan açıklıkları genişleterek karbonat kayaçların çözünmesini sağlamıştır. Dolayısıyla yeraltında dolaşım yapan sular bölgedeki karbonat kayaçlardan Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> ve HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>'ü çözerek bünyesine katmış ve Ca-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> karakterinde suların oluşmasını sağlamıştır.

### Teşekkür (Acknowledgement)

Yazar, değerli yorum ve görüşleri ile makaleye katkılarından dolayı Prof. Dr. Ömer Elitok (SDÜ) ve Prof. Dr. Ayşen Davraz'a (SDÜ), arazi ve laboratuvar çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Jeoloji Mühendisi Ümit Memiş (SDÜ)'e teşekkür eder.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

### Kaynaklar (References)

- Abubakar, İ.İ., Yağmurlu, F., 2017. Isparta Güneyindeki Tersiyer Kaya Birimlerinin Petrol Olanaklarının Araştırılması (GB-Türkiye). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21, 1, 38-50, doi: 10.19113/sdufbed.04704
- Ağca, N., 2014. Spatial Variability of Groundwater Quality and Its Suitability for Drinking and Irrigation in the Amik Plain (South Turkey). Environmental Earth Science, 72, 4115-4130, doi: 10.1007/s12665-014-3305-7.
- Adams, S., Titus, R., Pietersen, K., Tredoux, G., Harris, C., 2001. Hydrochemical Characteristics of Aquifers Near Sutherland in the Western Karoo, South Africa. Journal of Hydrology, 241, 91-103, doi:10.1016/S0022-1694(00)00370-X.
- Adji, T.N., Haryono, E., Fatchurohman, H., Oktama, R., 2017. Spatial and Temporal Hydrochemistry Variations of Karst Water in Gunung Sewu, Java, Indonesia. Environmental Earth Science, 76, 709, doi: 10.1007/s12665-017-7057-z
- Akpataku, K.V., Gnazou, M.D.T., Bawa, L.M., Djaneye-Boundjou, G., Faye, S., 2016. Etude hydrogéochimique du système aquifère granito-gneissique dans la préfecture du Moyen-Mono, Togo. Afrique Science, 12 (2), 38-53. <http://www.afriquescience.info/document.php?id=5978>. ISSN 1813-548X.
- Akpataku, K.V., Rai, S.P., Gnazou, M.D.T., Tampo, L., Bawaa, L.M. Boundjou, G.D., Faye, S., 2019. Hydrochemical and Isotopic Characterization of Groundwater in the Southeastern part of the Plateaux Region, Togo. Hydrological Sciences Journal, 64, 8, 983-1000. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1615067>
- Aly, A.A., Abbas, A.A., Benaabidate, L., 2011. Hydrochemistry and Quality of Groundwater Resources in Egypt: Case Study of the Egyptian Southern Oases. Water Security in the Mediterranean region: An International Evaluation of Management, Control and Governance Approaches, Chapter 17, 239254. Springer. DOI: 10.1007/978-94-007-1623-0\_17
- APHA-AWWA-WEF, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). In: American Public Health Association (eds) Eaton A D, Clesceri L S, Rice E W and Greenberg A E, Washington, DC.
- Appello, C.A.J., Postma, D., 1996. Geochemistry, Groundwater and Pollution. Balkema, Rotterdam, 536p.
- Ashwin, K. R. N, Arulmozhi, S., Gopalan, A., Mageshkumar, P., Rangaraj, A., Panneerselvam, M., Nirmala Devi, B., Aravindhan, C., Prasath, E., David Ladu, N. S., 2022. Correlation, Regression Analysis, and Spatial Distribution Mapping of WQI for an Urban Lake in Noyyal River Basin in the Textile Capital of India. Advances in Materials Science and Engineering, 1687-8434, 3402951, <https://doi.org/10.1155/2022/3402951>
- Back, W., Cherry, R.N., Hanshaw, B.B., 1966. Chemical equilibrium between the water and minerals of carbonate aquifer. Bulletin of the National Speleological Society, 28, 119-126.
- Bahir, M., Ouhamdouch, S., Ouazar, D., Chehbouni, A., Ouarani, M., El Mountassir, O., 2021. Groundwater Quality of the Alluvial and Carbonate Aquifers of Essaouira Basin (Morocco). Carbonates and Evaporites, 36, 23, <https://doi.org/10.1007/s13146-021-00697-7>
- Benamina, B., Azzaz, H., Benzater, B., Hamimed, A., 2022. The Hydrogeological Functioning of the Karstic Aquifer in Sidi Kada Mountains (North-Western Algeria) from Hydrochemical Records. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 40, 252-267, DOI: 10.14744/sigma.2022.00030
- Buhmann, D., Dreybrodt, W., 1985. The Kinetics of Calcite Dissolution and Precipitation in Geologically Relevant Situations of Karst Areas. Chemical Geology, 48, 189-211. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(85\)90024-5](https://doi.org/10.1016/0009-2541(85)90024-5).



- Calmbach, L., 1999. AquaChem Computer Code-Version 3.7: Aqueous Geochemical Analyses, Plotting and Modelling; Waterloo Hydrogeologic, Waterloo, Ontario, Canada, 184p.
- Chidambaram, S., Prasanna M.V., Karmegam, U., Singaraja, C., Pethaperumal, S., Manivannan, R., Anandhan, P., Tirumalesh, K., 2011. Significance of pCO<sub>2</sub> Values in Determining Carbonate Chemistry in Groundwater of Pondicherry Region, India. *Frontiers of Earth Science*, 5 (2), 197-206 DOI 10.1007/s11707-011-0170-5
- Daniele, L., Vallejos, A., Corbella, M., Molina, L., Pulido-Bocsh, A., 2013. Hydrogeochemistry and Geochemical Simulations to Assess Water-rock interactions in Complex Carbonate Aquifers: The case of Aguadulce (SE Spain), *Applied Geochemistry*, 29, 43-54. doi:10.1016/j.apgeochem.2012.11.011
- Dar, F.A., Perrin, J., Ahmed, S., Narayana, A. C., Riotte, J., 2015. Hydrogeochemical Characteristics of Karst Aquifer from a Semi-arid Region of Southern India and Impact of Rainfall Recharge on Groundwater Chemistry. *Arabian Journal of Geoscience*, 8, 2739-2750. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1440-9>
- Demer, S., 2008. Isparta ve Yakın Çevresi Yeraltısularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal İncelenmesi ve İçme Suyu Kalitesinin İzlenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 171s., Isparta.
- Demer, S., 2010. Isparta Ovası Yeraltısularının İzotop Jeokimyası. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14-3, 285-292.
- Demer, S., Hepdeniz, K., 2018. Isparta Ovasında (GB-Türkiye) Sulama Suyu Kalitesinin İstatistik ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 70, 109-122. DOI: 10.17211/tcd.397876.
- Demer, S., Elitok, Ö., Memiş, Ü., 2019. Origin and Geochemical Evolution of Groundwaters at the Northeastern Extend of the Active Fethiye-Burdur Fault Zone within the Ophiolitic Teke Nappes, SW Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 783, <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4963-2>
- Dişli, E., 2018. Evaluation of Hydrogeochemical Processes for Waters' Chemical Composition and Stable Isotope Investigation of Groundwater/Surface Water in Karst-Dominated Terrain, the Upper Tigris River Basin, Turkey. *Aquatic Geochemistry*, 24, 363-396. <https://doi.org/10.1007/s10498-019-09349-8>
- Dursun, İ., Yazıcı, N., 2022. Köppen-Trewartha ve Thornthwaite Yöntemlerine Göre Isparta Yöresi İklim Tipinin Belirlenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8 (2), 264-279, DOI: 10.21324/dacd.1025029
- Ford, D., Williams, P. W., 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. Wiley, Chichester, pp 562
- Gaillardet, J., Dupre, B., Louvat, P., Alle'gre, C.J., 1999. Global Silicate Weathering and CO<sub>2</sub> Consumption Rates Deduced from the Chemistry of Large Rivers. *Chemical Geology*, 159 (1), 3-30. doi:10.1016/S0009-2541(99)00031-5
- Gao, X., Li, X., Wang, W., Li, C., 2020. Human Activity and Hydrogeochemical Processes Relating to Groundwater Quality Degradation in the Yuncheng Basin, Northern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 867. doi:10.3390/ijerph17030867
- Gibbs, R.J., 1970. Mechanisms Controlling World's Water Chemistry. *Science*, 170, 1088-1090.
- Gil-Márquez, J.M., Andreo, B., Mudarra, M., 2019. Combining Hydrodynamics, Hydrochemistry, and Environmental Isotopes to Understand the Hydrogeological Functioning of Evaporite-karst Springs. *Journal of Hydrology*, 576, 299-314. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.055>.
- Goepfert, N., Goldscheider, N., Scholz, H., 2011. Karst Geomorphology of Carbonatic Conglomerates in the Folded Molasse Zone of the Northern Alps (Austria/Germany). *Geomorphology*, 130, 289-298. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.04.011.
- Goldscheider, N., 2005. Karst Groundwater Vulnerability Mapping: Application of a New Method in the Swabian Alb, Germany. *Hydrogeology Journal*, 13 (4), 555-564. DOI: 10.1007/s10040-003-0291-3.
- Goldscheider, N., Chen, Z., Auler, A.S., Bakalowicz, M., Broda, S., Drew, D., Hartmann, J., Jiang, G., Moosdorf, N., Stevanovic, Z., Veni, G., 2020. Global Distribution of Carbonate Rocks and Karst Water Resources. *Hydrogeology Journal*, 28, 1661-1677. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02139-5>
- Herms, I., Jódar, J., Soler, A., Lambán, L.J., Custodio, E., Núñez, J.A., Arnó, G., Parcerisa, D., Jorge-Sánchez, J., 2021. Identification of Natural and Anthropogenic Geochemical Processes Determining the Groundwater Quality in Port del Comte High Mountain Karst Aquifer (SE, Pyrenees). *Water*, 13, 2891. <https://doi.org/10.3390/w13202891>
- Hill, C.A., Forti, R., 1997. Cave Minerals of the World. National Speleological Society, Huntsville, Alabama, 238 pp.
- Hoaghia, M.A., Moldovan, A., Kovacs, E., Mirea, I.C., Kenesz, M., Brad, T., Cadar, O., Micle, V., Levei, E.A., Moldovan, O.T., 2021. Water Quality and Hydrogeochemical Characteristics of Some Karst Water Sources in Apuseni Mountains, Romania. *Water*, 13, 857. <https://doi.org/10.3390/w13060857>
- Hounslow, A.W., 1995. Water Quality Data: Analysis and Interpretation. Lewis Publishers.
- Irlayıcı, A., 1993. Isparta Ovası Hidrojeolojisi ve Yeraltısuları ile İlgili Çevre Sorunları. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Karagüzel, R., Irlayıcı, A., 1998. Groundwater Pollution in the Isparta Plain, Turkey. *Environmental Geology*, 34, 4, 303-308.
- Kharaka, Y.K., Gunter, W.D., Aggarwal, P.K., Perkins, E.H., Debraal, J.D., 1988. SOLMINEQ.88: A computer Program for Geochemical Modeling of Water-Rock Interactions. US Geol Surv Water-Resources Investigation Report 88-4227: 420 p.
- Krawczyk, W.E., Ford, D.C., 2006. Correlating Specific Conductivity with Total Hardness in Limestone and Dolomite Karst Waters. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31(2), 221-234. doi:10.1002/esp.1232
- Kumar, M., Herbert, R., Pawan Kumar Jha, P., Deka, J.P., Rao, M.S., Ramanathan, A.L., Kumar, B., 2016. Understanding the Seasonal Dynamics of the Groundwater Hydrogeochemistry in National Capital Territory (NCT) of India Through Geochemical Modelling. *Aquatic Geochemistry*, 22, 211-224. <https://doi.org/10.1007/s10498-016-9289-z>
- Lakshmanan, E., Kannan, R., Senthil Kumar, M., 2003. Major Ion Chemistry and Identification of Hydrogeochemical Processes of Ground Water in a part of Kancheepuram District, Tamil Nadu. *India Environmental Geosciences*, 10(4), 157-166. <https://doi.org/10.1306/eg100403011>
- Langmuir, D., 1971. The Geochemistry of Some Carbonate Ground Waters in Central Pennsylvania. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 35, 1023-1045.
- Leventeli, Y., 2010. Tahtalı Dağı'nın (Antalya) Hidrojeolojik Geleceği. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1), 139-144.
- Lippmann, E., 1973. Sedimentary Carbonate Minerals. Springer-Verlag, Berlin, 228 pp.

- Liu, F., Song, X., Yang, L., Zhang, Y., Han, D., Ma, Y., Bu, H., 2015. Identifying the Origin and Geochemical Evolution of Groundwater Using Hydrochemistry and Stable Isotopes in the Subei Lake Basin, Ordos Energy Base, Northwestern China. *Hydrology Earth System Sciences*, 19, 551–565. <https://doi.org/10.5194/hess-19-551-2015>.
- Mayo, A.L., Loucks, M.D., 1995. Solute and Isotopic Geochemistry and Groundwater Flow in the Central Wasatch Range, Utah, USA. *Journal of Hydrology*, 172, 31–59. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02748-E](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02748-E)
- McLean, W., Jankowski, J., 2000. Groundwater Quality and Sustainability in an Alluvial Aquifer, Australia. In: Sililo et al (eds) Proc XXX IAH Congress on Groundwater: Past Achievements and Future Challenges. Cape Town South Africa 26th November–1st December 2000. AA Balkema, Rotterdam, Brookfield
- Meybeck M., 1987. Global Chemical Weathering of Surficial Rocks Estimated from River Dissolved Loads. *American Journal of Science*, 287, 401–428. <https://doi.org/10.2475/ajs.287.5.401>
- Moral, F., Cruz-Sanjulian, J.J., Olias, M., 2008. Geochemical Evolution of Groundwater in the Carbonate Aquifers of Sierra de Segura (Betic Cordillera, southern Spain). *Journal of Hydrology*, 360, 281–296. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.07.012
- Mthembu, P.P., Elumalai, V., Brindha, K., Li, P., 2020. Hydrogeochemical Processes and Trace Metal Contamination in Groundwater: Impact on Human Health in the Maputaland Coastal Aquifer, South Africa. *Exposure and Health*, 12, 403–426. <https://doi.org/10.1007/s12403-020-00369-2>
- Nasher, N.M.R., Ahmed, M.H., 2021. Groundwater Geochemistry and Hydrogeochemical Processes in the Lower Ganges-Brahmaputra-Meghna River Basin Areas, Bangladesh. *Journal of Asian Earth Sciences*, 6, 100062. <https://doi.org/10.1016/j.jaesx.2021.100062>
- Nazik, L., Tuncer, K., 2010. Türkiye Karst Morfolojisinin Bölgesel Özellikleri. *Türk Speleoloji Dergisi, Karst ve Mağara Araştırmaları Dergisi*, 1, 7–19.
- Nazik, L., Poyraz, M., 2017. Türkiye Karst Jeomorfolojisi Genelini Karakterize Eden Bir Bölge: Orta Anadolu Platoları Karst Kuşağı. *Türk Coğrafya Dergisi*, 68, 43–56. <https://doi.org/10.17211/tcd.300414>.
- Njitchoua, R., Devera L., Fontesa, J.Ch., Naah, E., 1997. Geochemistry, Origin and Recharge Mechanisms of Groundwaters from the Garoua Sandstone Aquifer, Northern Cameroon. *Journal of Hydrology*, 190 (1), 123–140. doi:10.1016/S0022-1694(96)03049-1
- Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., 1999. User's guide to PHREEQC (Version 2)-A Computer Program for Speciation, Batch reaction, One-dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report 99-4259, p. 310.
- Petalas, C., 2017. Analysis of the Hydrogeological and Hydrochemical Characteristics of an Immature Karst Aquifer System. *Environmental Processes*, 4, 603–624. <https://doi.org/10.1007/s40710-017-0250-y>
- Piper, A.M., 1944. A Graphical Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis. *Transactions American Geophysical Union*, 25, 6, 914–928. <https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914>
- Plummer, L.N., Wigley, T.M.L., Parkhurst, D.L., 1978. The Kinetics of Calcite Dissolution in CO<sub>2</sub> Water Systems at 5–60 °C and 0.0–1.0 atm CO<sub>2</sub>. *American Journal of Science*, 278, 179–216.
- Poisson, A., Akay, E., Dumont, J.F., Uysal, Ş., 1984. The Isparta Angle: A Mesozoic Paleorift in the Western Taurides. In: Tekeli, O., and Göncüoğlu, M.C. (eds.). *Geology of the Taurus Belt International Symposium*. 11–26, Ankara/Turkey.
- Poisson, A., Yağmurlu, F., Bozcu, M., Şentürk, M., 2003. New Insights on the Tectonic Setting and Evolution Around the Apex of the Isparta Angle (SW Turkey). *Geological Journal*, 38, 257–282.
- Robertson, A.H.F., Woodcock, N.H., 1984. The SW Segment of the Antalya Complex, Turkey as a Mesozoic–Tertiary Tethyan Continental Margin. In *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, Dixon J.F., Robertson A.H.F. (eds). Special Publications 17. Geological Society, London, 251–271.
- Sappa, G., Barbieri, M., Ergul, S., Ferranti, F., 2012. Hydrogeological Conceptual Model of Groundwater from Carbonate Aquifers Using Environmental Isotopes (<sup>18</sup>O, <sup>2</sup>H) and Chemical Tracers: A Case Study in Southern Latium Region, Central Italy. *Journal of Water Resource and Protection*, 4, 695–716. doi:10.4236/jwarp.2012.49080
- Singh, A.K., Hasnain, S.I., 2002. Aspects of Weathering and Solute Acquisition Processes Controlling Chemistry of Sub-Alpine Proglacial Streams of Garhwal Himalaya, India. *Hydrological Processes*, 16, 835–849. <https://doi.org/10.1002/hyp.367>
- Singh, A.K., Mondal, G.C., Kumar, S., Singh T.B., Tewary, B.K., Sinha, A., 2008. Major Ion Chemistry, Weathering Processes and Water Quality Assessment in Upper Catchment of Damodar River basin, India. *Environmental Geology*, 54, 745–758. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0860-1>
- Skoglund, R.Ø., Lauritzen, S.E., 2011. Subglacial Maze Origin in Low-dip Marble Stripe Karst: Examples from Norway. *Journal of Cave and Karst Studies*, 73, 1, 31–43. DOI: 10.4311/jcks2009ES0108
- Stumm, W., Morgan, J.J., 1996. *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. 3rd Edition, John Wiley and Sons, New York.
- Su, H., Geng, D., Zhang, Z., Luo, Q., Wang, J., 2020. Assessment of the Impact of Natural and Anthropogenic Activities on the Groundwater Chemistry in Baotou City (North China) Using Geochemical Equilibrium and Multivariate Statistical Techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 27651–27662, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09117-0>
- Su, Y., Yang, F., Chen, Y., Zhang, P., Zhang, X., 2021. Optimization of Groundwater Exploitation in an Irrigation Area in the Arid Upper Peacock River, NW China. Implications for Sustainable Agriculture and Ecology. *Sustainability*, 13, 8903. <https://doi.org/10.3390/su13168903>.
- Szramek, K., Walter, L.M., Kanduč, T., Ogrinc, N., 2011. Dolomite versus Calcite Weathering in Hydrogeochemically Diverse Watersheds Established on Bedded Carbonates (Sava and Soca Rivers, Slovenia). *Aquatic Geochemistry*, 17, 357–396. DOI 10.1007/s10498-011-9125-4
- Şenel, M., 1984. Discussion on the Antalya Nappes. In: Tekeli, O., and Göncüoğlu, M.C. (eds.). *Geology of the Taurus Belt International Symposium*. 41–51, Ankara/Turkey.
- Şenel, M., 1997. 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Isparta-J11 paftası, No: 14. MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Şenel, M., Gedik, I., Dalkılıç, H., Serdaroğlu, M., Bilgin, A.Z., Uğuz, M.F., Bölükbaşı, A.S., Korucu, M., Özgül, N., 1996. Isparta Bükümlü Doğusunda, Otokton ve Allohton Birimlerin Stratigrafisi (Batı Toroslar). *MTA Dergisi*, 118, 111–160.

- Şener, Ş., Şener, E., 2016. Kovada Gölü'nün (Isparta) Hidrojeokimyasal İncelemesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 4(2), 49-58, DOI: 10.21923/jesd.92987.
- Van der Weijden, C.H., Pacheco, F.A.L., 2003. Hydrochemistry, Weathering and Weathering Rates on Madeira Island. *Journal of Hydrology*, 283, 122-145, doi:10.1016/S0022-1694(03)00245-2.
- Wu, C., Wu, X., Lu, C., Sun, Q., He, X., Yan, L., Qin, T., 2021. Hydrogeochemical Characterization and Its Seasonal Changes of Groundwater Based on Self-Organizing Maps. *Water*, 13, 3065. <https://doi.org/10.3390/w13213065>
- Zhang, B., Zhao, D., Zhou, P., Qu, S., Liao, F., Wang, G., 2020. Hydrochemical Characteristics of Groundwater and Dominant Water-Rock Interactions in the Delingha Area, Qaidam Basin, Northwest China. *Water*, 12(3), 836. <https://doi.org/10.3390/w12030836>
- Zhou, Z., Zhang, G., Yan, M., Wang, J., 2012. Spatial Variability of the Shallow Groundwater Level and Its Chemistry Characteristics in the Low Plain Around the Bohai Sea, North China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 3697-3710. DOI: 10.1007/s10661-011-2217-1.



## MISIR PÜSKÜLÜ TOZU İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ GLUTENSİZ ERİŞTE ÜRETİMİ

Eylem ODABAŞ<sup>1</sup>, Hülya ÇAKMAK<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Hitit Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gıda Mühendisliği ABD, 19030, Çorum, Türkiye

<sup>2</sup> Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 19030, Çorum, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Mısır Püskülü,  
Sarı Mercimek Unu,  
Glutensiz Erişte,  
Besinsel Lif.

### Öz

Besinsel lifler, yüksek oranda nişasta dışı polisakkaritlerden oluşmakta olup, çözünmez fraksiyonları kolesterolü düşürmeye yardımcı olurken, çözünür fraksiyonları sindirim sistemi sağlığının korunmasına yardımcı olur. Glutensiz ürünlerde besinsel lif içeriğinin çoğunlukla nişasta kullanımına bağlı olarak düşük olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, %60 oranında ısıtılmış işlem görmüş (ISU) veya ısıtılmamış (SU) sarı mercimek unu ile pirinç unu ve patates nişastası içeren yüksek protein içeriğine sahip glutensiz eriştelere, %0.5-1-2.5-5. (toplam un karışımı temelinde) oranlarda mısır püskülü tozu (MT) eklenerek üretilen glutensiz eriştelere besinsel lif içeriği artırılmak istenmiştir.

SMT (ısıtılmamış mercimek unundan üretilen) eriştelere MT'nin artan oranlarda ilavesi kül içeriğinde önemli bir fark yaratmazken ( $p>0.05$ ), ISMT (ısıtılmış mercimek unundan üretilen) eriştelere MT'nin %5 kullanılması kül içeriğinde kontrol örneğine kıyasla önemli düzeyde artışa yol açmıştır ( $p<0.05$ ). SMT ve ISMT eriştelere artan oranlarda MT ile toplam besinsel lif (TBL) içeriği önemli düzeyde artmıştır ( $p<0.05$ ). Ayrıca MT ile zenginleştirilen ISU eriştelere göre daha yüksek TBL içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. MT ile zenginleştirilen glutensiz erişte örneklerinde, MT'nin artan oranlarda ilavesi, SMT eriştelere pişme kaybının azalmasını sağlarken, ISMT eriştelere artışa neden olmuştur ( $p<0.05$ ). Ayrıca SMT ve ISMT eriştelere MT'nin artışı pişme süresinin uzamasına yol açarken, parlaklık ve sarılık değerini önemli düzeyde azaltmıştır ( $p<0.05$ ).

## PRODUCTION of GLUTEN-FREE NOODLES ENRICHED with CORN SILK POWDER

### Keywords

Corn Silk,  
Yellow Lentil Flour,  
Gluten-Free Noodle,  
Dietary Fiber.

### Abstract

Dietary fiber is composed of high levels of non-starch polysaccharides, and their insoluble fractions decreases blood cholesterol whereas soluble fractions help to improve gastrointestinal health. Depending on using starch-based flours in gluten-free products, they might have low dietary fiber content as it was stated in the literature. In this study, gluten-free noodles having 60% of raw (SU) or heat-treated yellow lentil flour (ISU) were enriched with increasing amounts of corn silk powder (MT) (0.5, 1, 2.5, and 5%, on total flour basis), for improving the total dietary fiber contents of the noodles.

The ash content of gluten-free noodles with SU did not significantly increased depending on the increasing levels of MT ( $p>0.05$ ), whereas 5% MT added noodle produced from ISU had significantly higher ash compared to the control sample ( $p<0.05$ ). Besides, increasing levels of MT for both noodles had an increasing trend in the total dietary fiber (TBL) amount ( $p<0.05$ ). It has also determined that ISU noodles had comparably higher TBL than SU noodles. Enrichment with MT decreased the cooking loss of SU noodles, but increased in ISU noodles ( $p<0.05$ ). Also, increasing the level of MT extended the cooking period, while decreasing the brightness and yellowness values for both noodle types ( $p<0.05$ ).

\* İlgili yazar / Corresponding author; hulyacakmak@hitit.edu.tr, +90-364-227-4536

**Alıntı / Cite**

Odabaş, E., Çakmak, H. (2023). Mısır Püskülü Tozu ile Zenginleştirilmiş Glutensiz Erişte Üretimi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 693-707.

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

E. Odabaş, 0000-0001-5034-1370  
H. Çakmak, 0000-0002-4936-939X

**Makale Süreci / Article Process**

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	27.12.2022
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	03.03.2023
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	09.03.2023
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

# PRODUCTION OF GLUTEN-FREE NOODLES ENRICHED WITH CORN SILK POWDER

Eylem ODABAŞ<sup>1</sup>, Hülya ÇAKMAK<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Hitit University, Institute of Graduate Studies, Department of Food Engineering, 19030, Corum, Türkiye

<sup>2</sup>Hitit University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 19030, Corum, Türkiye

---

## Highlights

- Corn silk powder is a good source of dietary fiber.
- Raw and heat-treated yellow lentil flour can be used for production of protein-rich noodles.
- Corn silk powder can be incorporated into gluten-free noodles as a source of dietary fiber.
- Corn silk powder has appreciable amounts of water-soluble proteins and antioxidant compounds.

---

## Purpose and Scope

Gluten-free products generally known as energy (calorie) dense and have unbalanced nutrient composition because of high fat and carbohydrate rich ingredients. Therefore, their formulations should be redesigned by incorporating novel ingredients such as legume flours and plant-based dietary fiber sources. For this purpose, gluten-free noodles including raw (SU) or heat-treated yellow lentil flour (ISU) were enriched with corn silk powder (MT) in order to increase the total dietary fiber contents of the noodles.

## Design/methodology/approach

The yellow lentil based gluten-free noodles were prepared according to traditional Turkish noodle production with the gluten-free ingredients. Control and MT-enriched noodle quality were tested in terms of nutritional composition, cooking quality, color and microstructural analysis. Statistical analyses were performed for evaluation and discussion of possible differences between samples.

## Findings

Increasing the amounts of MT for SU and ISU including noodles had an increasing trend in the total dietary fiber amount ( $p<0.05$ ). It has also determined that ISU noodles had comparably higher TBL than SU noodles because of TBL of heat-treated yellow lentil flour had higher TBL than SU. Besides, corn silk powder enriched gluten-free noodles had significantly higher total antioxidant capacity than control samples ( $p<0.05$ ). Enrichment with MT caused a significant decrease in cooking loss of SU-based noodles, whereas the cooking loss of ISU noodles increased significantly by increasing amount of MT addition ( $p<0.05$ ). Also, increasing the level of MT extended the optimum cooking time significantly ( $p<0.05$ ). Depending on the dark brownish color of MT, enrichment of noodles with MT resulted in decreasing of the brightness of gluten-free noodles. Besides, the yellowness values decreased depending on the increasing the ratio of MT for both noodle types ( $p<0.05$ ).

## Research limitations/implications

Corn silk powder enrichment has helped to increase the total dietary fiber content of the gluten-free noodles; however, the optimum level of enrichment should be limited to maximum 2.5% on flour mixture basis. Over those limit, the cooking quality was adversely affected.

## Practical implications

Corn silk powder can be used as a dietary fiber source in several food products including traditional gluten-free Turkish noodles. Thus, this agricultural by-product will not only gain an economic value, but also will help to develop novel food formulations with improved nutritional composition.

## Originality

Corn silk powder due to its antioxidant properties mostly employed for enriching the antioxidant capacity of added food product. However, it has a great potential for development of plant-based dietary fiber including food products. Thus, this study proved that the corn silk powder, which is an underutilized by-product, could successfully incorporated in to the plant-based protein rich gluten-free noodles with a sustainable food production approach.

---

## 1. Giriş (Introduction)

Asya'da temel gıda maddesi olarak tüketilen erişte, çeşitli tahıl unlarına tuz ve suyun ilave edilmesi sonucu oluşan hamurun, açma ve kesme işlemlerinden sonra kurutulması ile elde edilmektedir (Heo vd, 2013). İşleme

---

<sup>†</sup> Corresponding author: hulyacakmak@hitit.edu.tr, +90-364-227-4536

koşullarına (geleneksel veya endüstriyel yöntemler), kullanılan un çeşidine, yumurta kullanılıp kullanılmaması gibi değişkenlere bağlı olarak çok farklı erişte çeşidi üretilebilmektedir. Bununla birlikte, eriştenin ana hammaddesi olan buğday ununun gluten proteinleri içermesi, çölyak hastalığı, gluten alerjisi ve çölyak dışı gluten duyarlılığı olan bireylerin tüketimini engellemektedir (Balakireva ve Zamyatnin, 2016). Son yıllarda, çölyak hastalığının daha iyi teşhis edilmesi ve glutensiz ürünlerin daha sağlıklı ve formda kalmaya yardımcı olduğunu düşünen insanların sayısındaki artışla birlikte glutensiz ürünlere olan talep hızla artmaktadır (Ungureanu-Iuga vd., 2020). Son yıllarda belirtilen sebeplerle glutensiz ürün çeşitliliğini artırma, besin içeriğini, tekstürünü ve duyuşsal özelliklerini iyileştirme üzerine araştırmalar gerçekleştirilmektedir.

Glutensiz erişte üretiminde, gluten proteininin eksikliğinden kaynaklı olarak hamurda yapı veya ağ oluşumu sağlanamamaktadır (Heo vd., 2013). Glutensiz erişte üretiminde pirinç unu, yumuşak tadı, yüksek sindirilebilirliği ve erişte tekstürüne fayda sağlayan daha küçük nişasta granüllerine sahip olması nedeniyle buğday ununun en iyi ikamesi olarak kabul edilip en sık kullanılan temel hammaddelerden bir tanesidir (Padalino vd., 2016; Kang vd., 2017). Literatür incelendiğinde, pirinç unundan üretilen glutensiz eriştenin besinsel içeriği ve ürün kalitesinin iyileştirmek için, formülasyona yalancı tahıllar, baklagiller, diğer nişasta kaynakları veya hidrokolloidler gibi maddeler ilave edildiği görülmektedir (Padalino vd., 2016; Levent, 2017; Odabas ve Cakmak, 2022; Odabas vd., 2022). Baklagiller, yüksek protein içeriğine sahip olup, esansiyel amino asit olan lizin açısından da zengin olması sebebiyle gıda zenginleştirme amacıyla tercih edilen bir besin grubudur (Bresciani vd., 2021). Ayrıca dirençli nişasta, besinsel lif, vitaminler, mineraller, fenolik bileşenler bakımından da zengindir (Roy vd., 2010; Piecyk vd., 2012; Bresciani vd., 2021; Odabaş, 2021). Sarı mercimek bilinen en eski baklagil kaynaklarından biri olup, yüksek protein içeriği (%20.6-31.4) sayesinde önemli bir hammadde kaynağıdır (Navare, 2019). Ayrıca sarı mercimeğin, makarnalık buğday irmiğine benzeyen kotiledon rengi makarna ve erişte üretimi için ideal bir hammadde olarak kullanım potansiyelini arttırmaktadır (Bresciani vd., 2021; Odabas ve Cakmak, 2022).

Mısır püskülü, mısır koçanının tepesinde bulunan ve genellikle organik gübre ya da hayvan yemi olarak değerlendirilen tarımsal bir atıktır (Singh vd., 2022a). Ancak iyi bir protein (%12.9-19.1) ve besinsel lif (%39.4-53.3) kaynağı olduğu bilinmektedir (Singh vd., 2022d). Besinsel lifin bir kısmı pektin, glukon ve glukomannan gibi çözünür fraksiyonlardan oluşurken, selüloz, hemiselüloz ve lignin ise çözünmez besinsel lif fraksiyonlarını oluşturmaktadır (Singh vd., 2022a). Flavonoidlerce zengin olan mısır püskülünün, antosiyaninler, tanenler, tanen benzeri polifenoller, fenolik asitler ile karotenoidleri içerdiği belirtilmektedir (Hasanudin vd., 2012; Thapphasaraphong vd., 2016; Abudayah vd., 2022; Singh vd., 2022d). Geleneksel tıpta antidiyabetik ve antihipertansif olarak bilinen mısır püskülü, gut, hiperglisemi, obezite, ödem, romatizma, sarılık, sistit ve diğer üriner enfeksiyonları tedavi etmek amacıyla kullanılırken, yapılan hayvan testleriyle mısır püskülü ekstraktının pıhtılaşma ve kanama bozukluklarında terapötik potansiyeli olduğu belirtilmektedir (Abudayah vd., 2022; Singh vd., 2022a; 2022b). Mısır püskülü yetiştirildiği bölge, mısır çeşidine ve mısırın olgunluğuna bağlı olarak değişmekle birlikte önemli miktarda karbonhidrat, vitaminler, sodyum, magnezyum, potasyum ve kalsiyum gibi mineraller ile, uçucu yağlar, steroid ve alkaloidler içermektedir (Rahman ve Rosli, 2014; Singh vd., 2022a; 2022b). Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde mısır püskülü tozunun buğday unundan üretilen erişteleri, papayadan üretilen atıştırılmalıkları, sığır etinden üretilen köfteleri besinsel lif ve polifenollerce zenginleştirmek amacıyla başarıyla kullanılabilirdiği görülmüştür (Logan-del Castillo vd., 2020; Singh ve Raghuvanshi, 2021; Ning vd., 2022). Mısır püskülünün yapısında bulunan besin öğeleri dikkate alındığında, bu tarımsal atığın fonksiyonel bir bileşen olarak glutensiz gıdaları besinsel lif ve antioksidanca zenginleştirme amacıyla kullanılabilirdiği öngörülmüştür.

Bu çalışmada, sarı mercimek unu (SU) ve ısıl işlem görmüş sarı mercimek unu (ISU) kullanılarak üretilen glutensiz erişte formülasyonlarını, besinsel lif içeriğini zenginleştirmek amacıyla farklı oranlarda (%0.5-0.5-1.25-2.5) mısır püskülü tozu (MT) eklenmiştir. MT oranına bağlı olarak glutensiz eriştelerin besin içeriği, pişme kalitesi, renk ve mikro yapıya olan etkileri incelenmiştir.

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

### 2.1. Materyal (Material)

Sarı mercimek tohumu Yayla Agro Gıda Sanayi ve Nakliyat A. Ş. (Mersin), glutensiz pirinç unu Dr. Oetker Gıda San. ve Tic. A. Ş. (İzmir), patates nişastası Başak Tüketim ve Gıda A. Ş. (İstanbul), ksantan gam Brenntag Kimya Tic. Ltd. Şti. (İstanbul)'dan temin edilmiştir. Bütün taze yumurta ve sofralık tuz Çorum'da bulunan yerel marketten satın alınmıştır. Mısır püskülü, Çorum'da bulunan bir tarladan taze olarak toplanan mısırlardan ayıklanıp kurutularak elde edilmiştir.

Kimyasal analizlerde kullanılan aseton (%99,5, Tekkim, Türkiye), DPPH (Sigma-Aldrich, Amerika), etil alkol (%99,9, Tekkim, Türkiye), folin (Merck, Almanya), hidroklorik asit (%37, Isolab, Almanya), Megazyme toplam besinsel lif kiti (Megazyme International, Wicklow, İrlanda), MES hidrat (Sigma-Aldrich, Amerika), petrol eteri (Isolab, Almanya), sodyum hidroksit (%99 Tekkim, Türkiye) ve Troloks (Sigma-Aldrich, Amerika) yerel tedarikçilerden temin edilmiştir.

## 2.2. Yöntem (Method)

### 2.2.1. Hammadde analizleri (Analysis of raw material)

Hammaddelerin parçacık boyutu, 2 mm–125 µm arasındaki ASTM-E11 standardına uygun elek seti ile elek sallama cihazı (Jeotest, JG035/1, Türkiye) kullanılarak incelenmiştir. Analiz 3 paralel gerçekleştirilmiştir.

Hammaddelerin nem, kül, yağ ve ham protein miktarları AACC ve AOAC standart yöntemleri (Metot no: 44-17.01, 08-01, 30-25.01, 46-11A, 981.12 ve 942.15) ile belirlenmiştir (AOAC, 1990; AACC, 2009).

Sarı mercimek unları ve mısır püskülü tozlarının suda çözünür protein içerikleri Lowry yöntemine göre belirlenmiştir (Aydemir ve Akcakaya, 2019). Bu yöntemle örneklerin ilk önce suda çözünür ekstraktı hazırlanmış, daha sonra bu ekstrakt Lowry reaktifine reaksiyona sokulmuştur. Bu karışım 1 saat karanlıkta bekletildikten sonra karışımın absorbansı 750 nm'de spektrofotometrede (Shimadzu, UV-1800, Japonya) okunmuştur. Sonuçlar bovin serum albümini eşdeğeri (mg BSA/g örnek) olarak ifade edilmiştir.

Mısır püskülünün su tutma kapasitesi, şişme gücü ve çözünürlük değerleri Odabaş (2021) tarafından yapılan çalışmada belirtilen yöntemlere belirlenmiştir. Su tutma kapasitesi için 5 g örnek tartılarak 25 ml distile su içerisinde çözündürülerek santrifüj tüpüne aktarılmıştır. Daha sonra bu karışım 5. 10. 15. ve 20. dakikalarda çalkalanmış ve 20. dakika sonunda 4000 rpm'de 10 dakika oda sıcaklığında santrifüj (Sigma, 3-30K, Almanya) edilmiştir. Tüpte kalan serbest su yüzeyden uzaklaştırıldıktan sonra tüp tartılmış ve tortu ağırlığının örnek ağırlığına oranından su tutma kapasitesi yüzdesi hesaplanmıştır. Şişme gücü için, saf suyla ağırlıkça %2 hazırlanan örnek karışımı 95°C'de 30 dk ısıtılmıştır. Daha sonra jelatinize kısım 3000 rpm'de 10 dk santrifüj edilmiştir. Daha sonra üst faz ayrılarak kurutulmuştur. Jelatinize örneğin başlangıçtaki tartılan örnek miktarına oranından şişme kuvveti hesaplanmıştır. Çözünürlük yüzdesi ise, üst fazda ayrılan örnek ağırlığının başlangıçta tartılan örneğe oranından hesaplanmıştır.

Mısır püskülü tozunun renk değeri spektrofotometre (Konica Minolta, CM3600D, Japonya) kullanılarak CIE L\*a\*b\* renk uzayına göre ölçülmüştür. Bu renk uzayında L\* parlaklık (0: siyah, 100: beyaz), +a\*: kırmızılık, -a\*: yeşillik, +b\*: sarılık ve -b\*: mavilik değerini göstermektedir. Renk analizi en az 6 paralel olarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ortalama olarak belirtilmiştir.

Hammaddelerin toplam besinsel lif (TBL) içerikleri Megazyme toplam besinsel lif analiz kiti ile enzimatik-gravimetrik olarak belirlenmiştir (AACC metot no: 32-45.01, 2009). Örneğe MES-TRIS tamponu ilave edildikten sonra α-amilaz eklenerek 100°C'ye ayarlanan su banyosunda (Wise bath, Daihan Scientific, Kore) 30 dakika bekletilmiştir. Karışıma saf su, proteaz, HCl ve amiloglikozidaz ilave edildikten sonra 60°C'de 30 dk daha bekletilmiştir. Karışımlara %95'lik etil alkol eklendikten sonra Gosh krozelerinin üzerine karışım dökülerek %95'lik etil alkol ve asetonla yıkanmış ve krozeler 24 saat 105°C'de etüvde (Memmert, UN 55, Almanya) kurutulmuştur. Sonuçlar kuru madde temelinde %TBL olarak verilmiştir.

Hammaddelerin toplam antioksidan aktivite içerikleri DPPH indirgeme metoduna göre belirlenmiş olup (Xu vd., 2018), örneklerin absorbans değerleri spektrofotometrede (Shimadzu, UV-1800, Japonya) 517 nm'de ölçülmüştür. Troloks standart eğrisinin eğimi kullanılarak örneklerin toplam antioksidan aktivite değeri mM TEAK olarak hesaplanmıştır.

### 2.2.2. Glutensiz erişte üretimi (Production of gluten-free noodles)

Isıl işlem görmemiş sarı mercimek unu (SU) ve ısıl işlem görmüş sarı mercimek unu (ISU) Odabaş (2021) belirtilen yöntemle üretilmiştir (Şekil 1A ve 1B). Isıl işlem görmüş sarı mercimek unu üretimi için, sarı mercimek tohumları öncelikle yıkanmıştır, daha sonra ağırlıkça 1/5 mercimek/su olacak şekilde distile su ilave edilerek 9 saat suda bekletilmiştir. Fazla suyu süzülen mercimekler 20 dakika kaynar distile suda pişirilmiştir. Fazla suyu süzülen pişmiş mercimek tohumları 40°C'de etüvde (Memmert, UN 55, Almanya) 24 saat kurutulmuştur. Kurutulan tohumlar çekiçli değirmende (Brabender, SM3, Almanya) öğütülüp 250 mikron elekten geçen un erişte üretiminde kullanılmıştır.



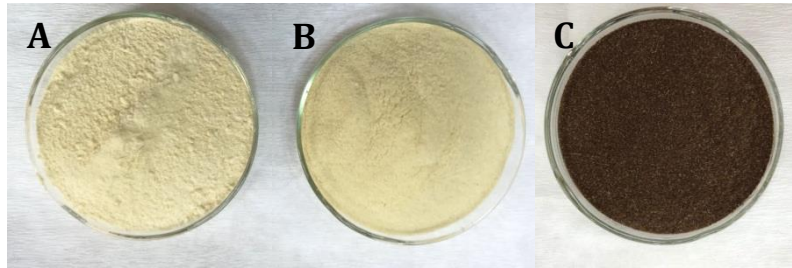
Mısır püskülü tozu (MT) üretmek için; mısır püskülleri yıkanıp 40°C'de etüvde (Memmert, UN 55, Almanya) 24 saat kurutulmuş ve laboratuvar ölçeğinde çekiçli değirmenle (Brabender SU3, Almanya) öğütülmüştür. Daha sonra 250 mikron standart elekten geçen örnekler glutensiz erişte üretiminde kullanılmıştır (Şekil 1C).

Glutensiz erişte üretiminde Odabas vd. (2022) yapmış olduğu çalışma dikkate alınarak %60 SU veya 60% ISU içeren glutensiz un karışımları kullanılmış ve Tablo 1'de detayları verildiği gibi %0.5, 1.0, 2.5 ve 5.0 oranlarında (toplam un temelinde) MT ile zenginleştirme yapılmıştır. Verilen glutensiz erişte formülasyonlarında erişte üretimi için öncelikle toz malzemeler karıştırılmış ve üzerine sırasıyla bütün yumurta ve su ilave edilerek 15 dakika boyunca hamur yoğurulmuştur. Hazırlanan hamur 20 dakika oda sıcaklığında bekletildikten sonra, erişte açma ve kesme makinesinde (Naturalove, MZ-150-A, Çin) inceltmiştir. Daha sonra uzun şeritler halinde kesilmiş ve şeritler 4 cm uzunluğunda dilimlenip 50 °C'de etüvde 16 saat kurutulmuştur. İki paralel olarak üretilen eriştelere Şekil 2' de görülmektedir. Erişte örnekleri analizlere kadar polietilen ambalajlarda kuru bir ortamda saklanmıştır.

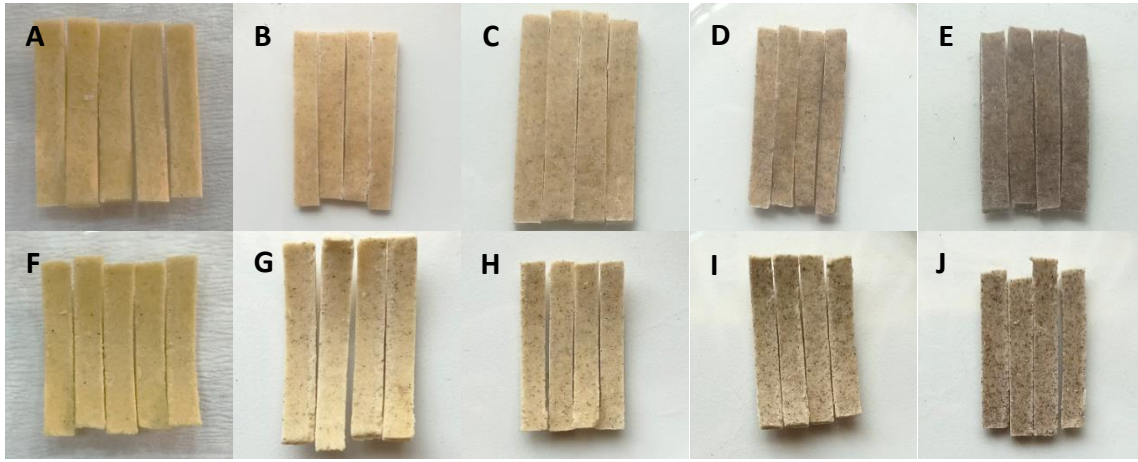
**Tablo 1.** Mısır Püskülü Tozu İçeren Glutensiz Erişte Formülasyonları (200 g toplam un karışımı temelinde)  
(Gluten-Free Noodle Formulations Including Corn Silk Powder (On 200 g of total flour mixture basis))

ÖRNEK	SU (g)	ISU (g)	PU (g)	PN (g)	MT (g)	YUMURTA (g)	SU (ml)	TUZ (g)	KSANTAN GAM (g)
SM-K	120.00	-	40.00	40.00	-	60	50	1	4
SMT0.5	119.50	-	39.75	39.75	1.0	60	53	1	4
SMT1	119.00	-	39.50	39.50	2.0	60	54	1	4
SMT2.5	117.50	-	38.75	38.75	5.0	60	56	1	4
SMT5	115.00	-	37.50	37.50	10.0	60	62	1	4
ISM-K	-	120.00	40.00	40.00	-	60	110	1	4
ISMT0.5	-	119.50	39.75	39.75	1.0	60	110	1	4
ISMT1	-	119.00	39.50	39.50	2.0	60	111	1	4
ISMT2.5	-	117.50	38.75	38.75	5.0	60	113	1	4
ISMT5	-	115.00	37.50	37.50	10.0	60	121	1	4

SM-K: Sarı mercimek kontrol eriştesi, SMT0.5: %0.5 MT içeren sarı mercimek eriştesi, SMT1: %1 MT içeren sarı mercimek eriştesi, SMT2.5: %2.5 MT içeren sarı mercimek eriştesi, SMT5: %5 MT içeren sarı mercimek eriştesi, ISM-K: ısı işlem görmüş kontrol sarı mercimek eriştesi, ISMT0.5: %0.5 MT içeren ısı işlem görmüş sarı mercimek eriştesi, ISMT1: %1 MT içeren ısı işlem görmüş sarı mercimek eriştesi, ISMT2.5: %2.5 MT içeren ısı işlem görmüş sarı mercimek eriştesi, ISMT5: %5 MT içeren ısı işlem görmüş sarı mercimek eriştesi



**Şekil 1.** Mercimek unları ve mısır püskülü tozu (Yellow lentil flours, and corn silk powder)  
A: Sarı mercimek unu, B: ısı işlem görmüş sarı mercimek unu, C: mısır püskülü



**Şekil 2.** Artan oranlarda MT ile zenginleştirilen glutensiz erişte örnekleri  
(Gluten-free noodles enriched with increasing amounts of corn silk powder)

A: SM-K (ısıt işlem görmemiş mercimek unundan üretilen kontrol eriştesi), B: SMT0.5 (ısıt işlem görmemiş mercimek unundan üretilen %0.5 MT içeren erişte), C: SMT1 (ısıt işlem görmemiş mercimek unundan üretilen %1 MT içeren erişte), D: SMT2.5 (ısıt işlem görmemiş mercimek unundan üretilen %2.5 MT içeren erişte), E: SMT5 (ısıt işlem görmemiş mercimek unundan üretilen %5 MT içeren erişte), F: ISM-K (ısıt işlem görmüş mercimek unundan üretilen kontrol eriştesi), G: ISMT0.5 (ısıt işlem görmüş mercimek unundan üretilen %0.5 MT içeren erişte), H: ISMT1 (ısıt işlem görmüş mercimek unundan üretilen %1 MT içeren erişte), I: ISMT2.5 (ısıt işlem görmüş mercimek unundan üretilen %2.5 MT içeren erişte), J: ISMT5 (ısıt işlem görmüş mercimek unundan üretilen %5 MT içeren erişte)

### 2.2.3. Glutensiz eriştelelerin fizikokimyasal özellikleri (Physicochemical properties of gluten-free noodles)

Erişte örneklerinin nem, kül, suda çözünür protein, TBL, toplam antioksidan aktivite ve renk değerleri hammadde analizleri kısmında belirtilen metotlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.4. Glutensiz eriştenin pişme özellikleri (Cooking properties of gluten-free noodles)

Glutensiz eriştelelerin pişme süresi AACC 66-50.01 standartlarına göre belirlenmiş olup, optimum pişme süresinde pişirilen erişteleler pişme suyundan alınmış, dinlendirilmiş ve tartılmıştır. Pişirmeden kalan pişme suyu 105 °C'de 24 saat kurutulurken, pişirilen erişteleler 40°C'deki etüvde 12 saat kurutulmuştur. Glutensiz eriştelelerin suya geçen madde miktarı (% pişme kaybı) Eşitlik (1), su tutma kapasitesi Eşitlik (2) ve şişme indeksi Eşitlik (3)'e göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Pişme kaybı} = \frac{\text{kurutulan haşlama suyunun ağırlığı}}{\text{pişmemiş eriştenin ağırlığı}} \times 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ Su tutma kapasitesi} = \frac{\text{pişmiş erişte ağırlığı} - \text{pişmemiş erişte ağırlığı}}{\text{pişmemiş erişte ağırlığı}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Şişme indeksi} = \frac{\text{pişmiş erişte ağırlığı} - \text{pişirilip kurutulan erişte ağırlığı}}{\text{pişirilip kurutulan erişte ağırlığı}} \quad (3)$$

### 2.2.5. Glutensiz eriştelelerin mikro yapısı (Microstructure of gluten-free noodles)

Kurutulmuş erişte örneklerinin kesit alanlarının mikro yapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazıyla (Zeiss Evo LS10, Almanya) incelenmiştir. Erişte örnekleri analiz öncesi vakum altında Au (altın) ile kaplanmıştır. Örneklerin görüntüleri 5 kV voltaj ve düşük vakum altında kaydedilmiş, 250× büyütme yapılan SEM görüntüleri incelenmiştir.

### 2.3. İstatistiksel analizler (Statistical analysis)

Sonuçlar arasındaki istatistiksel farklar SPSS yazılım (SPSS Inc., ABD) 20.0 versiyonu kullanılarak incelenmiştir. Ortalama sonuçlar tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak %95'lik önem düzeyinde incelenmiştir.

### 3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

#### 3.1. Hammaddelerin fizikokimyasal özellikleri (Physicochemical properties of raw materials)

Unların partikül çapı, su tutma kapasitesini, çirşlenme özelliklerini (viskozite, jelatinizasyon sıcaklığı vb.), jel mukavemetini ve son ürünün kalitesini etkileyebildiği için incelenmesi önem taşımaktadır (Patil vd., 2020). Benzer şekilde mısır püskülü tozlarında da parçacık çapının su ve yağ tutma kapasitesini, suda çözünürlüğü, emülsifiye etme, köpük oluşturma kapasitesi ve köpük kararlılığını etkileyebildiği yapılan çalışmada ortaya koyulmuştur (Singh vd., 2022b). Glutensiz erişte üretiminde kullanılan SU, ISU, PU, PN'nin ortalama çapları Odabas vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada belirtildiği gibi sırasıyla; 103.79±0.75 µm, 81.48±0.31 µm, 76.82±1.01 µm, 62.78±0.24 µm bulunmuştur. MT'nin ortalama parçacık çapı ise 126.26±2.82 µm bulunmuş ve MT'in diğer unlara kıyasla en büyük parçacık boyutuna sahip olduğu belirlenmiştir.

Glutensiz erişte üretiminde kullanılan unların fizikokimyasal özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan hammaddelerin nem içerikleri kuru madde temelinde %7.3-11.5 aralığında iken, kül içerikleri kuru madde temelinde %0.2-3.6 aralığında bulunmuştur. En yüksek kül içeriği MT'de bulunurken, MT için bulunan kül içeriğinin literatürde bildirilen kül içeriklerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir (Rahman ve Rosli, 2014; Senphan vd., 2019). Ayrıca MT'nin toplam yağ içeriği SU ile aynı grupta bulunmuş olup (p>0.05), MT'nin yağ içeriğinin literatürde farklı mısır türlerine ait mısır püskülü için verilen yağ içeriği (%0.13-1.8) arasında kaldığı belirlenmiştir (Singh et al., 2022d). Hammaddelerin ham protein içerikleri Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiş ve sonuçlara göre SU'nun %27.34, ISU'nun %26.27 olarak bulunmuştur. Isıl işlem uygulanmasının protein içeriğinde önemli bir değişikliğe neden olmadığı belirlenmiştir (p>0.05). Örneklerin suda çözünür protein içerikleri incelendiğinde en yüksek suda çözünür protein değerinin SU'ya ait olduğu belirlenirken, ısıl işlem uygulanması ile suda çözünür protein değerinde önemli düzeyde bir azalmaya yol açmıştır (p<0.05). Literatürde belirtildiği gibi ısıl işlem uygulamasının baklagil unlarında özellikle pH 7 civarında çözünür protein içeriğini önemli düzeyde azaltması, yapıda bulunan nişasta ve proteinler arasında çapraz bağ oluşumundan kaynaklanabilmektedir (Odabas vd., 2022). Ayrıca MT'nin suda çözünür protein içeriğinin SU ve ISU örneklerinin arasında kaldığı tespit edilmiştir (p<0.05).

**Tablo 2.** Un, nişasta ve MT'nin besinsel kompozisyonu  
(Nutritional composition of flours, starches and corn silk powder)

ÖRNEK*	NEM (%)	KÜL (% KM)	YAĞ (% KM)	PROTEİN (% KM)	SUDA ÇÖZÜNÜR PROTEİN (mg BSA/g KM)	TOPLAM BESİNSEL LİF (% KM)	TOPLAM ANTIOKSİDAN AKTİVİTE (mM TEAK)
SU	7.34±0.02 <sup>a</sup>	2.39±0.03 <sup>d</sup>	1.20±0.07 <sup>c</sup>	27.34±0.17 <sup>b</sup>	178.92±5.61 <sup>d</sup>	16.26±0.34 <sup>a</sup>	0.47±0.05 <sup>a</sup>
ISU	7.92±0.07 <sup>c</sup>	1.53±0.09 <sup>c</sup>	1.67±0.01 <sup>d</sup>	26.27±2.69 <sup>b</sup>	53.07±0.91 <sup>b</sup>	22.38±0.53 <sup>b</sup>	0.61±0.09 <sup>a</sup>
PU	7.84±0.27 <sup>bc</sup>	0.51±0.06 <sup>b</sup>	0.87±0.04 <sup>b</sup>	9.61±0.09 <sup>a</sup>	1.11±0.15 <sup>a</sup>	-	-
PN	11.58±0.07 <sup>d</sup>	0.21±0.03 <sup>a</sup>	0.23±0.08 <sup>a</sup>	TE	TE	-	-
MT	7.62±0.05 <sup>b</sup>	3.60±0.03 <sup>e</sup>	1.31±0.09 <sup>c</sup>	-	106.40±1.66 <sup>c</sup>	65.04±0.26 <sup>c</sup>	7.67±0.52 <sup>b</sup>

<sup>a-e</sup>Aynı sütunda bulunan farklı harfler, örnekler arasındaki istatistiksel farklılık olduğunu göstermektedir (p<0,05).

TE: Tespit edilemedi.

\*SU (sarı mercimek unu), ISU (ısıl işlem görmüş sarı mercimek unu), PU (pirinç unu) ve PN (patates nişastası)'ye ait fizikokimyasal özelliklerin bazıları Odabas vd. (2022)'den aynen alınmıştır.

Besinsel lif, gıdalarda su ve yağ tutma kapasitesi, emülsifikasyon, jel oluşumu gibi fonksiyonel özelliklere sahiptir ve sinerezisi önleyip raf ömrünü iyileştirme özelliği bulunmaktadır (Elleuch vd., 2011). Bu çalışmada en yüksek TBL içeriği %65.04 ile MT'de belirlenmiştir. Bu değer SU ve ISU'nun TBL içeriğinden yaklaşık 3 kat daha yüksek olduğu görülmektedir. Tiwaree ve Anuntagool (2022) yaptıkları bir çalışmada mısır püskülünün toplam besinsel lif içeriğini %37.3 olarak belirlerken, toplam lifin %1.4'inin çözünür besinsel liften, %35.9'nun ise çözünmez besinsel liften oluştuğunu belirtmişlerdir. Rahman ve Rosli (2014) yaptıkları çalışmada, olgunlaşmamış ve olgunlaşmış mısır püsküllerinin besinsel lif içeriklerinin %48.5-51.2 arasında olduğunu aktarırken, Senphan vd. (2019) yaptıkları çalışmada, tatlı mısır ve mor mumlu mısırdan elde edilen mısır püsküllerinin besinsel lif içeriklerini %52.1-53.5 arasında olduğunu belirtmişlerdir. MT'nin TBL içeriğinin literatürde besinsel lif kaynağı olarak kullanılan yeşil biber unu (%38.3), kırmızı biber unu (%38.4), domates unu (%20.9), ıspanak unu (%42.5), havuç unu (%36.0), kabak unu (%49.1), kuşkonmaz unu (%52.5), rezene unu (%38.5) ve patlıcan ununun (%45.2) TBL içeriğinden daha yüksek olduğu görülmektedir (Padalino vd., 2013). Bu çalışmada hedeflendiği gibi tarımsal atık olan mısır püskülünün gıdalarda besinsel lif içeriğini arttırmakta ve teknolojik özelliklerini geliştirmekte değerlendirilebileceği belirlenmiştir.

Serbest radikaller, insan sağlığına zararlı ve gıda kalitesi üzerinde olumsuz etkilere yol açan oksidatif hasara neden olmaktadır. Oksidatif hasarın gıdada esmerleşme, besin değerinde değişme, istenmeyen tat ve aroma oluşumu, kanser ve diyabet gibi birçok kronik hastalığa yol açabildiği belirtilirken, antioksidanlar, serbest radikallerin neden olduğu oksidasyon tepkimelerinin yavaşlamasını veya durdurmasını sağlayan bileşiklerdir (Singh vd., 2022c). Hammaddelerin toplam antioksidan aktivite değerleri incelendiğinde SU ile ISU'nun toplam antioksidan aktivite içerikleri arasında önemli düzeyde bir fark olmadığı belirlenirken ( $p>0.05$ ), MT'nin SU ve ISU'dan yaklaşık 6 kat daha yüksek toplam antioksidan aktivite gösterdiği saptanmıştır ( $p<0.05$ ). MT'nin mercimek unlarına kıyasla daha yüksek DPPH radikali süpürme aktivitesinin, MT'nin yapısında doğal olarak bulunan flavonoidler, fenolik asitler, karotenoidler ve antosiyaninlerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Hasanudin vd., 2012; Thapphasaraphong vd., 2016; Singh vd., 2022d). Singh vd. (2022d), mısır püskülünün olgunluk derecesinin antioksidan aktivite üzerinde önemli düzeyde etkili olduğunu ve en yüksek antioksidan aktivitenin tam olgun mısırdan alınan mısır püskülünde gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Rahman ve Rosli (2014) yaptıkları çalışmada, olgunlaşmamış ve olgunlaşmış mısır püskülünün ABTS metoduyla belirlenen inhibisyon yüzdesinin, olgunlaşmamış mısır püskülünde %23,5-78,4 ve olgunlaşmış mısır püskülünde %17,4-67,4 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Singh vd. (2022a) yaptıkları çalışmada, mısır püskülünün antioksidan aktivite içeriğinin DPPH ve ABTS metodu kullanarak sırasıyla,  $45.40\pm 0.92$  ve  $75.25\pm 0.59$  TEAC mg/g KM olduğunu bulmuşlardır.

Gıda ürünlerinin şişme kapasitesi ile su tutma kapasiteleri arasında güçlü bir ilişki belirlenirken, ürünlerin yüksek su tutma kapasitesine sahip olması daha düşük şişme gücüne neden olmaktadır (Singh vd., 2022c). Bu çalışmada mısır püskülü tozunun su tutma kapasitesi, şişme gücü ve çözünürlüğü sırasıyla,  $605.38\pm 2.17$ ,  $5.70\pm 0.10$  g/g,  $26.22\pm 1.48$  olarak belirlenmiştir. Toz ürünlerin su tutma kapasitesi son ürünlerdeki duysal ve fonksiyonel özellikleri üzerinde etkili bir özellik olmakla birlikte yüksek su tutma değerine sahip toz ürünler, hamura daha fazla su eklemesini sağlayarak, hamurun işleme özelliklerini geliştirmektedir. Bu özellikler kapsamında MT'nin Odabaş vd. (2022) yaptıkları çalışmadaki sarı mercimek ( $224.09\pm 0.91$ ) ve ısıtılmış sarı mercimek ( $319.34\pm 1.28$ ) unu için belirledikleri su tutma kapasitesinden daha yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. MT'nin düşük şişme gücüne sahip olmasının yüksek su tutma kapasitesi ile ilişkili olduğu görülmektedir. Singh vd. (2022c) yaptıkları çalışmada, 5 farklı çeşit ve 5 farklı gelişim evresinde toplanan mısır püskülü örneklerinin su tutma kapasitelerini %935-1237, şişme gücünü 7.1-9.4 (ml/g) ve çözünürlük değerlerini %13.5-24.8 arasında belirlemişlerdir. Tiwara ve Anuntagool (2022) yaptıkları çalışmada ise, mısır püskülünün su tutma kapasitesini 6.1 g su/g, şişme gücünü 11.4 g/g ve çözünürlüğünü 20.7 g/g olarak bulmuşlardır.

Tüketicilerin geleneksel eriştelere renk algısını ve beklentisini karşılamak için renk önemli bir kalite faktörüdür. Mısır püskülünün renk değerleri incelendiğinde,  $L^*$  değeri  $49.06\pm 0.13$ ,  $a^*$  değeri  $5.37\pm 0.13$ ,  $b^*$  değeri  $8.71\pm 0.09$  olarak belirlenmiştir. MT'nin Şekil 1C'de de görüleceği gibi oldukça düşük parlaklığa sahip olduğu ve eriştelere yüksek miktarda ilave edilmesinin eriştenin parlaklığını azaltarak tüketici isteklerini olumsuz yönde etkileyebileceği düşünülmektedir. Bu çalışmaya benzer şekilde Singh vd. (2022a) yaptıkları çalışmada, mısır püskülünün  $L^*$  değerini 47.88,  $a^*$  değerini 3.16 ve  $b^*$  değerini 12.03 olarak belirlemişlerdir.

### 3.2. Glutensiz Eriştelere Fizikokimyasal Özellikleri ve Pişirme Kalitesi (Physicochemical Properties and Cooking Quality of Gluten-Free Noodles)

Mısır püskülü içeren glutensiz eriştelere fizikokimyasal özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Odabas vd. (2022) tarafından yapılan çalışma dikkate alınarak %20, 40, 60 ve 80 oranlarında kullanılan SU ve ISU içeren glutensiz eriştelere arasında son ürünün protein oranı, besinsel lif içeriği, erişte kalitesi ve tekstürel özellikleri dikkate alınmış ve bu kapsamda en uygun sarı mercimek unu oranlarının %60 olduğu belirlenmiştir. Buna göre SM-K ve ISM-K örnekleri sırasıyla; %60 SU ve %60 ISU'dan üretilen ısıtılmış (ham) sarı mercimek unu ve ısıtılmış (görmüş) mercimek unu eriştelere MT içermeyen kontrol örnekleri olarak seçilmiştir.

Glutensiz erişte örneklerinin nem değerleri incelendiğinde, SMT ve ISMT eriştelere nem içeriklerinin %7.58-11.07 arasında olduğu gözlemlenmiş olup, bu değerlerin Türk Gıda Kodeksi Makarna Tebliği (TGKMT, 2002/20) için kabul edilebilir sınırlar içerisinde (%13) bulunduğu belirlenmiştir.

Glutensiz eriştelere kül içerikleri incelendiğinde, SM-K örneğine kıyasla SMT eriştelere MT'nin artan oranlarda zenginleştirilmesi kül içeriğinde önemli bir farka neden olmazken ( $p>0.05$ ), ISM-K'ya kıyasla sadece ISMT5.0 eriştesinin kül içeriğinde önemli düzeyde yüksek olduğu belirlenmiştir ( $p<0.05$ ). SMT eriştelere suda çözünür protein içerikleri incelendiğinde MT oranının artışına bağlı olarak suda çözünür protein içeriği azalmış, buna karşın ISMT2.5 ve ISMT5.0 eriştelere kontrol örneğine (ISM-K) kıyasla suda çözünür protein içeriğinin daha yüksek olduğu bulunmuştur ( $p<0.05$ ). ISMT eriştelere suda çözünür protein içeriklerinin SMT eriştelereinden daha düşük olduğu belirlenmiş olup, bunun Tablo 2'de verilen un örneklerinin suda çözünür

protein içeriğiyle uyumlu olduğu görülmüştür.

TBL içeriğinin en yüksek olduğu glutensiz erişte örneği ISMT5.0 belirlenmiş olup, SMT ve ISMT eriştelere MT oranının artması, TBL içeriğinde önemli düzeyde bir artış sağladığı belirlenmiştir ( $p<0.05$ ). MT'nin mercimek unlarına kıyasla yaklaşık 3 kat daha yüksek TBL içeriğine sahip olmasından kaynaklı olarak %1 MT ile zenginleştirme yapıldığında bile bu çalışmada hedeflendiği gibi glutensiz eriştelere TBL içeriklerinin artmasına katkıda bulunduğu görülmüştür. Padalino vd. (2013) yaptıkları çalışmada, %15 sarı biber ununun mısır ununa ilave edilmesiyle üretilen makarnalarda TBL içeriğinin (%5.4), %100 mısır unuyla yapılan örneğe (%4.1) göre önemli düzeyde arttığını belirtmişlerdir ( $p<0.05$ ). Benzer şekilde Giuberti vd. (2015) yaptıkları çalışmada, %100 pirinç unu ile yapılan makarnaya kıyasla, %20 ve %40 oranlarında fasulye unu ile zenginleştirilerek elde edilen glutensiz makarnaların besinsel lif içeriğinde (%8.0-11.5) kontrol makarnasına kıyasla (%2.8) artış gözlemlenmiştir. Arslan-Bayrakçı (2020) yaptığı çalışmada %40 pirinç unu, %40 mısır unu ve %20 nohut unu içeren makarnaya pirinç ve mısır unu oranı azaltılarak artan oranlarda (%5-15) havuç unu ilave edilmesiyle TBL içeriğinin önemli düzeyde arttığını belirtmişlerdir ( $p<0.05$ ).

MT içeren glutensiz eriştelere toplam antioksidan aktivite değerleri incelendiğinde, SMT0.5 eriştesinin antioksidan aktivite değeri kontrol örneğiyle aynı grupta bulunurken ( $p>0.05$ ), SMT5 eriştesinin antioksidan aktivite değerinin kontrole örneğine kıyasla önemli düzeyde arttığı bulunmuştur ( $p<0.05$ ). ISMT eriştelere ise MT'nin artan oranları, toplam antioksidan aktiviteyi önemli düzeyde arttırmıştır ( $p<0.05$ ). En yüksek toplam antioksidan aktivite içeriğinin ISMT5'te olduğu belirlenmiş olup, bunun Tablo 2'de belirtilen hammaddelerin toplam antioksidan aktivite değerleriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Mısır püskülü, karotenoidler gibi flavanoidler içermesi sebebiyle ilave edildikleri gıdanın antioksidan aktivitesinin yükselmesine katkıda bulunurken, MT'den üretilen eriştelere antioksidan içeriğinin artmasını sağlamıştır (Abudayeh vd., 2022; Singh vd., 2022d). Arslan-Bayrakçı (2020) yaptığı çalışmada, pirinç, mısır ve nohut unu ile üretilen makarnaya artan oranda (%5-15) havuç unu ilavesi ile DPPH indirgeme aktivitesinin %33.4-51.1 arasında olduğunu ve kontrol örneğine kıyasla (%5.72) antioksidan aktivitesinin önemli düzeyde arttığını aktarmıştır ( $p<0.05$ ). Gull vd. (2016), irmik, darı unu ve havuç posası tozu kullanarak yaptıkları makarnanın, %100 durum buğdayı irmiğiyle yapılan kontrol makarnasından daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğunu gözlemlenmiştir.

**Tablo 3.** Mısır püskülü tozu içeren glutensiz eriştelere fizikokimyasal özellikleri  
(Physicochemical properties of gluten-free noodles including corn silk powder)

ÖRNEK*	NEM (% KM)	KÜL (% KM)	SUDA ÇÖZÜNÜR PROTEİN (BSA mg/g KM)	TOPLAM BESİNSEL LİF (% KM)	TOPLAM ANTIOKSİDAN AKTİVİTE (mM TEAK)
SM-K	7.59±0.20 <sup>b</sup> ;A	2.51±0.07 <sup>c</sup> ;A	132.10±2.70 <sup>b</sup> ;C	11.57±0.31 <sup>a</sup> ;A	0.27±0.01 <sup>a</sup> ;A
SMT0.5	7.58±0.19 <sup>b</sup> ;A	2.52±0.10 <sup>c</sup> ;A	127.00±0.72 <sup>g</sup> ;B	12.41±0.74 <sup>b</sup> ;AB	0.36±0.04 <sup>a</sup> ;A
SMT1	9.44±0.05 <sup>c</sup> ;B	2.53±0.05 <sup>c</sup> ;A	126.57±0.24 <sup>g</sup> ;B	-	-
SMT2.5	9.81±0.17 <sup>cd</sup> ;C	2.56±0.07 <sup>c</sup> ;A	120.13±2.30 <sup>f</sup> ;A	-	-
SMT5	10.07±0.06 <sup>d</sup> ;C	2.60±0.08 <sup>c</sup> ;A	116.27±0.24 <sup>e</sup> ;A	13.86±0.65 <sup>c</sup> ;B	0.73±0.04 <sup>b</sup> ;B
ISM-K	5.59±0.41 <sup>a</sup> ;A	2.05±0.05 <sup>a</sup> ;A	69.87±0.23 <sup>a</sup> ;A	12.54±0.09 <sup>ab</sup> ;A	1.10±0.01 <sup>c</sup> ;A
ISMT0.5	9.80±0.05 <sup>cd</sup> ;B	2.06±0.04 <sup>a</sup> ;A	72.41±0.98 <sup>ab</sup> ;AB	13.59±0.42 <sup>bc</sup> ;B	1.61±0.13 <sup>d</sup> ;B
ISMT1	10.03±0.06 <sup>d</sup> ;B	2.07±0.04 <sup>ab</sup> ;A	74.21±1.89 <sup>bc</sup> ;AB	-	-
ISMT2.5	10.14±0.40 <sup>d</sup> ;B	2.10±0.06 <sup>ab</sup> ;AB	76.34±1.07 <sup>c</sup> ;B	-	-
ISMT5	11.07±0.15 <sup>e</sup> ;C	2.18±0.05 <sup>b</sup> ;B	81.95±2.79 <sup>d</sup> ;C	15.81±0.05 <sup>d</sup> ;C	2.13±0.09 <sup>e</sup> ;C

<sup>a-h</sup>Aynı sütunda bulunan farklı harfler, örnekler arasındaki istatistiksel farklılık olduğunu göstermektedir ( $p<0.05$ ).

<sup>A-C</sup>Aynı sütunda (SU ve ISU'dan elde edilen örneklerin kendi arasında) farklı harfler, örnekler arasında istatistiksel farklılık olduğunu göstermektedir ( $p<0.05$ ).

\*SM-K ve ISM-K örneklerine ait fizikokimyasal özelliklerin bazıları Odabas vd. (2022)'den aynen alınmıştır.

Tablo 4'te mısır püskülü tozu içeren glutensiz eriştelere pişme kalitesine ait sonuçlar verilmiştir. SU veya ISU'dan üretilen eriştelere artan oranda MT ile zenginleştirilmesi, pişme süresinde önemli düzeyde bir artışa neden olmuştur ( $p<0.05$ ). MT'den gelen besinsel lifler, protein-nişasta ağının bozulmasına yol açarak pişme kaybının artmasına neden olabilmektedir (Tudorică vd., 2002). Ayrıca pişirme işlemi sırasında uygulanan yüksek sıcaklık ile, besinsel liflerdeki glikozidik bağlar kırıldığında lif moleküllerinin çözünürlüğü dolayısıyla pişme kaybı artmaktadır (Chindapan vd., 2015). Ayrıca MT'nin besinsel lif içeriğinin yüksek su tutma kapasitesine sahip olması ile erişte hamurunda düzensiz su dağılımının oluşabileceği ve bunun da MT oranının artmasıyla pişme kaybını arttıracığı düşünülmektedir (Costa vd., 2016). ISU içeren örneklerde mercimek ununun ısı işlem görmesiyle pişme kaybının SU içeren örneklerden daha yüksek olduğu ve MT ile zenginleştirilmenin pişme

kaybını daha da arttırdığı görülmüştür (Cabrera-Chávez, 2012; Odabas vd., 2022). Bu sonuçlara benzer şekilde %100 mısır unuyla yapılan spagettilerde (kontrol) pişme kaybı %7.8 iken, %15 sarı biber unuyla zenginleştirilen spagettilerde bu değer önemli düzeyde artarak %12'ye çıktığı görülmüştür (Padalino vd., 2013). Ayrıca makarnalara diyet lifi kaynağı olarak %1-3-5 oranlarında üzüm kabuğu tozu eklenmesiyle makarnaların pişme kaybının arttığı saptanmıştır (Ungureanu-luga vd., 2020). Literatürde incelendiğinde genel olarak erişte için kabul edilebilir pişme kaybı seviyesi %12'den az olarak belirtilmektedir (Odabas vd., 2022). Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre SMT eriştelerinin hepsi için pişme kaybı kabul edilebilir düzeydeyken, ISMT eriştelerinin %2.5'tan yüksek MT içeren örneklerinde bu limitin üzerine çıktığı görülmektedir.

**Tablo 4.** Mısır püskülü tozu içeren glutensiz eriştelerin pişme kalitesi  
(Cooking quality of gluten-free noodles containing corn silk powder)

ÖRNEK	PİŞME SÜRESİ (dk)	PİŞME KAYBI (g/g)	SU TUTMA KAPASİTESİ (%)	ŞİŞME İNDEKSİ (%)
SM-K	17.00±1.41 <sup>bc</sup> ;A	7.59±0.03 <sup>ab</sup> ;BC	286.19±4.50 <sup>c</sup> ;B	3.19±0.03 <sup>e</sup> ;C
SMT0.5	18.50±0.71 <sup>bcd</sup> ;AB	7.84±0.25 <sup>ab</sup> ;C	275.64±2.62 <sup>c</sup> ;B	3.09±0.06 <sup>de</sup> ;C
SMT1	19.50±0.71 <sup>cde</sup> ;ABC	7.45±0.10 <sup>ab</sup> ;B	270.64±6.40 <sup>c</sup> ;B	3.04±0.06 <sup>d</sup> ;C
SMT2.5	21.00±1.41 <sup>de</sup> ;BC	7.31±0.08 <sup>a</sup> ;B	219.08±5.13 <sup>b</sup> ;A	2.83±0.09 <sup>c</sup> ;B
SMT5	22.00±1.41 <sup>e</sup> ;C	6.85±0.09 <sup>a</sup> ;A	208.16±11.13 <sup>b</sup> ;A	2.27±0.06 <sup>a</sup> ;A
ISM-K	14.50±0.71 <sup>a</sup> ;A	9.58±0.43 <sup>c</sup> ;AB	269.34±6.14 <sup>c</sup> ;B	3.08±0.09 <sup>de</sup> ;D
ISMT0.5	16.00±1.41 <sup>ab</sup> ;AB	8.92±1.12 <sup>bc</sup> ;A	177.07±14.31 <sup>a</sup> ;A	2.37±0.02 <sup>a</sup> ;A
ISMT1	17.50±0.71 <sup>bc</sup> ;BC	11.39±0.18 <sup>d</sup> ;BC	183.09±22.40 <sup>a</sup> ;A	2.64±0.01 <sup>b</sup> ;B
ISMT2.5	18.50±0.71 <sup>bcd</sup> ;C	12.46±1.17 <sup>d</sup> ;CD	194.97±7.00 <sup>ab</sup> ;A	2.71±0.02 <sup>b</sup> ;B
ISMT5	19.50±0.71 <sup>cde</sup> ;C	14.25±1.18 <sup>e</sup> ;D	208.06±6.73 <sup>b</sup> ;A	2.83±0.03 <sup>c</sup> ;C

<sup>a-e</sup>Aynı sütunda bulunan farklı harfler, örnekler arasında istatistiksel farklılıklar olduğunu göstermektedir (p<0,05)

<sup>A-D</sup>Aynı sütunda (SU ve ISU'dan elde edilen örneklerin kendi arasında) farklı harfler, örnekler arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (p<0,05)

Makarnaların şişme indeksi, nişastanın jelatinizasyonu ve proteinin hidrasyonu için kullanılan, pişirme sırasında nişasta ve proteinler tarafından emilen suyun bir göstergesidir (Padalino vd., 2013). SM-K örneği ile kıyaslandığında %0.5 ve %1 MT ile zenginleştirme yapılan örneklerin su tutma kapasitesi ve şişme indeksi değerlerinin benzer olduğu belirlenirken (p>0.05), %2.5 ve %5 MT ile zenginleştirmenin kontrol örneğine göre su tutma kapasitesi ve şişme indeksinde önemli düzeyde bir azalmaya neden olduğu belirlenmiştir (p<0.05). ISM-K'ya göre, MT ile zenginleştirmenin su tutma kapasitesinde belirgin bir artma ya da azalma eğilimi göstermediği bulunmuştur. Tudorica vd. (2002) makarnalık buğday unu yerine %10.0-12.5-15.0 oranlarında inülinin artan oranlarda ilavesinin, Ungureanu-luga vd. (2020) ise, %1.0-3.0-5.0 oranlarda üzüm kabuğu tozunun artan oranlarda ilave edilmesinin makarnanın şişme indeksini azalttığını belirtmişlerdir. Raungrusmee vd. (2020) ise yaptıkları çalışmada, inülin eklenmiş glutensiz eriştelerin su tutma kapasitesinin azaldığını, bunun nedeninin inülinin yüksek su tutma kapasitesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. MT besinsel lif içeriği bakımından zengin olduğu için MT hamur ağının zayıflamasına yol açabilmektedir (Cabrera-Chávez, 2012; Raungrusmee vd., 2020). Bu yüzden MT ile zenginleştirilen eriştelerin su tutma kapasitesinde bir azalmanın söz konusu olabileceği düşünülmektedir. Padalino vd. (2017) ve Ungureanu-luga vd. (2020) tarafından yapılan çalışmalarda da su tutma kapasitesi için benzer sonuçlar rapor edilmiştir.

### 3.3. Mısır püskülü içeren glutensiz eriştelerin renk değerleri (Color values of gluten-free noodles including corn silk powder)

Tablo 5'te MT içeren glutensiz eriştelerin renk değerleri verilmiştir. Bütün erişteler arasında en yüksek parlaklığa SM-K, en düşük parlaklığa ise ISMT5 örneğinin sahip olduğu belirlenmiştir. SMT ve ISMT eriştelerinde MT'nin artan oranları, L\* değerinde önemli düzeyde bir azalmaya neden olduğu belirlenmiştir (p<0.05). Bunun nedeninin Tablo 2'de de belirtildiği gibi MT'nin yüksek kül içeriği ve düşük L\* değerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Parlaklık değerindeki bu azalma Şekil 2'de görüldüğü gibi ISU'dan üretilen eriştelerde daha belirgindir. SU'dan üretilen MT eriştelerinde en yüksek a\* değeri SM-K ve SMT5 örneklerinde iken, en yüksek b\* değeri yine SM-K eriştesinde gözlenmiştir. SMT5 en yüksek oranda MT içeren örnek olması sebebiyle sarılık değerinin kontrol örneğine kıyasla düştüğü belirlenmiştir (p<0.05). ISU içeren eriştelerde ise en yüksek a\* değeri ISMT0.5 ve ISMT1'de belirlenirken, en yüksek b\* değerinin kontrol eriştesinde olduğu bulunmuştur (p<0.05). Ungureanu-luga vd. (2020) yaptıkları çalışmada, artan oranlarda üzüm kabuğu tozu ilavesinin makarnanın parlaklık ve sarılık değerinde bu çalışmaya benzer şekilde önemli düzeyde bir azalmaya yol açtığını saptamışlardır (p<0.05). Ribeiro vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada ise, pirinç ve mısır unu karışımının %10 ve %20'sinin çarkifelek meyvesi kabuğu unu ile değiştirilmesi sonucunda elde edilen makarnada, çarkifelek

meyvesi kabuğu ununun miktarının artmasıyla, a\* değerinin arttığı, L\* değerinin ise düştüğünü gözlemlemiştir.

**Tablo 5.** Mısır püskülü tozu içeren glutensiz eriştelere renk değerleri  
(Color values of gluten-free noodles including corn silk powder)

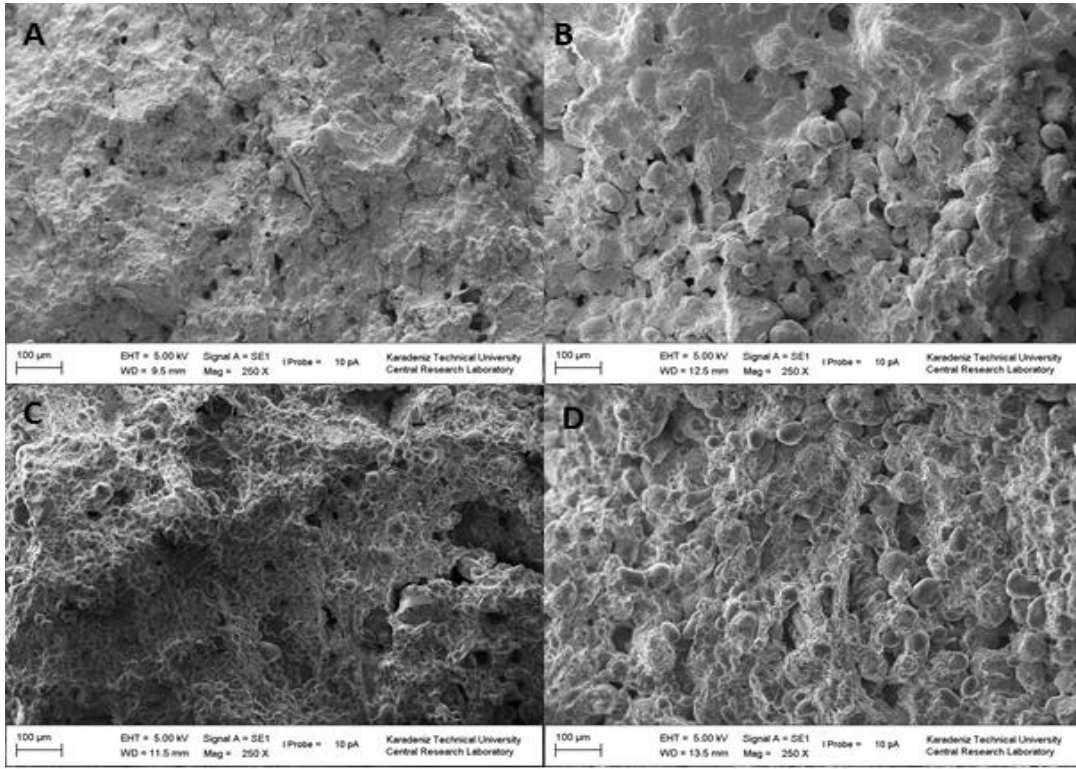
ÖRNEK	L*	a*	b*
SM-K	87.76±0.34 <sup>i,E</sup>	1.23±0.12 <sup>c,C</sup>	17.65±0.24 <sup>e,D</sup>
SMT0.5	86.00±0.35 <sup>h,D</sup>	0.89±0.08 <sup>a,A</sup>	17.19±0.44 <sup>d,C</sup>
SMT1	84.11±0.12 <sup>f,C</sup>	1.08±0.05 <sup>b,B</sup>	17.10±0.18 <sup>d,C</sup>
SMT2.5	80.31±0.43 <sup>d,B</sup>	1.14±0.07 <sup>b,B</sup>	14.48±0.50 <sup>b,B</sup>
SMT5	77.94±0.61 <sup>b,A</sup>	1.24±0.14 <sup>c,C</sup>	12.80±0.13 <sup>a,A</sup>
ISM-K	85.38±0.58 <sup>g,E</sup>	1.44±0.05 <sup>d,A</sup>	20.45±0.05 <sup>i,E</sup>
ISMT0.5	81.95±1.07 <sup>e,D</sup>	1.61±0.02 <sup>e,D</sup>	19.58±0.41 <sup>h,D</sup>
ISMT1	80.34±0.32 <sup>d,C</sup>	1.56±0.05 <sup>e,C</sup>	19.17±0.18 <sup>g,C</sup>
ISMT2.5	79.15±0.95 <sup>c,B</sup>	1.48±0.02 <sup>d,B</sup>	18.20±0.06 <sup>f,B</sup>
ISMT5	75.75±0.28 <sup>a,A</sup>	1.47±0.01 <sup>d,AB</sup>	16.04±0.27 <sup>c,A</sup>

<sup>a-i</sup>Aynı sütunda bulunan farklı harfler, örnekler arasında istatistiksel farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

<sup>A-E</sup>Aynı sütunda (SU ve ISU örneklerinin kendi arasında) farklı harfler, örnekler arasında istatistiksel farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

### 3.4. Glutensiz Erişte Örneklerinin Mikro Yapıları (Microstructure of Gluten-Free Noodle Samples)

Pişmemiş glutensiz eriştelere mikro yapısı Şekil 3'te verilmiştir. ISU'dan üretilen kontrol eriştesinin (Şekil 3B), SU'dan üretilen eriştesine (Şekil 3A) kıyasla daha gözenekli bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca bu örnekte belirgin nişasta parçacıkları göze çarpmaktadır. SM-K eriştesinin ISM-K'ya kıyasla daha sıkı ve yoğun bir yapıya sahip olduğu görülmektedir (Odabas vd., 2022). En yüksek oranda MT ile zenginleştirilen eriştelere mikro yapısı incelendiğinde ise (Şekil 3C ve 3D), MT ile zenginleştirme her iki sarı mercimek unu türünden üretilen eriştelere içinde gözenekliliği belirgin düzeyde arttırmıştır. Ayrıca SMT5'in yapısında bulunan gözeneklerin ISMT5'ten daha büyük olduğu, ancak SM-K örneğinde olduğu gibi sıkı ve yoğun yapısını muhafaza ettiği görülmüştür. Erişte örneklerinde özellikle ISMT5 için kontrol örneğine kıyasla pişme kaybının önemli düzeyde yüksek olmasının, mikro yapıdaki belirgin gözeneklilik artışına bağlı olduğu düşünülmekte ve bunun da pişme sırasında üründen madde kaybının artışına yol açtığı görülmektedir. Bu çalışmaya benzer şekilde, Raungrusmee vd. (2020) pirinç eriştesine inülin ve pirinç kepeği ilavesinin, Ungureanu-Iuga vd. (2020) ise, üzüm kabuğu tozunun artan oranlarda ilavesinin eriştelere gözenekliliği belirgin şekilde arttırdığını aktarmışlardır.



Şekil 3. Glutensiz eriştelere kesit alanından kaydedilen SEM görüntüleri (Cross-sectional SEM images of gluten-free noodles); A: SM-K, B: ISM-K, C: SMT5, D: ISMT5 (250×)

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

SU ve ISU eriştelere TBL içeriği bakımından oldukça zengin (%65.04) bir ürün olan MT ile zenginleştirmenin çalışmada hedeflendiği gibi TBL içeriğini önemli düzeyde arttırdığı belirlenmiştir ( $p < 0.05$ ). ISMT eriştelere, SMT eriştelere göre daha yüksek TBL içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Çünkü ISU, SU'ya göre daha yüksek TBL içeriğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca SU'nun %5.0 oranında MT ile zenginleştirilmesinin toplam antioksidan aktivite değerinde önemli düzeyde bir artış sağladığı belirlenirken ( $p < 0.05$ ), %0.5 MT ile zenginleştirmenin önemli düzeyde bir değişime neden olmadığı belirlenmiştir ( $p > 0.05$ ). ISU'ya %0.5 ve %5.0 MT ile zenginleştirme yapılması kontrol örneğine (ISM-K) göre toplam antioksidan aktivite değerlerinde önemli düzeyde artış sağlanmıştır ( $p < 0.05$ ). Bu çalışmada hedeflendiği gibi eriştelere TBL ve toplam antioksidan aktivite içeriği MT zenginleştirilmesi ile artırılmıştır. MT ile zenginleştirilen glutensiz erişte örneklerinde, MT'nin artan oranlarda kullanılması, SU eriştelere pişme kaybının azalmasını sağlarken, ISU eriştelere pişme kaybının artmasına neden olmuştur. Ayrıca SU ve ISU'nun artan oranda MT ile zenginleştirilmesi pişme süresinin uzamasına yol açmaktadır.

Sonuç olarak; MT ile zenginleştirilerek elde edilen glutensiz eriştelere bu çalışmada hedeflendiği gibi TBL içeriğinin artmasına katkı sağladığı görülmüştür. Ancak ISMT eriştelere %2.5'ten fazla MT ilavesinin eriştelere kabul edilebilir pişme kaybının üzerine çıkması sebebiyle ısı işlem görmüş mercimek unundan üretilen eriştelere pişme kalitesini düşürebildiği belirlenmiştir.

#### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından MUH19004.21.004 ve MUH19001.20.008 numaralı projeler kapsamında desteklenmiştir.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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



**Kaynaklar (References)**

- AACC. (2009). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, USA: AACC/Eagan Press.
- Abudayeh, Z. H., Karpiuk, U., Kyslychenko, V., Abualassal, Q., Hassouneh, L. K., Qadus, S., & Talhouni, A. (2022). Optimizing extractability, phytochemistry, acute toxicity, and hemostatic action of corn silk liquid extract. *Journal of Chemistry*, 2022.
- AOAC. (1990). Official Methods Of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington, USA.
- Arslan-Bayrakçı, H. (2020). Besleyici değeri yüksek glutensiz makarna üretiminde havuç ve nohut ununun kullanım imkanlarının araştırılması, Doktora Tezi, Konya, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 137s.
- Aydemir, L. Y. & Akçakaya, F. G. (2019). Determination of the Best Functional Chickpea Cultivars by TOPSIS Technique. *Food and Health*, 5(4), 239–252.
- Balakireva, A. V., & Zamyatnin, A. A. (2016). Properties of gluten intolerance: gluten structure, evolution, pathogenicity and detoxification capabilities. *Nutrients*, 8(10), 644.
- Bresciani, A., Giuberti, G., Cervini, M., & Marti, A. (2021). Pasta from yellow lentils: How process affects starch features and pasta quality. *Food Chemistry*, 364, 130387.
- Cabrera-Chávez, F., de la Barca, A. M. C., Islas-Rubio, A. R., Marti, A., Marengo, M., Pagani, M. A., & Iametti, S. (2012). Molecular rearrangements in extrusion processes for the production of amaranth-enriched, gluten-free rice pasta. *LWT*, 47(2), 421–426.
- Chindapan, N., Niamnuy, C., & Devahastin, S. (2015). Nutritional and toxicological aspects of the chemical changes of food components and nutrients during drying. *Handbook of Food Chemistry*, 833p.
- Costa, A. P. D., Thys, R. C. S., Rios, A. O., & Flôres, S. H., (2016). Carrot flour from minimally processed residue as substitute of  $\beta$ -carotene commercial in dry pasta prepared with common wheat (*Triticum aestivum*), *Journal of Food Quality*, 39, 590–598.
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C. ve Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, Technological Functionality and Commercial Applications: A Review. *Food Chemistry*, 124(2), 411–421.
- Giuberti, G., Gallo, A., Cerioli, C., Fortunati, P., & Masoero, F. (2015). Cooking quality and starch digestibility of gluten free pasta using new bean flour. *Food Chemistry*, 175, 43–49.
- Gull, A., Prasad, K., & Kumar, P. (2018). Nutritional, antioxidant, microstructural and pasting properties of functional pasta. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(2), 147–153.
- Hasanudin, K., Hashim, P., & Mustafa, S. (2012). Corn silk (*Stigma maydis*) in healthcare: a phytochemical and pharmacological review. *Molecules*, 17(8), 9697–9715.
- Heo, S., Lee, S. M., Shim, J. H., Yoo, S. H., & Lee, S. (2013). Effect of dry-and wet-milled rice flours on the quality attributes of gluten-free dough and noodles. *Journal of Food Engineering*, 116(1), 213–217.
- Kang, J., Lee, J., Choi, M., Jin, Y., Chang, D., Chang, Y. H., Kim, M., Jeong, Y., & Lee, Y. (2017). Physicochemical and textural properties of noodles prepared from different potato varieties. *Preventive nutrition and food science*, 22(3), 246.
- Kim, Y. S., Wiesenborn, D. P., Lorenzen, J. H., & Berglund, P. (1996). Suitability of edible bean and potato starches for starch noodles. *Cereal Chemistry*, 73(3), 302–308.
- Levent, H. (2017). Effect of partial substitution of gluten-free flour mixtures with chia (*Salvia hispanica* L.) flour on quality of gluten-free noodles. *Journal of food science and technology*, 54(7), 1971–1978.
- Logan-del Castillo, E. J. P., Azares, G. F., Almonte, C. J. R., Pascua, K. M. N., Santiago, I. B., So, E. G. C., Umali, A. M. S., Villamento, H. A. (2020). Effects of incorporation of microwave: Dried corn silk (*Stigma maydis*) powder on the quality and stability of beef patties. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1529(3), 032064, IOP Publishing.
- Navare, S. S. (2019). Effect of high pressure processing on selected physicochemical and functional properties of yellow lentil protein concentrate (Doctoral dissertation, Rutgers University-School of Graduate Studies).
- Ning, X., Zheng, X., Luo, Z., Chen, Z., Pan, X., Yu, K., Zhaoming L., Xuerong H., Wei D., Xiaohuang Cao & Wang, L. (2022). Corn silk flour fortification as a dietary fiber supplement: evolution of the impact on paste, dough, and quality of dried noodles. *International Journal of Food Engineering*, 18(6), 479–487.
- Odabas, E. (2021). Isl işlem görmüş mercimek ununun glutensiz erişte kalitesi üzerine etkilerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çorum, Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 110 s..
- Odabas, E., & Cakmak, H. (2022). Partial replacement of starch-based flours with quinoa or yellow lentil flour in production of gluten-free noodles. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(8), e16776.
- Odabas, E., Aktas Akyildiz, E., & Cakmak, H. (2022). Effect of raw and heat-treated yellow lentil flour on starch-based gluten-free noodle quality. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10), e16825.
- Padalino, L., Conte, A., & Del Nobile, M. A. (2016). Overview on the general approaches to improve gluten-free pasta and bread. *Foods*, 5(4), 87.
- Padalino, L., Conte, A., Lecce, L., Likyova, D., Sicari, V., Pellicanò, T. M., Poiana M., & Del Nobile, M. A. (2017). Functional pasta with tomato by-product as a source of antioxidant compounds and dietary fibre. *Czech Journal of Food Sciences*, 35(1), 48–56.
- Padalino, L., Mastromatteo, M., Lecce, L., Cozzolino, F., & Del Nobile, M. A. (2013). Manufacture and characterization of gluten-free spaghetti enriched with vegetable flour. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 333–342.
- Patil, S., Sonawane, S. K., Mali, M., Mhaske, S. T., & Arya, S. S. (2020). Pasting, viscoelastic and rheological characterization of gluten free (cereals, legume and underutilized) flours with reference to wheat flour. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 2960–2966.
- Piecyk, M., Wołosiak, R., Drużynska, B., & Worobiej, E. (2012). Chemical composition and starch digestibility in flours from Polish processed legume seeds. *Food Chemistry*, 135(3), 1057–1064.
- Rahman, N. A., & Rosli, W. I. W. (2014). Nutritional compositions and antioxidative capacity of the silk obtained from immature and mature corn. *Journal of King Saud University-Science*, 26(2), 119–127.

- Raungrusmee, S., Shrestha, S., Sadiq, M. B. ve Anal, A. K. (2020). Influence of resistant starch, xanthan, inulin and defatted rice bran on the physicochemical, functional and sensory properties of low glycemic gluten-free noodles. *LWT*, 126, 109279.
- Ribeiro, T. H. S., Bolanho, B. C., Montanuci, F. D., & Ruiz, S. P. (2018). Physicochemical and sensory characterization of gluten-free fresh pasta with addition of passion fruit peel flour. *Ciência Rural*, 48.
- Roy, F., Boye, J. I. ve Simpson, B. K. (2010). Bioactive proteins and peptides in pulse crops: pea, chickpea and lentil. *Food Research International*, 43(2), 432-442.
- Senphan, T. (2019). Comparative studies on chemical composition and antioxidant activity of corn silk from two varieties of sweet corn and purple waxy corn as influenced by drying methods. *Food and Applied Bioscience Journal*, 7(3), 64-80.
- Singh, A., & Raghuvanshi, R. S. (2021). Development and evaluation of value-added fiber rich Laddoo supplemented with processed corn silk. *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 8(1), 909-922.
- Singh, J., Inbaraj, B. S., Kaur, S., Rasane, P., & Nanda, V. (2022a). Phytochemical analysis and characterization of corn silk (*Zea mays*, G5417). *Agronomy*, 12(4), 777.
- Singh, J., Kaur, S., Rasane, P., Kumar, V., & Nanda, V. (2022b). Effect of particle size on physical, techno-functional and antioxidant properties of corn silk powder. *International Journal of Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15988>.
- Singh, J., Rasane, P., Kaur, S., & Nanda, V. (2022c). Comparative analysis of antioxidant potential and techno-functional properties of selected corn silk varieties at different developmental stages. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-14.
- Singh, J., Rasane, P., Nanda, V., & Kaur, S. (2022d). Bioactive compounds of corn silk and their role in management of glycaemic response. *Journal of Food Science and Technology*, 1-16.
- Thapphasaraphong, S., Rimdusit, T., Priprem, A., & Puthongking, P. (2016). Cobs of waxy purple corn: A valuable source of antioxidative phytochemicals. *International Journal of Advances in Agricultural and Environmental Engineering*, 3(1), 73-77.
- Tiwaree, C., & Anuntagool, J. (2022). Effect of particle size and concentration on the chemical, physical and functional properties of rice-corn silk composite flour paste. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 1-10.
- Tudorica, C. M., Kuri, V., & Brennan, C. S. (2002). Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(2), 347-356.
- Türk Gıda Kodeksi Makarna Tebliği, No: 2002/20,2021, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2002/03/20020305.htm#10>.
- Ungureanu-Iuga, M., Dimian, M., & Mironeasa, S. (2020). Development and quality evaluation of gluten-free pasta with grape peels and whey powders. *LWT*, 130, 109714.
- Xu, M., Jin, Z., Peckrul, A., & Chen, B. (2018). Pulse seed germination improves antioxidative activity of phenolic compounds in stripped soybean oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, 250, 140-147.



## SCHMIDT ÇEKİCİ GERİ TEPME SAYILARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN NİCEL DEĞERLENDİRMESİ

Kadir KARAMAN<sup>1\*</sup>

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

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Schmidt Çekici, Çekiç Tipi, Pürüzlülük, Yüzey Özellikleri.</i>	<p>Yüzey sertliğinin pratik ve ucuz bir şekilde ölçülmesini sağlayan Schmidt çekici, kaya malzemelerinin mekanik özelliklerinin tahmini için yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü, test örneğinin su içeriği, ayrışma, Schmidt çekici tipi, test yöntemleri ve tane boyu etkisi Schmidt çekici geri tepme sayısını etkileyen önemli parametrelerdir. Bu çalışmanın amacı, Schmidt çekici geri tepme sayısını etkileyen faktörleri sayısal olarak incelemektir. Bu amaca yönelik olarak, bu çalışmadan ve önceki çalışmalardan çok sayıda Schmidt çekici geri tepme sayısı değerleri elde edilmiş ve Schmidt değerlerini etkileyen faktörler nicel olarak analiz edilmiştir. Farklı mineral tane boyutlarının Schmidt geri tepme sayısına etkisi de irdelenmiştir. Schmidt çekici geri tepme sayısı değerleri için en yüksek düşüş %54 ile taze ve bozunmuş örnekler arasında tespit edilmiştir. Kuru ve doymuş örneklerde ölçülen geri tepme sayısı değerleri arasındaki fark % 34'e ulaşmıştır. Geri tepme sayısı değerleri arasındaki farklar, farklı değerlendirme yöntemleri ve çeşitli test yüzeyleri için sırasıyla % 19 ve %33 olarak gözlenmiştir. N ve L tipi Schmidt çekiciden elde edilen geri tepme sayısı değerleri arasındaki fark ise %24 olarak hesaplanmıştır. Schmidt çekici testinin yapılması ve sonuçların yorumlanması için bir deneyim gerekmesine karşın, Schmidt çekicinin jeoteknik projelerin ön değerlendirilmesinde hızlı, ucuz ve basit çözümler sağlayacağı açıktır.</p>

## QUANTITATIVE EVALUATION OF THE FACTORS AFFECTING THE SCHMIDT REBOUND NUMBER

Keywords	Abstract
<i>Schmidt Hammer, Hammer Type, Roughness, Surface Properties.</i>	<p>The Schmidt hammer provides a quick and inexpensive measure of surface hardness that is commonly used for predicting the mechanical properties of rock material. Surface roughness, water content of the test sample, weathering, Schmidt hammer type, the testing methods and influence of grain size are important parameters affecting the Schmidt hammer rebound number. The aim of this study is to quantitatively examine the factors affecting Schmidt hammer rebound number. Within the framework of the purposes, a large number of Schmidt rebound values was derived from the current study and the previous studies and affecting factors of Schmidt hammer rebound number values were analyzed numerically. The effect of different mineral grain sizes on the Schmidt hammer rebound number was also investigated. The highest level of decrease in Schmidt rebound values was determined between fresh and weathered samples with a level of 54 %. The difference between the Schmidt hammer rebound values measured in dry and saturated samples reached 34%. The difference rebound values were observed as 19 % and 33 % for different evaluation methods and different test surfaces, respectively. Rebound values derived from N and L type Schmidt hammer was calculated as 24 %. Although experience is required to perform the Schmidt hammer test and interpret the results, it is clear that the Schmidt hammer will provide quick, inexpensive and simple solutions for the preliminary evaluation of geotechnical projects.</p>

\* İlgili yazar / Corresponding author: kadir.karaman@ktu.edu.tr, +90-462-377-4264

**Alıntı / Cite**

Karaman, K., (2023). Schmidt Çekici Geri Tepme Sayılarını Etkileyen Faktörlerin Nicel Değerlendirmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 708-718.

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

K. Karaman, 0000-0002-3831-4465

**Makale Süreci / Article Process**

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	15.02.2023
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	15.03.2023
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	15.03.2023
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

# QUANTITATIVE EVALUATION OF THE FACTORS AFFECTING THE SCHMIDT REBOUND NUMBER

Kadir KARAMAN<sup>1†</sup>

Karadeniz Technical University, Engineering Faculty, Department of Mining Engineering, Trabzon, Türkiye

---

## Highlights

- This study focused on quantitative evaluation of the factors affecting Schmidt hammer rebound number.
- Some factors were evaluated (dry and saturated, fresh and weathered, evaluation methods and different test surfaces).
- The differences between Schmidt hammer rebound values were ranged from 19 % to 54 %.

---

## Purpose and Scope

The aim of this study is to quantitative evaluation of the factors affecting Schmidt hammer rebound number. For this purpose, a large number of Schmidt rebound values was derived from the current study and the previous studies and affecting factors of Schmidt hammer rebound number values were analyzed numerically.

## Design/methodology/approach

Dry and saturated conditions of the samples, fresh and weathered samples, test evaluation methods and roughness of the surfaces were evaluated separately. The percentage difference of the values obtained from the different tests were calculated.

## Findings

According to the percentage difference calculations, the highest level of decrease in Schmidt rebound values was found between fresh and weathered samples with a level of 54 %. The difference between the Schmidt hammer rebound values measured in dry and saturated samples reached 34 %. The difference rebound values were obtained as 19 % and 33 % for different test methods and surfaces, respectively. Schmidt hammer rebound number values derived from different hammer types were determined as 24 %.

## Originality

The results derived from this study are significant in terms of quantitative assessment of the main factors affecting Schmidt hammer rebound number.

---

## 1. Giriş (Introduction)

Schmidt çekici ilk olarak beton sertliğini test etmek amacıyla 1948 yılında geliştirilmiştir (Schmidt, 1951). Pratik, taşınabilir ve hızlı test olanağı sunduğundan dolayı 1960'lı yılların başından günümüze kadar, kayaçların dayanım tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır. Schmidt çekici ayrıca; kayaçların ayrışma durumlarının belirlenmesi, süreksizlik yüzeyinin dayanımı ve değerlendirmesi, kaya kütlelerinin kazılabilirlik sınıflandırması, tünel açma makinesinin performansı, buzulla taşınan kaya bloklarının yaş tayini ve suya doymun durumunun dayanım ve sertlik üzerindeki etkisi olmak üzere çok sayıda amaç için kullanılmaktadır (Karpuz, 1990; Wilson and Matthews, 2016; Karaman, 2019; Külekçi vd. 2022).

Farklı türde üretilmiş modelleri mevcut olmasına rağmen, L ve N tipi Schmidt çekiçleri kaya yüzey ölçümlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. L ve N tipi Schmidt çekiçleri sırasıyla 0.735 ve 2.207 Nm gibi darbe enerji seviyeleri ile tasarlanmıştır. Darbe enerjisinin yüksek olması nedeniyle arazide yapılan deneylerde, pürüzlü ve farklı mineral özelliklerinin bulunduğu heterojen yüzeylerde N tipi çekiç ön plana çıkmaktadır. Buna karşın L tipi çekiç gözenekli, ayrışmış ve zayıf kayaçlarda daha kullanışlıdır (Karaman ve Kesimal, 2015). Kullanılan çekiç tipi (L ve N), çekicinin kalibrasyonu, test edilen kayacın ayrışma durumu, kayaç yüzeyinin nem içeriği, örnek boyutu, uygulanan ölçme, ölçüleri değerlendirme yöntemi ve kayaç yüzeyindeki pürüzlülükler gibi faktörler Schmidt çekici geri tepme sayısını etkilemektedir (Aydın, 2009; Külekçi vd. 2021). Mccarroll (1989) buzullar üzerinde yaptığı çalışmada göreceli yaş tayini için Schmidt çekicini kullanmış ve Schmidt çekici geri tepme sayısını etkileyen dört faktör bulunduğunu (alet hataları, litoloji, ayrışma ve yüzey pürüzlülüğü) ifade etmiştir. Her bir faktöre değinmekle beraber minerallerin farklı ayrışma özelliğini ve taşınma tarihini yansıttığını ifade ettiği pürüzlülük faktörünü

---

<sup>†</sup> Corresponding author: kadirkaraman@ktu.edu.tr, +90-462-377-4264

detaylı araştırmıştır. Kahraman vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada farklı Schmidt değerlendirme yöntemleri ile arazi ve laboratuvar deneyleri arasındaki farklar araştırılmıştır. Büyüksağış ve Göktaş (2007) farklı Schmidt çekici türlerinin (L ve N) geri tepme sayısına olan etkisini çalışmışlardır. Karakul (2017) ve Kahraman ve Fener (2019) doymuş ve kuru haldeki örneklerin Schmidt değerlerine olan etkisini araştırmışlardır. Karaman (2020) yüzey pürüzlülüğünün Schmidt değerlerine etkisini irdelemiştir. Mccarroll (1989) Schmidt çekici geri tepme sayısını etkileyen bazı önemli faktörleri detaylı olarak araştırmışlardır. Aydın ve Basu (2005) Schmidt çekici geri tepme sayısı değerlerini etkileyen faktörlerden detaylı olarak bahsetmiş ancak sayısal değer vermemişlerdir. Literatürde Schmidt çekici geri tepme sayısını etkileyen faktörlerden bahsedilmesine karşın, söz konusu faktörlerin geri tepme sayısını ne ölçüde etkilediği ile ilgili çalışmalar oldukça yetersizdir. Bu çalışmada, Schmidt çekici geri tepme sayısı değerlerini etkileyen önemli faktörler sayısal olarak irdelenmiş ve araştırmacılar için bir kaynak sağlanması amaçlanmıştır.

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

Çalışma kapsamında L ve N Schmidt çekicinin, su içeriğinin, ölçümleri değerlendirme yönteminin, yüzey pürüzlülüğünün, kaya türü ve mineral içeriğinin ve kaya yüzey bozunmasının Schmidt çekici geri tepme sayısına etkileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Ayrıca, test yüzeyinin özelliklerini doğrudan yansıtan Schmidt okumaları arasındaki standart sapma parametresi incelenmiştir. Son olarak literatürde yaygın olan kaya dayanım tahmini için kullanılan eşitliklerin kullanımı ile ilgili öneriler sunulmuştur. Ayrıca bu çalışma kapsamında Schmidt değerleri arasındaki % fark aşağıdaki eşitlik ile belirlenmiştir (Eşitlik 1).

$$\% \text{ Fark değeri} = ((y - y')/y) \times 100 \quad (1)$$

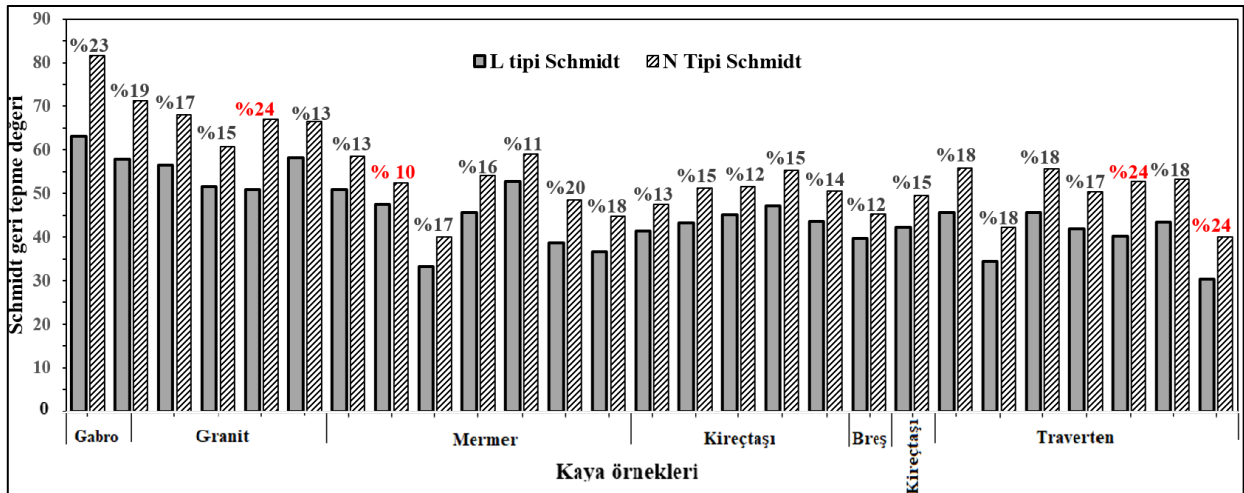
Burada y ve y' farklı koşullarda ölçülen Schmidt değerleridir.

Bu makale kapsamında yapılan çalışmalara ilave olarak Schmidt çekici geri tepme sayısını etkileyen faktörleri araştırmak için önceki çalışmalardan yararlanılmıştır (Kahraman vd., 2002; Aydın ve Basu, 2005; Büyüksağış ve Göktaş, 2007; Karakul, 2017; Kahraman ve Fener, 2019; Karaman, 2020).

## 3. Önceki Çalışmalar (Previous Studies)

### 3.1. Çekiç Tipi ve Değerlendirme Yönteminin Schmidt Değerlerine Etkisi (The Effect of Hammer Type and Evaluation Method on Schmidt Values)

Çalışma kapsamında çekiç tiplerinin geri tepme sayısına olan etkisini görmek için ilk olarak Büyüksağış ve Göktaş (2007) tarafından yapılan bir çalışmanın verileri değerlendirilmiştir. Yazarlar, ISRM (1978) yöntemini dikkate alarak 27 farklı kayaç üzerinde (gabro, granit, kireçtaşı, mermer ve traverten) L ve N tipi çekiç kullanarak Schmidt okumalarını yapmışlardır. Çalışma kapsamında Büyüksağış ve Göktaş (2007) tarafından elde edilen Schmidt okumaları değerlendirilerek Şekil 1'de verilmiştir. Grafik üzerindeki yüzde ile belirtilen sayılar o kaya türü için N ve L tipi çekiç arasındaki ortalama Schmidt değerlerinin farkını göstermektedir. N tipi çekiç kullanılarak elde edilen değerler L tipine göre yüksek olup genel olarak fark % 15'in üzerindedir. En yüksek fark ise % 24'ü bulmuştur. Ayrıca, Aydın ve Basu (2005) tarafından granitik kayalar üzerinde yapılan bir çalışmada, N ve L tipi Schmidt çekicinden elde edilen geri tepme değerleri arasındaki en büyük fark %24'e ulaşmaktadır.



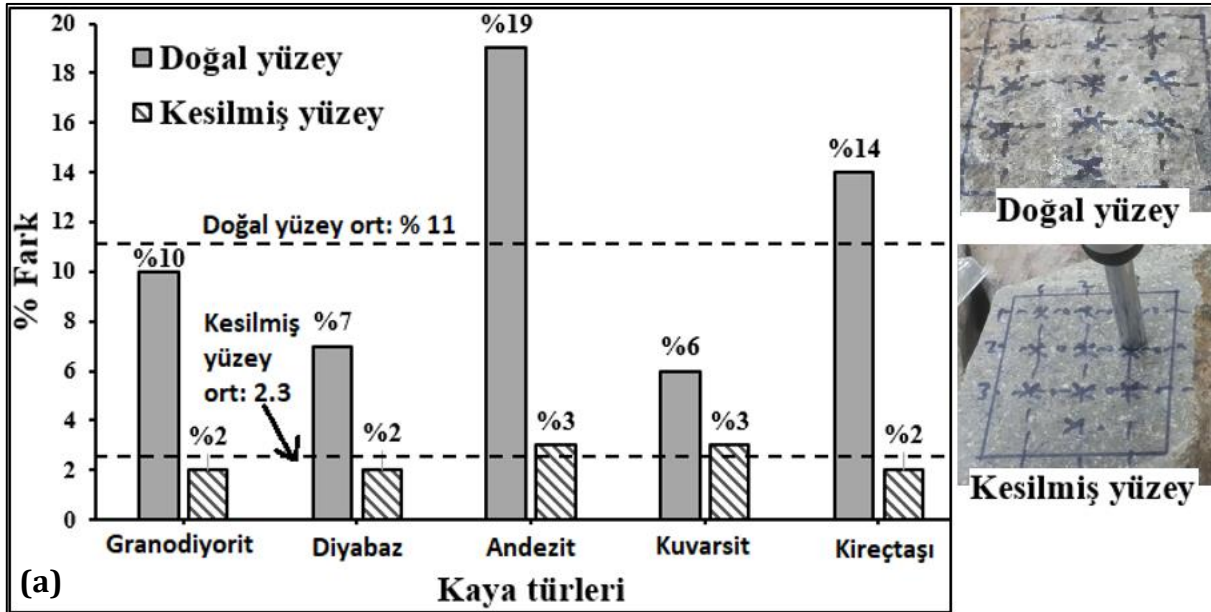
Şekil 1. Çekiç tipinin Schmidt değerlerine etkisi (Büyüksağış ve Göktaş, 2007)

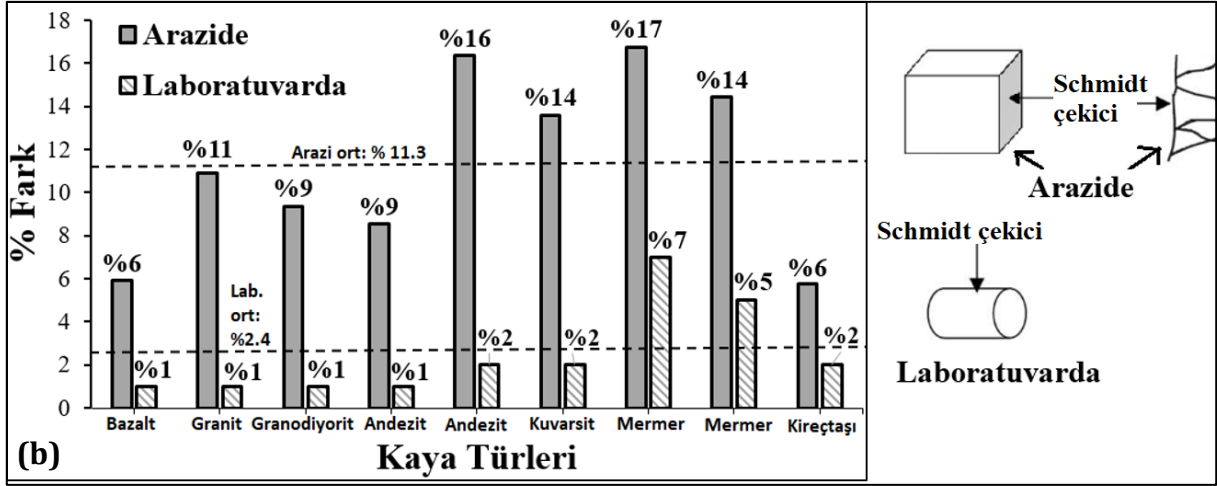
(The effect of hammer type on Schmidt values (Büyüksağış ve Göktaş, 2007))

Ölçümleri değerlendirme yöntemleri de Schmidt değerlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada, Karaman (2020) tarafından yapılan çalışmanın verileri kullanılarak USBR (1998) ve ASTM (2001) yöntemlerine göre ortalama Schmidt değerleri laboratuvarda taze kaya bloklarında doğal ve kesilmiş yüzey durumlarında belirlenmiştir (Şekil 2a). ISRM yöntemine benzeyen USBR (1998) yönteminde bir yüzey üzerinde 10 farklı noktadan ölçüm alınarak en büyük 5 değerlerin ortalaması sertlik değerini vermektedir. ASTM (2001) yönteminde 10 farklı noktadan alınan değerlerin ortalaması alınır ve ortalamanın 7 birim altındaki ve üstündeki değerler iptal edilerek geriye kalan değerlerin ortalaması Sertlik değerini vermektedir. USBR (1998) yönteminden elde edilen Schmidt değerleri doğal kaya yüzeyinde ASTM (2001) ile hesaplandığında en yüksek % 19'luk bir düşüş yaşamaktadır. Aynı kaya türü için (andezit) % fark değeri kesilmiş yüzeyde %3'e düşmektedir. Doğal durumda standart sapma 8.2, kesilmiş yüzeylerden elde edilen değerler arasındaki ortalama standart sapma ise 1.8 olarak hesaplanmıştır. Standart sapma düştükçe yöntemler arasındaki fark ciddi derecede azalmaktadır. Tüm kayaların doğal yüzeylerinde ortalama fark % 11 iken, kesilmiş yüzeylerdeki ortalama % fark değeri 2.3 olarak bulunmuştur (Şekil 2a).

Kahraman vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada ise 9 farklı kayaç için arazide yapılan deneylerde ortalama fark % 11.3 iken laboratuvar deneylerinden elde edilen ortalama % fark değeri ise 2.4'tür (Şekil 2b). Kahraman vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada kullanılan yöntemlerden Hucka (1965) ve ISRM (1981) bu çalışmada değerlendirilmiştir. Hucka (1965), numune üzerinde üç farklı noktada, her bir noktada on tekrar olmak üzere, Schmidt çekici ile elde edilen en yüksek üç değerlerin ortalaması alınır. ISRM (1981), bu yöntemde numune üzerine Schmidt çekici ile 20 farklı noktaya tek vuruş yapılarak, en büyük 10 vuruş değerinin ortalaması alınır. Yazarlar laboratuvarda karot örneklerde arazide ise kaya blokları üzerinde Schmidt deneylerini yapmışlardır. Karot örneklerde ölçülen değerler arasındaki standart sapmanın genel olarak düşük olduğu bilinmektedir (Karaman, 2020). Kahraman vd. (2002) tarafından arazide yapılan deneylerde yöntemler arasındaki fark % 17'ye ulaşmışken, laboratuvarda ise % fark değeri % 1-7 arasında değişmiştir.

Standart sapma test yüzeyi hakkında ipucu veren önemli bir göstergedir. Standart sapmanın yüksek olması test yüzeyinin heterojen, pürüzlü, ayrışmış ve farklı sertlikteki minerallerin bulunduğunu gösterebilir. Bu nedenle test öncesinde amaca uygun olarak yüzey hazırlanmalıdır. Aydın (2009) önerdiği yöntemde sertlik ölçümü için 20 okumanın yapılması gerektiğini ancak veriler arasındaki fark  $\pm 2$  olması durumunda 10 okumanın yeterli olduğunu vurgulamıştır. Soiltest Inc (1976) standart sapmanın 2.5'in altında olması koşuluyla 15 okumanın en yüksek 10 değeri sertlik hesabında kullanımını önermiştir. Literatür dikkate alındığında Schmidt ölçümleri için verilerin daha az değişim göstermesi yani küçük standart sapmanın olması önem arz etmektedir. Bu durum kesilmiş test yüzeylerinde sağlanmaktadır. Öte yandan taşlama yapılan yüzeyde de doğal yüzeye kıyasla standart sapma değerleri oldukça düşük çıkmıştır.



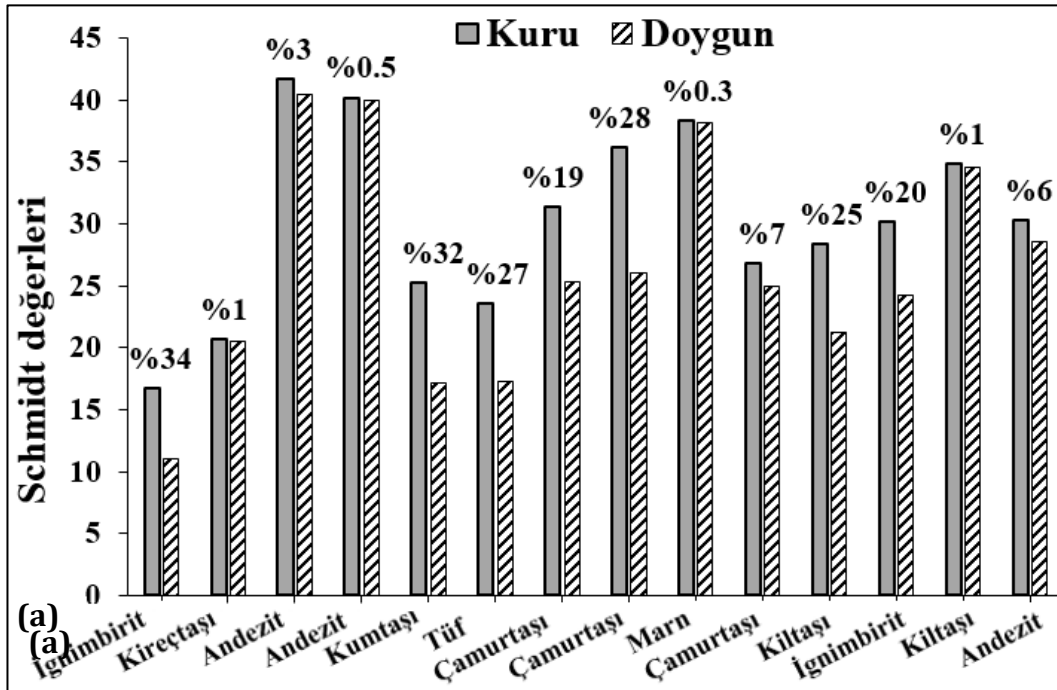


Şekil 2. Değerlendirme yöntemlerinin Schmidt değerlerine etkisi; Karaman (2020) (a) ve Kahraman vd. (2002) (b)  
(The effect of evaluation methods on Schmidt hammer; Karaman (2020) (a) ve Kahraman vd. (2002) (b))

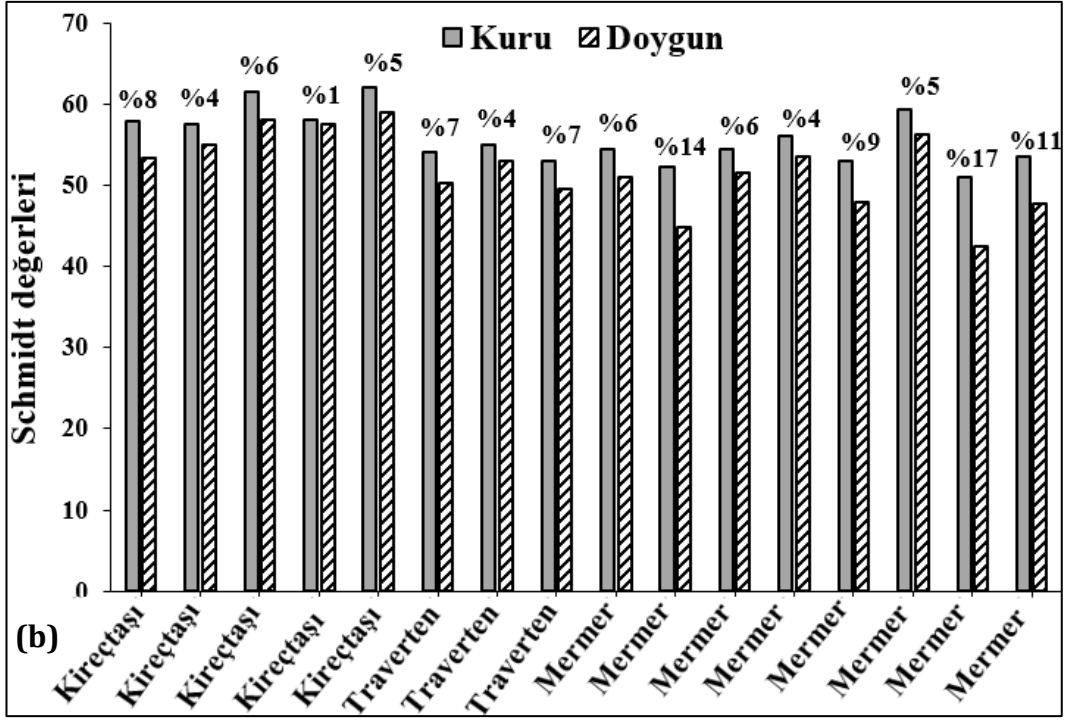
### 3.2. Su İçeriğinin ve Yüzey Özelliklerinin Schmidt Değerlerine Etkisi (The Effect of Water Content and Surface Characteristics on Schmidt Values)

Schmidt çekici, kaya mühendisliği projelerinde kaya dayanımının tahmininde yaygın olarak kullanıldığından, Schmidt çekici değerinden dayanım tahmin edilirken suya doygunluğun da dikkate alınması gereklidir (Kahraman ve Fener 2019). Aydın (2014), kayacın mikroyapısal özelliğine bağlı olarak su içeriğinin Schmidt çekici değerini önemli derecede etkileyebileceğini ifade etmektedir.

Karakul (2017), on dört farklı kayaç ve bir yapı malzemesi için basınç dayanımı ve Schmidt çekici değerleri arasındaki ilişki üzerinde suya doygunluğun etkisini araştırmıştır. Kahraman ve Fener (2019) ise 16 farklı karbonat kayaçları üzerinde (kireçtaşı, traverten ve mermer) yaptıkları çalışmada doygunluğa bağlı Schmidt geri tepme derindeki kayıp % 17'ye ulaştığını ifade etmişlerdir. Kahraman ve Fener (2019) Schmidt çekici değeri arttıkça kayıp yüzdesinin düştüğünü belirtmişlerdir. Karakul (2017) tarafından yapılan çalışmada Schmidt geri tepme değerleri genelde 10–30 gibi düşük değer aralığında olduğundan kuru ve doygun arasındaki değerler arasındaki fark % 34'e ulaşmıştır (Şekil 3a). Kahraman ve Fener (2019) tarafından yapılan çalışmada ise Schmidt değerleri genellikle 50–60 aralığında değişmiştir (Şekil 3b).



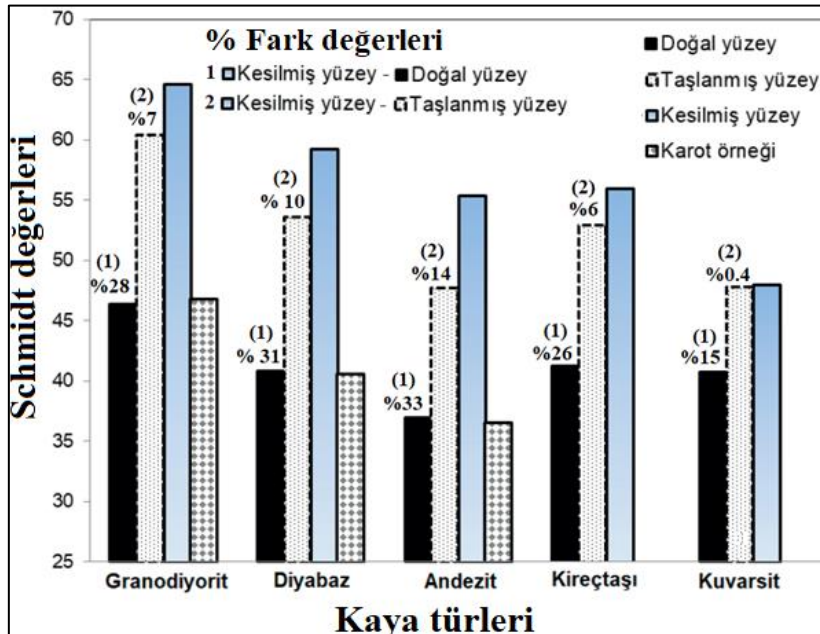




Şekil 3. Su içeriğinin Schmidt değerine etkisi; Karakul (2017) (a) ve Kahraman ve Fener (2019) (b)  
(The effect of water content on Schmidt value; Karakul (2017) (a) and Kahraman and Fener (2019) (b))

Karaman (2020) tarafından farklı kayalara ait yüzey özelliklerinin Schmidt geri tepme sayısına etkisi araştırılmıştır. Schmidt ölçümleri dört farklı yüzeyde gerçekleştirilmiştir. Bunlar a) köşelerden uzak, tozdan arındırılmış, doğal yüzeyler üzerinde, b) elektrikli taşlama aleti ile (16 numara) temizlenen/pürüzlülüğü giderilen yüzey üzerinde, c) laboratuvar taş kesme makinasında kesilen yüzey üzerinde ve d) beş kaya bloğunun üçünden alınan karot örnekleri üzerinde yapılmıştır. Aynı zamanda söz konusu yüzeylerin pürüzlülükleri de ölçülmüş ve sertlik değerleri ile ilişkilendirilmiştir.

Karaman (2020) tarafından yapılan çalışma verileri kullanılarak Şekil 4'teki grafik oluşturulmuştur. Beş farklı kaya türü için, kesilmiş yüzey ile herhangi bir işleme tabi tutulmamış pürüzlü doğal yüzeyler arasında (grafikte 1 nolu durum) elde edilen Schmidt değerleri arasındaki fark % 15 - % 33 arasında değişmiştir. Grafikte 2 nolu durum olarak belirtilen ve kesilmiş yüzey ile taşlanmış yüzey arasındaki Schmidt değerlerindeki fark ise % 0.4 - % 14 arasında değişmiştir. Bu sonuca göre deney öncesinde kaya yüzeyinin zımpara veya elektrikli taşlama aletiyle pürüzlülüğünün azaltılması büyük önem taşımaktadır.



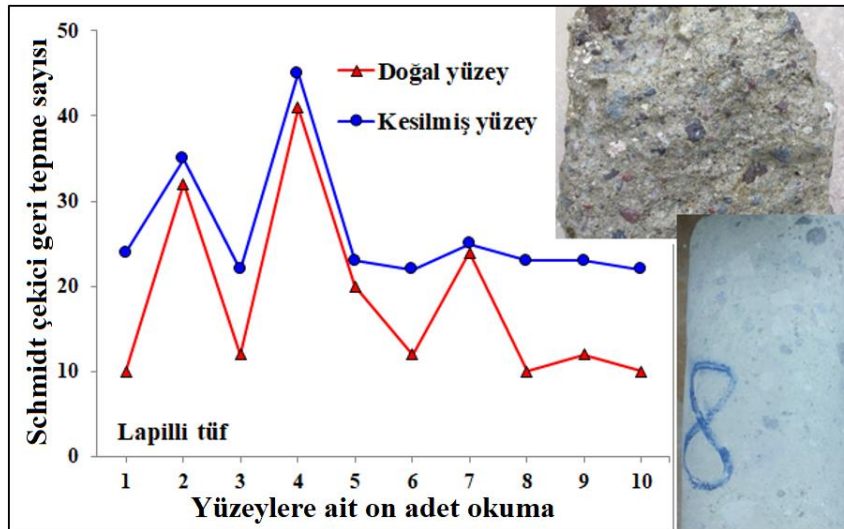
Şekil 4. Yüzey özelliklerinin Schmidt değerlerine etkisi (The effect of surface characteristics on Schmidt values))

#### 4. Bulgular ve Tartışma (Results and Discussion)

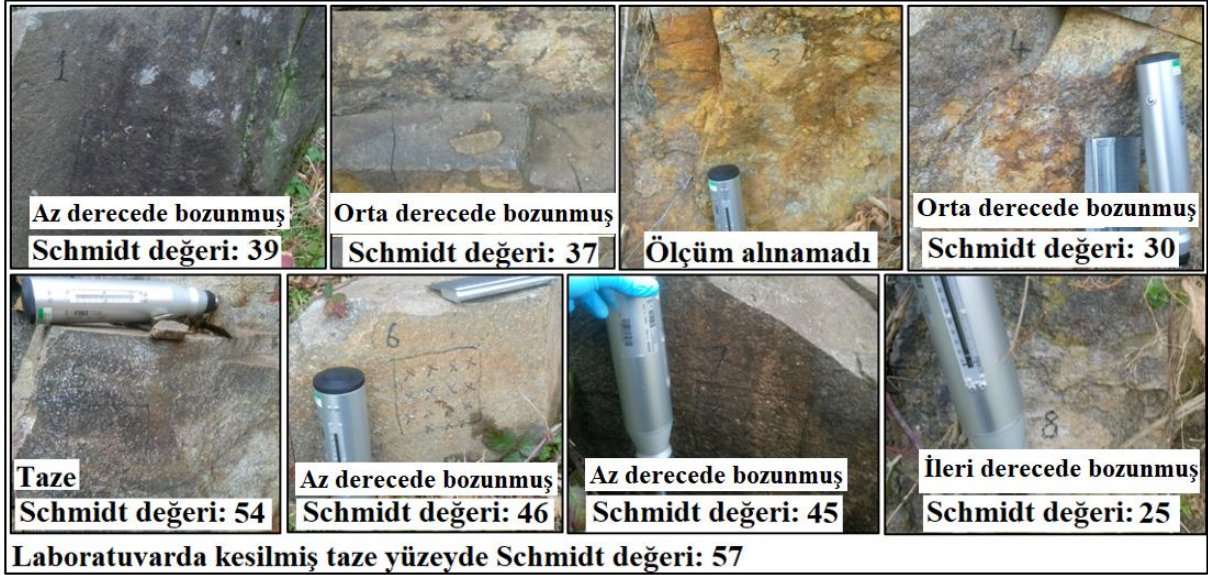
##### 4.1. Kaya Mineralojisinin ve Bozunmanın Schmidt Değerlerine Etkisi (The Effect of Rock Mineralogy and Weathering on Schmidt Values)

Atapour ve Mortazavi (2018), farklı dokusal özelliklere, özellikle tane boyutlarına (tane boyutu 0.31 ile 1.63 mm ve çimento içeriği % 15 ile % 25 arasında) sahip yapay kumtaşları üretmiştir. Numunelerin Schmidt geri tepme sayısının tane boyutunun artmasıyla arttığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada kullanılan lapilli tuf kayacı farklı geri tepme değerlerini yansıtan irili ufaklı farklı kaya parçalarına sahiptir. Diğer kayalarda kesilmiş yüzeyin pürüzlülüğü ve bozunma etkisi ortadan kalktığı için veriler arasında ki dalgalanma yok denecek kadar azdır. Ancak, lapilli tuf kayacında farklı boyuttaki kaya parçaları farklı sertlik içerdiğinden kesilmiş yüzeyde bile verilerde dalgalanma görülmüştür (Şekil 5).

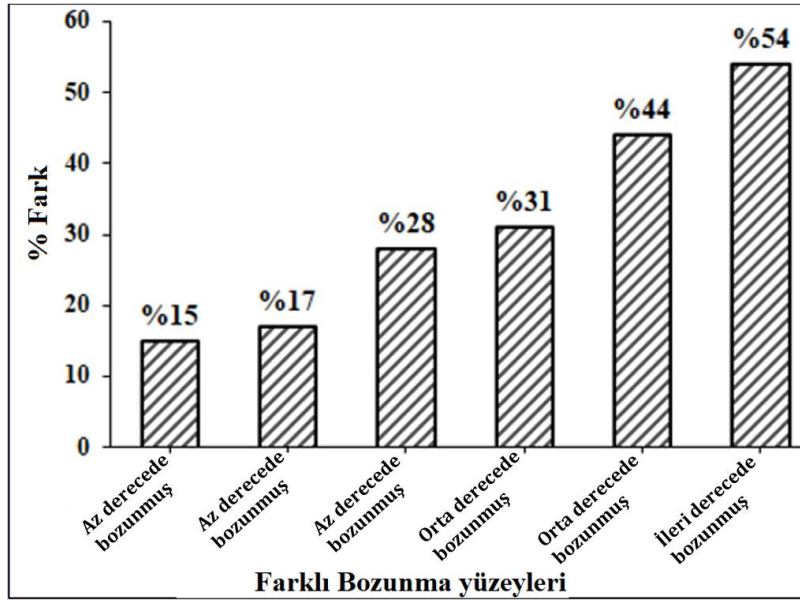
Bu çalışmada kaya yüzeyindeki bozunmanın etkisi bir bazalt sahasında araştırılmıştır. Bazalt sahasında yapılan bozunma durumu Gökçeoğlu (1997) tarafından önerilen sınıflama dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışmada taze yüzeyden ileri derece bozunmuş yüzeylere kadar oldukça farklı yüzeylerde ölçüm alınmıştır (Şekil 6). Schmidt değerleri kaya yüzeylerinin bozunmasından büyük ölçüde etkilenmiştir. Kaya yüzeyleri donma-çözülme, hava bileşiminde yer alan gazlar, su, sıcaklık gibi atmosferik etkilere maruz kalması sonucu sağlam yapısını kaybetmesi sonucu zayıflamaktadır. Böylelikle kayanın dayanımının azalmasının yanı sıra Schmidt çekici geri tepme sayılarında da ciddi azalmalar söz konusu olabilmektedir. Ayrıca, Schmidt çekici boşluklara karşı hassas olduğundan aşırı bozunmuş yüzeylerin arka tarafında oluşan boşluklar ölçüm alınamamasına sebebiyet vermektedir. Çalışma sahasında ileri derece bozunmuş yüzeyde ölçülen değerlerin taze yüzeyde ölçülen değerlerinden % 54 daha düşük olduğu görülmüştür (Şekil 7). Taze - az ayrılmış yüzeyler arasındaki ortalama değerlerdeki fark % 20 iken, taze - orta ayrılmış yüzeyler arasındaki ortalama fark ise yaklaşık % 38'dir. Bütün faktörler dikkate alındığında Schmidt çekici geri tepme sayısı değerlerini etkileyen en önemli faktörün bozunma olduğu görülmüştür.



Şekil 5. Kaya mineralojisinin Schmidt çekici geri tepme sayısına etkisi (The effect of rock mineralogy on Schmidt hammer rebound number)



Şekil 6. Bozunmanın Schmidt çekici geri tepme sayısı değerlerine etkisi (The effect of weathering on Schmidt hammer rebound number values)



Şekil 7. Taze ve bozunmuş yüzeylerdeki değerlerdeki farklar (The difference in values on fresh and weathered surfaces)

#### 4.2. Diğer Faktörlerin Schmidt Değerlerine Etkisi (The Effect of Other Factors on Schmidt Values)

Çekicinin kalibrasyonu Schmidt çekici geri tepme sayısını etkileyen diğer faktörlerdendir. Schmidt çekicinin en önemli parçalarından biri olan yaylar zaman içerisinde gevşemektedir. Bu nedenle Schmidt çekici her kullanımdan önce kalibrasyon örsü ile kontrol edilmelidir. Çekicinin uygulama yönü de Schmidt çekici geri tepme sayısı değerlerini etkilemektedir. Kalibrasyon ve çekiç uygulama yönü ile ilgili gerekli düzeltmeler ve grafikler Aydın (2009) tarafından verilmiştir. Schmidt çekici geri tepme sayısı değerlerinin olumsuz etkilenmemesi için çekiç test yüzeyine dik ve dike yakın ( $\pm 5^\circ$ ) uygulanmalıdır. Schmidt çekici ayrıca süreksizlik ve kenar boşluklarından gerektiği kadar uzak olmalı, test yüzeyinin hemen altında boşluk ve çatlaklar olmamalıdır. Bu konuda sayısal değerler araştırmacılar ve standartlarca belirtilmiştir. Kaya bloğunda yapılan deneyler için kaya bloğunun L tipi çekiç için en az 20 kg ve N tipi çekiç için en az 40 kg ağırlığında olması ve test anında zemine sıkıştırılması önerilmektedir. En çok yanılığa neden olan etkenlerden biri de Schmidt çekici geri tepme sayısı çekicinin hasarsız bir yöntem olduğunun düşünülmesidir. Kaya dayanımının 80 MPa ve üzerinde olması durumunda aynı karot örneklerde önce Schmidt çekici deneyi daha sonra dayanım ve deformasyon testlerinin yapılabileceği ifade edilmiştir. Ancak bu çalışmada, yeterince örnek olması durumunda farklı örneklerin kullanılmasının daha sağlıklı olacağı düşünülmektedir. Kaya dayanımı <80 MPa olduğunda Schmidt çekici deneylerinde kullanılan örneklerde kırılma meydana gelebilecekken, >80 MPa olan karot örneklerde ise mikro çatlakların oluşumu muhtemeldir. Aynı örneklerin dayanım testinde kullanılması durumunda oluşan mikro çatlaklardan dolayı daha düşük dayanımlar elde edilebilecektir.

Bu çalışma ve farklı yazarların çalışmalarından elde edilen Schmidt çekici geri tepme sayısı değerlerini etkileyen parametreler Tablo 1’de verilmiştir. Schmidt çekicini etkileyen çok sayıda faktörün olduğu anlaşılmaktadır. Schmidt çekicini etkileyen faktörler genel olarak değerlendirildiğinde amaca uygun olarak gerekiyor ise kaya test yüzeyinin hazırlanması önem arz etmektedir. Hazırlanmış/pürüzlülüğü azaltılmış yüzeylerdeki değerler arasındaki standart sapma azalacağından farklı değerlendirme yöntemlerinin etkisi de azalacaktır. Ayrıca yüzeyin sıyrılması ile deneyler alttaki taze yüzey üzerinde yapılmış olacağından bozunma etkisi de en aza inecektir. Eğer buzul kaya bloklarının yaş tayini yapılacak ise ve kaya yüzeylerinin ayrışma durumları belirlenecekse yüzeye herhangi bir işlem yapılmadan Schmidt ölçümleri alınmaktadır (Wilson vd., 2019). Schmidt çekicinin en önemli kullanım alanlarından birisi şüphesiz kaya dayanımının dolaylı olarak tahmin edilmesidir. Ancak, dayanım tahmini için literatürde verilen eşitliklerin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Kullanılacak eşitliklerin hangi kaya türlerinden üretildiği, eşitlikte kullanılan veri aralıklarının benzerliği, değerlendirme yöntemi ve çekiç tipi, test yüzeyinin özellikleri gibi faktörler değerlendirilerek en uygun eşitlik dayanım tahmini için seçilmelidir.

**Tablo 1.** Schmidt çekici geri tepme sayısı değerlerini etkileyen parametreler (Parameters affecting the Schmidt hammer rebound number values)

Parametre	Araştırmacılar		En düşük (%)	En yüksek (%)
Çekiç tipi (L ve N)	Büyüksağış ve Gökten (2007)		10	24
	Aydın ve Basu (2005)		11	24
Su içeriği	Kahraman ve Fener (2019)		1	17
	Karakul (2017)		0.3	34
Ölçümleri değerlendirme yöntemleri	Karaman (2020)	Kesilmiş	2	3
	Bu çalışma	Doğal	6	19
	Kahraman vd. (2002)	Lab.’da	1	7
		Arazide	6	17
Pürüzlülük	Karaman (2020)	K – D	15	33
		K – T	0.4	14
Bozunma	Bu çalışma		15	54

K: Kesilmiş yüzeyde deney, D: Doğal yüzey, T: Taşlanmış yüzey

## 5. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, Schmidt çekici geri tepme sayısını etkileyen faktörler nicel olarak irdelenmiştir. Farklı çekiç tipinden elde edilen Schmidt değerleri arasındaki farklar % 24’ü, doygun ve kuru durumda elde edilen değerler arasındaki farklar ise % 34’ü bulmuştur. Farklı değerlendirme yöntemlerinden elde edilen Schmidt çekici geri tepme sayısı değerleri arasındaki fark % 19’a ve farklı yüzeylerden hesaplanan değerler arasındaki değişim ise % 33’e ulaşmıştır. Ayrıca, farklı bozunma/ayrışma derecelerinin Schmidt geri tepme sayılarını ciddi anlamda düşürdüğü görülmüştür. Çalışılan saha için taze örneklerden elde edilen değerler ile ileri derece bozunmuş yüzeylerden elde edilen değerler arasında % 54 civarında fark ortaya çıkmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sayısal değerler farklı türdeki kaya türlerini kapsamaktadır. Bu nedenle, Schmidt çekici geri tepme sayısı değerlerini etkileyen faktörlerin farklı köklerdeki kayalar için değişimlerinin çalışılması bu alana katkı sağlayacaktır.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

## Kaynaklar (References)

- ASTM., 2001. Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method. 04.09 (D 5873-00).  
 Atapour, H., Mortazavi, A., 2018. The effect of grain size and cement content on index properties of weakly solidified artificial sandstones. J. Geophys. Eng. 15, 613–619.  
 Aydın, A., 2009. ISRM Suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness: revised version. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 46,627–634.  
 Aydın, A., Basu, A., 2005. The Schmidt hammer in rock material characterization. Eng. Geol., 81,1–14.

- Aydin, A., 2014. ISRM suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness: revised version. In R. Ulusay (ed), The ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 2006–2014. Heidelberg, Springer.
- Büyüksağış, I.S., Gökten, R.M., 2007. The effect of Schmidt hammer type on uniaxial compressive strength prediction of rock, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 44:299–307.
- Gökçeoğlu, C., 1997. Killi, Yoğun Süreksizlik İçeren ve Zayıf Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflamalarında Karşılaşılan Güçlüklerin Giderilmesine Yönelik Yaklaşımlar. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hucka, V., 1965. A rapid method for determining the strength of rocks in situ. *Int J Rock Mech. Min. Sci Geomech, Abstr*, 127-134.
- ISRM., 1978. Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* 15, 89–98.
- ISRM., 1981. *ISRM Suggested Methods Rock Characterization, Testing and Monitoring*. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211 s.
- Kahraman, S., Fener, M., Günaydin, O., 2002. Predicting the Schmidt hammer values of in-situ intact rock from core sample values. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 39,395–399.
- Kahraman, S., Fener, M., 2019. Karbonatlı kayaların Schmidt çekici değerleri üzerinde su içeriğinin etkisi. 4. International Conference on Civil and Environmental Geology and Mining Engineering, 20-22 April 2019, Trabzon, pp. 151-157.
- Karakul, H., 2017. Investigation of saturation effect on the relationship between compressive strength and Schmidt hammer rebound. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 76, 1143–1152.
- Karaman, K., Kesimal, A., 2015. A comparative study of Schmidt hammer test methods for estimating the uniaxial compressive strength of rocks, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74, 507-520.
- Karaman, K., 2019. Effect of Surface Roughness, Weathering And Testing Methods On Schmidt Hardness Measurements. 4. International Conference on Civil and Environmental Geology and Mining Engineering, 20-22 April 2019, Trabzon, pp. 1262-1274.
- Karaman, K., 2020. Kaya Yüzey Pürüzlülüğünün Schmid Sertliği Ölçümlerine Etkisi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*. 59, 5–24.
- Karpuz, C., 1990. A classification System for Excavation of Surface Coal Measures. *Mining Sci. Tech.* 11,157–163.
- Kulekçi, G., Yılmaz, A.O., Çullu, M., 2021. Experimental investigation of the usability of construction waste as aggregate. *Journal of Mining and Environment* 12 (1), 63-76
- Külekcı, G., Vural, A., Aliyazıcıoğlu, A., 2022. Assessment of excavability classification in a Limestone Quarry: A case study from Bayburt, Turkey. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 14 (4), 241-251.
- McCarroll, D., 1989. Potential and limitations of the Schmidt hammer for relative-age dating: field tests on Neoglacial Moraines, Jotunheimen, Southern Norway. *Arctic and Alpine Research*, 21 (3), 268-275.
- Schmidt, E., 1951. A non-destructive concrete tester. *Concrete*, 59(8),34–35.
- Sumner, P., Nel, W., 2002. The effect of rock moisture on Schmidt hammer rebound: tests on rock samples from Marion Island and South Africa. *Earth Surf. Process Landf.* 27, 1137–1142.
- USBR., 1998. *Engineering geology field manual*. Field Index Tests. 1,111–112.
- Wilson, P., Matthews, J.A., 2016. Age assessment and implications of late Quaternary periglacial and paraglacial landforms on Muckish Mountain, northwest Ireland, based on Schmidt-hammer exposure-age dating (SHD). *Geomorphology*, 270, 134–144.
- Wilson, P., Linge, H., Matthews, J.A., 2019. Comparative numerical surface exposure-age dating (10Be and Schmidt hammer) of an early-Holocene rock avalanche at Alstadjellet, Valldalen, southern Norway. *Geogr. Ann. Ser. A Phys. Geogr.* 101, 293–309.



## SUGGESTING CONVERSION FACTOR COEFFICIENTS FOR ESTIMATING DIFFERENT TYPES OF SCHMIDT HAMMER REBOUND HARDNESS VALUES

Deniz AKBAY<sup>1\*</sup>, Gökhan EKİNCİOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart University, Çan Vocational School, Department of Mining and Mineral Extraction, Çanakkale, Turkey

<sup>2</sup> Ahi Evran University, Kaman Vocational School, Department of Mining and Mineral Extraction, Kırşehir, Turkey

### Keywords

*Schmidt Hammer Rebound Number, Conversion Factor Coefficient, Rock.*

### Abstract

Mechanical properties of rocks such as uniaxial compressive strength, tensile strength, shear strength are the properties that determine their behavior under load. These properties of rocks are often determined by difficult, complex, time-consuming and expensive test methods. Therefore, instead of determining these properties directly, these properties can be estimated indirectly by using relatively inexpensive, fast and easily applicable methods. The surface hardness parameter of Schmidt hammer rebound hardness is fast, inexpensive, and easy to apply to determine the hardness of rocks and concrete. It is also used to indirectly determine the mechanical properties of rocks. It is seen that two different types of hammers (N-type and L-type) with different impact energies are commonly used in the literature. In this study the correlations between the surface hardness of different rocks obtained using N-type and L-type Schmidt hammers were analyzed. For this purpose, data were compiled from studies in the literature, which included both N-type and L-type Schmidt hammer rebound hardness of different rock types, and the collected data were analyzed statistically. Coefficients have been proposed for the conversion of N-type and L-type Schmidt hammer rebound hardness to each other.

## KAYALARIN FARKLI TİP SCHMİDT ÇEKİCİ GERİ TEPME SERTLİK DEĞERLERİNİN TAHMİNİ İÇİN DÖNÜŞÜM KATSAYISI ÖNERİLMESİ

### Anahtar Kelimeler

*Schmidt Çekici Geri Tepme Sertliği, Dönüşüm Katsayısı, Kaya.*

### Öz

Kayaların tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, makaslama dayanımı gibi mekanik özellikleri yük altındaki davranışlarını belirleyen özelliklerdir. Kayaların bu özelliklerini çoğu zaman zor, karmaşık, zaman alıcı, pahalı deney yöntemleri ile belirlenmektedir. Bu yüzden bu özellikleri doğrudan belirlemek yerine nispeten ucuz, hızlı ve kolay uygulanabilir yöntemlerle belirlenen kaya özellikleri ile bu özellikler dolaylı olarak tahmin edilebilir. Schmidt çekici geri sıçrama sertliği de kayaların ve betonun yüzey sertliğini tespit etmek için kullanılan bir yöntemdir. Schmidt çekici testi hızlı, görece ucuz ve kolay uygulanabilir. Aynı zamanda kayaların mekanik özelliklerinin dolaylı olarak belirlenmesinde kullanılır. Yöntemin hem arazide hem laboratuvarında uygulanabiliyor olması yöntemin diğer avantajlı yönüdür. Literatürde yaygın olarak kullanılan farklı darbe enerjilerine sahip iki farklı çekiç tipinin (N-tipi ve L-tipi) kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışma kapsamında N-tipi ve L-tipi Schmidt çekici kullanılarak elde edilmiş sertlik değerlerinin birbiri ile arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bunun için literatürde farklı kaya türlerine ait hem N-tipi hem de L-tipi Schmidt çekici geri sıçrama sertliklerinin yer aldığı çalışmalardan veriler derlenmiş, derlenen veriler istatistiksel olarak incelenmiştir. N-tipi ve L-tipi Schmidt çekici geri sıçrama sertliklerinin birbirine dönüşümü için katsayılar önerilmiştir.

### Alıntı / Cite

Akbay, D., Ekincioglu, G., (2023). Suggesting Conversion Factor Coefficients for Estimating Different Types of Schmidt Hammer Rebound Hardness Values, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 719-728.

\* İlgili yazar / Corresponding author: denizakbay@comu.edu.tr, +90-286-416-7705

<b>Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)</b>	<b>Makale Süreci / Article Process</b>	
D. Akbay, 0000-0002-7794-5278	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	20.09.2022
G. Ekincioğlu, 0000-0001-9377-6817	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	10.02.2023
	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	15.03.2023
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

## SUGGESTING CONVERSION FACTOR COEFFICIENTS FOR ESTIMATING DIFFERENT TYPES OF SCHMIDT HAMMER REBOUND HARDNESS VALUES

Deniz AKBAY<sup>1†</sup>, Gökhan EKİNCİOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart University, Çan Vocational School, Department of Mining and Mineral Extraction, Çanakkale, Turkey

<sup>2</sup> Ahi Evran University, Kaman Vocational School, Department of Mining and Mineral Extraction, Kırşehir, Turkey

---

### Highlights (At least 3 and maximum 4 sentences)

---

- Conversion factors were proposed to predict rock surface hardness using the Schmidt hammer.
- A total of 195 data from literature and laboratory tests were analyzed.
- High correlations and low MAPE values were obtained between the different type of Schmidt hammers.

---

### Purpose and Scope

The aim of the research was to suggest conversion factor coefficients for estimating different types of Schmidt Hammer rebound hardness values. The importance of determining the material properties of rocks in engineering applications and the difficulties associated with traditional testing methods was discussed. It was proposed to use the Schmidt Hammer rebound hardness test as an alternative method for estimating mechanical properties of rocks. Specifically, the study analyzed the correlations between the surface hardness of different rocks obtained using N-type and L-type Schmidt hammers, and proposed conversion factor coefficients for the two types of hammers.

### Design/methodology/approach

The methodology of this study is to analyze and statistically examine the relationship between the rebound hardness values obtained using N-type and L-type Schmidt hammers for different rock types. To this end, data from studies containing rebound hardness values for different rock types both in N-type and L-type Schmidt hammers have been collected and analyzed statistically. Coefficients have been suggested for the conversion between N-type and L-type Schmidt hammer rebound hardness values.

### Findings

It was determined that the SH values were approximately close to each other, and the SH values for the two hammer types were relatively high in Metamorphic rocks, followed by Igneous and Sedimentary rocks, respectively. Within the scope of this study, measurements were made with N-type and L-type Schmidt hammers on rocks of igneous, metamorphic, and sedimentary origin. By examining the relationships between the measured hardness values, conversion factor coefficients that can be used to predict the surface hardness measured by using different types of Schmidt hammers are proposed.

### Originality

The originality of this study is proposing conversion factor coefficients for estimating different types of Schmidt hammer rebound hardness values. The study analyzes the correlations between the surface hardness of different rocks obtained using N-type and L-type Schmidt hammers and proposes coefficients for the conversion of N-type and L-type Schmidt hammer rebound hardness to each other. This is important because different types of hammers were used in previous studies, resulting in very different empirical equations. The proposed conversion factor coefficients can be used to predict the surface hardness measured by using different types of Schmidt hammers more accurately.

---

<sup>†</sup> Corresponding author: denizakbay@comu.edu.tr, +90-286-416-7705



## 1. Introduction

Determining the material properties of the rock in engineering applications that are intertwined with the rock is very important for the feasibility and sustainability of the project. Strength values such as uniaxial compressive strength (UCS), tensile strength (TS), shear strength etc. of rocks are important design parameters taken into account by the project engineers in the construction of the structure and ensuring its stability. These values are obtained as a result of the sizing of the field samples brought to the laboratory according to the dimensions specified in the relevant test standards, and then the tests performed on these samples. These test methods can be expressed as time-consuming and costly methods, or in some cases, samples may not be prepared in the sizes recommended in the standards. For example, it is difficult to get cores or prepare test specimens of required dimensions from weak, weathered and thinly bedded rocks (Palchik, 2007; Mishra and Basu, 2013; Wang and Aladejare, 2015; Wang et al., 2016; Aladejare, 2020). In such cases, index properties of rocks can be determined with index methods that are easy to apply, give fast results, do not require sample preparation, or can be applied to small samples and by means of empirical equations, mechanical properties such as uniaxial compressive strength and tensile strength needed in the design can be estimated using index properties. In the literature, there are many empirical equations developed especially for the indirect estimation of UCS. In these studies, the relationships between UCS and index and physical properties such as point load index (PLI), Schmidt hammer rebound number (SH), porosity and density were investigated.

Among these test methods, the most preferred and most accurate methods are PLI and SH tests. The common feature of the test instruments used in the two methods, which can be applied both in the field and in the laboratory, is that they are relatively light and portable. Since the test sample standards and tests required for these instruments are practical, they are also frequently used in field studies (Mesutoğlu and Özkan, 2019). However, in a study, 154 scientific studies containing PLI data were examined in detail, and it was seen that only four of these studies included the data of PLI tests applied in the field. In other words, only 2.5% of the studies on PLI testing were conducted in the field (Akabay and Altındağ, 2020). The reason for this is thought to be due to restrictive factors such as the need for a flat place to position the PLI test instrument in the field, and the recommendation of aspect-length-thickness ratios in the test standard even when using irregular/shapeless samples. Such situations have limited the use of the PLI test in the field. On the other hand, Schmidt hammer has a design that eliminates these disadvantages. In this way, it is widely used in field applications.

In the literature, there are many empirical equations developed for the indirect estimation of UCS with SH (Yılmaz and Sendir, 2002; Buyuksagis and Goktan, 2007; Çobanoğlu and Çelik, 2008; Karaman et al., 2011; Bruno et al., 2013; Minaeian and Ahangari, 2013; Karaman et al., 2015; Tandon and Gupta, 2015; Jamshidi et al., 2016; Demirdag et al., 2018; Kong and Shang, 2018; Çelik and Çobanoğlu, 2019; Mesutoğlu and Özkan, 2019; Wang and Wan, 2019; Özkan and Kaya, 2020). However, since different types of hammers were used in these studies, very different empirical equations were derived. Within the scope of this study, measurements were made with N-type and L-type Schmidt hammers on rocks of igneous, metamorphic, and sedimentary origin. By examining the relationships between the measured hardness values, conversion factor coefficients that can be used to predict the surface hardness measured by using different types of Schmidt hammers are proposed. It is thought that it will be more accurate to evaluate the equations obtained when corrections are made with the conversion factor coefficients obtained from this study.

## 2. Schmidt Hammer Rebound Number

The Schmidt hammer, which is the subject of this study, is a surface hardness measuring instrument used by all disciplines dealing with rock and concrete. The Schmidt hammer was designed as an index testing device for in-situ nondestructive testing of concrete in the late 1940s (Aydın and Basu, 2005). SH has been widely used in rock mechanics applications since the early 1960s to estimate the UCS, mostly as an indicator of the surface hardness of rocks (Goktan and Ayday, 1993). pending on where the material under test is, Schmidt hammer test method can be conducted either in the field or in the lab.

The Schmidt hammer consists of a compressed spring and a piston. When the hammer is pressed against the surface of a test material, the spring is released and, together with the piston, strikes the surface of the test material. Depending on the surface hardness of the test material, the piston rebounds. The distance traveled by the piston is read from the indicator on the Schmidt hammer and is defined as the SH (Figure 1).

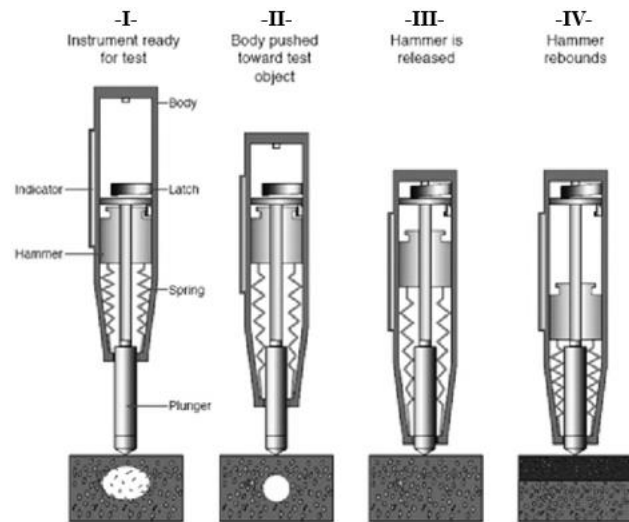


Figure 1. Working principle of a Schmidt hammer (Jedidi, 2020)

In the method proposed by ISRM (2007) for measurement, measurements are made from 20 different points with a distance of at least a piston diameter from the material to be determined, and the arithmetic average of the remaining 10 measurements is taken by discarding the lowest 10 of these 20 measurements. In the method revised by Aydin (2009), the steps suggested by ISRM (2007) are followed. At the same time, the test can be terminated when the difference between the lowest and the highest value is four ( $\pm 2$  SH) in any ten consecutive measurements. With the help of a chart developed by Deere and Miller (1966), the UCS of the material can be determined indirectly by using the SH and the unit weight value of the rock. (Figure 2).

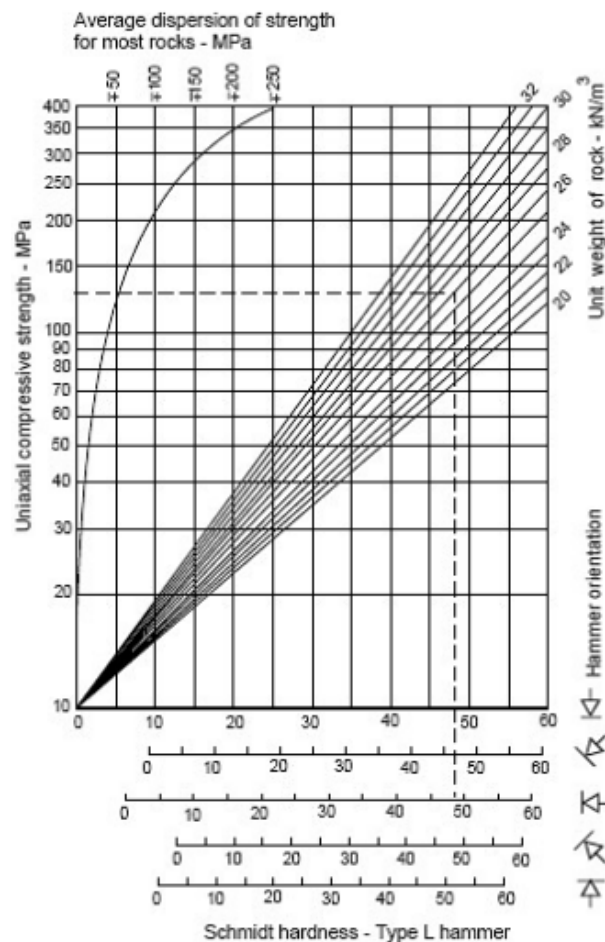


Figure 2. Conversion chart for Schmidt (L) hammer (Deere and Miller, 1966)

There are various Schmidt hammer models developed for different impact energies. Commonly used types are L and N type Schmidt hammers. The N-type Schmidt hammer has an impact energy of 0.735 Nm, and the L-type

Schmidt hammer has an impact energy of 2.207 Nm. Although the L type hammer is generally used for testing relatively soft rocks, the strength range of the rocks to be used is researched and discussed (Buyuksagis and Goktan, 2007; Aydın and Basu, 2005). The International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM) and the American Society for Testing and Materials (ASTM) have proposed standards for the test method and use of the test device. According to ISRM (1978), the N-type hammer should be used to characterize the hardness of rocks with UCS values between 20 and 150 MPa. The N-type hammer seems appropriate for rocks in this strength range because the L-type Schmidt hammer has not been approved by ISRM for use in rock characterization (Buyuksagis and Goktan, 2007). It was stated in the previous section that there are many studies in the literature examining the correlations between the SH determined with an N-type or L-type Schmidt hammer and UCS. However, there are few studies examining the relationships and differences between the SH determined using different types of Schmidt hammers. Ayday and Goktan (1992), Asteris et al. (2021) directly examined the relationships between N-type and L-type Schmidt hammers in their research. They found strong correlations between the SH obtained by using N-type and L-type Schmidt hammers. On the other hand, Buyuksagis and Goktan (2007) examined the effect of Schmidt hammer type on the uniaxial compressive strength estimation of rocks and determined strong relationships between both N-type and L-type Schmidt hammer and UCS. They also underlined that the correlation coefficient of the correlation between the SH obtained by using L-type Schmidt hammer and UCS is relatively higher than the correlation coefficient of the relationship between the SH obtained using the N-type Schmidt hammer and UCS.

### 3. Material and Method

Within the scope of this study, SH tests were applied on seven different rock types using N-type and L-type Schmidt hammers (Figure 3). SH tests of the rocks were carried out on cube samples of 70×70×70 mm in size according to ISRM (2007) and the results were presented in Table 1. Data compiled from studies in the literature that included N-type and L-type SH values and the data obtained from this study were evaluated together (Table 2).

**Table 1.** The SHL and SHN values of rocks

Rock Origin	Rock Type	SHL	SHN	Impact direction
Igneous	Granite	46	54	↓
Igneous	Granite	49	54	↓
Igneous	Granite	54	60	↓
Metamorphic	Marble	48	55	↓
Sedimentary	Limestone	43	45	↓
Sedimentary	Limestone	45	52	↓
Sedimentary	Limestone	48	52	↓

SHL: L-type Schmidt hammer rebound number  
SHN: N-type Schmidt hammer rebound number



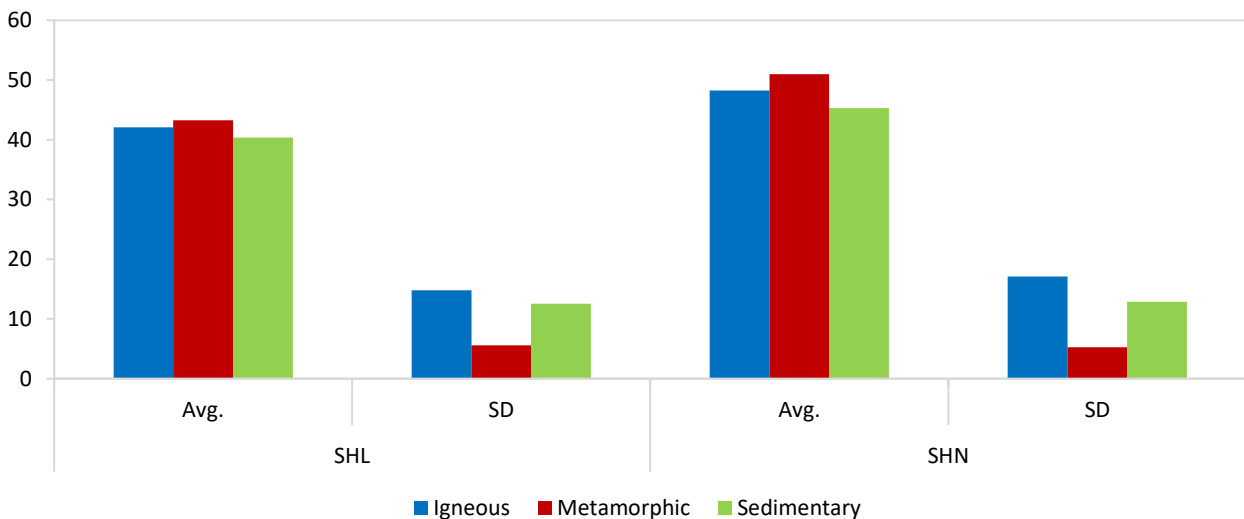
**Figure 3.** N-type and L-type Schmidt hammers

**Table 2.** Studies in which the data used in the study were compiled

References	Rock origins	Number of data
Aydin and Basu (2005)	Igneous	40
Güney et al. (2005)	Metamorphic	1
	Sedimentary	6
Buyuksagis and Goktan (2007)	Igneous	6
	Metamorphic	8
	Sedimentary	13
Ekincioglu (2008)	Igneous	1
	Sedimentary	6
Kayabali and Selcuk (2009)	Igneous	41
	Metamorphic	2
	Sedimentary	22
Şengün (2009)	Igneous	3
	Metamorphic	3
	Sedimentary	9
Capik and Yılmaz (2017)	Igneous	13
	Sedimentary	14
This study	Igneous	3
	Metamorphic	1
	Sedimentary	3

#### 4. Results

Within the scope of the study, a total of 195 data were analyzed for both test methods. These data are not the raw reading values, but the arithmetic mean values in the results section of the studies. The SH values obtained as a result of the tests performed are given in Figure 4. It was determined that the SH values were approximately close to each other, and the SH values for the two hammer types were relatively high in Metamorphic rocks, followed by Igneous and Sedimentary rocks, respectively (Figure 5). Among the evaluated Igneous rocks, it is seen that the rocks with low hardness value such as tuff decrease the average surface hardness value. At the same time, such Igneous rocks caused the standard deviation value to be large. Standard deviation values were calculated as the lowest for Metamorphic rocks with a homogeneous structure and high hardness value. It is seen that SHN values are higher than SHL values. It is possible to say that the SHN values are higher due to the impact energy transmitted by the L-type Schmidt hammer, which has a higher impact energy than the N-type Schmidt hammer, to the rock surface during the measurement, increasing the distance traveled by the piston.

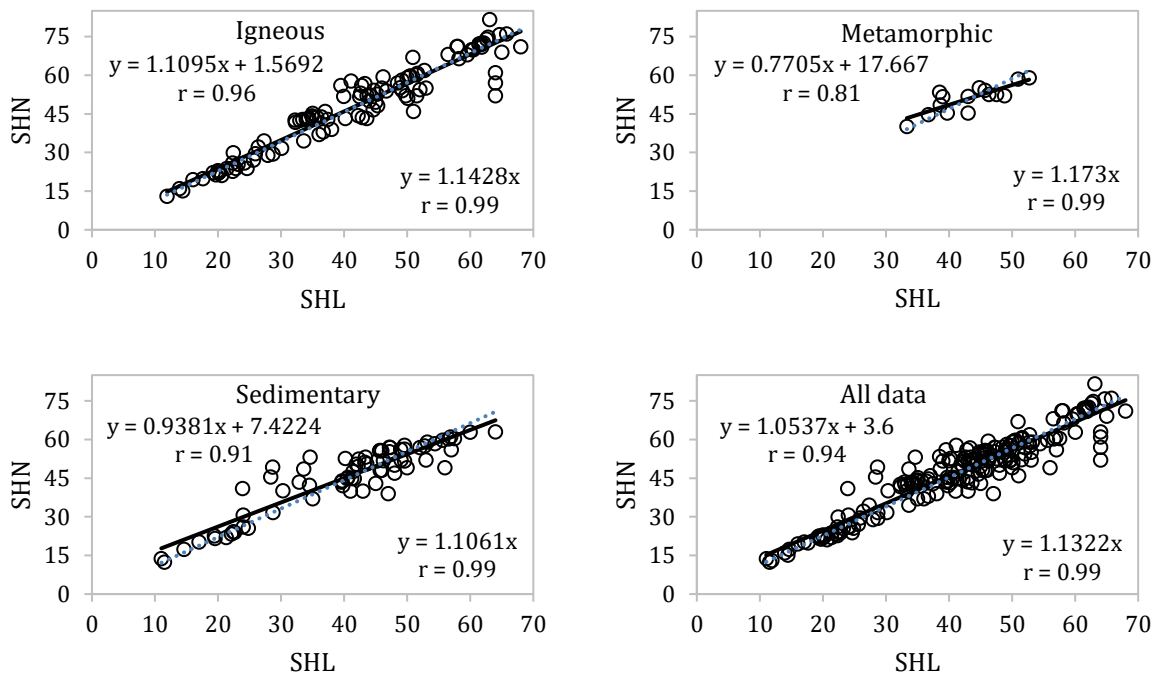
**Figure 4.** N-type and L-type SH of rocks

In this study, the relationships between the SH values of the rocks obtained by using different hammer types were investigated. A statistical study was carried out and estimation models were created with simple regression analysis, and the conversion factor coefficients ( $K$ ) were determined by the graphical method (Figure 5). Data from

Aydin and Basu (2005), Buyuksagis and Goktan (2007), Ekincioğlu (2008), Kayabali and Selcuk (2009), Şengün (2009), Capik and Yılmaz (2017) and, this study were used for igneous rocks, data from Güney et al. (2005), Buyuksagis and Goktan (2007), Kayabali and Selcuk (2009), Şengün (2009) and, this study were for metamorphic rocks, and data from Güney et al. (2005), Buyuksagis and Goktan (2007), Ekincioğlu (2008), Kayabali and Selcuk (2009), Şengün (2009), Capik and Yılmaz (2017), and this study for sedimentary rocks. For Igneous rocks the data were used In order to make the results more meaningful and to make easy the evaluation, the rocks were analyzed by grouping them according to their geological origins. When the correlations between the SHL and SHN of the rocks are examined, it is seen that the values obtained are close to each other and vary between 0.81 and 0.96 (Figure 5). It was observed that the highest correlation was 0.96 in Igneous rocks, and the lowest correlation was 0.81 in Metamorphic rocks. It is thought that the reason for the relatively low correlation value in metamorphic rocks is due to the low number of data. The correlation coefficients of the conversion factor coefficients (*K*) calculated for each rock type were determined as 0.99 (Figure 5).

Within the scope of this study, it was determined that SHN and SHL could be used reliably to predict each other, with high correlations obtained similar to the results of Ayday and Goktan (1992)'s study.

It is clearly seen that the correlation coefficients of the determined conversion factor coefficients are higher than the correlation coefficients of the prediction models created by simple regression analysis (Figure 5). The mean absolute percentage errors (MAPE) were calculated to measure the accuracy of the estimations by the estimation models and conversion factor coefficients to convert/predict the SH of the rocks using different types of hammers (Table 3). It is seen that the MAPEs calculated for each rock type are lower for the values estimated by the conversion factor coefficients (Table 3). The conversion factor coefficients determined in the conversion of hardness values to each other provide more reliable results than the prediction models created.



**Figure 5.** Relationships between SH of rocks obtained by using N-type hammer and L-type hammer

**Table 3.** Estimation models and conversion factor coefficients (*K*) for the SH conversion

	Estimation model	MAPE	Conversion factor coefficients ( <i>K</i> )	MAPE
Igneous rocks	$y = 1.1095x + 1.5692$	8.55	$y = 1.1428x$	8.21
Metamorphic rocks	$y = 0.7705x + 17.667$	16.32	$y = 1.173x$	8.66
Sedimentary rocks	$y = 0.9381x + 7.4224$	10.7	$y = 1.1061x$	8.35
All data	$y = 1.0537x + 3.6$	9.24	$y = 1.1322x$	8.20

## 5. Conclusions and Discussions

SH is one of the widely used inexpensive, portable, and non-destructive hardness methods for determining the surface hardness of rocks. Although there are hammer types with different impact energies, the most common types of hammers for measuring the surface hardness of rocks are N-type and L-type Schmidt hammers. In this study, measurements were made with N-type and L-type Schmidt hammers on different rock types. At the same time, a data set was created by compiling data from studies in the literature that included SH values obtained using both hammer types, and statistical analyzes were made. In the light of the results obtained, it has been seen that both hammer types can be used to measure the surface hardness of rocks. SHN were determined higher due to the higher impact energy of the L-type Schmidt hammer than the N-type Schmidt hammer. When necessary, it is thought that the hardness values measured with different types of hammers can be converted to each other with high reliability by using the conversion factor coefficients ( $K$ ) suggested in this study.

It is obvious that SH is an important rock property for determining the surface hardness of rocks and that the SH test method will continue to be used as an important index test method due to its idiosyncratic characteristics. Although data obtained from many rock types were used in this study, it is thought that the data on metamorphic rocks should be increased in order to make healthier interpretations and obtain results.

## Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

## References

- Akbay, D., Altındağ, R., 2020. Reliability and evaluation of point load index values obtained from different testing devices. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 120, 181–90.
- Aladejare, A.E., 2020. Evaluation of empirical estimation of uniaxial compressive strength of rock using measurements from index and physical tests. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 12, 256–68.
- Asteris, P.G., Mamou, A., Hajihassani, M., Hasanipanah, M., Koopialipour, M., Le, T.T., Kardanig, N., Armaghani, D.J., 2021. Soft computing based closed form equations correlating L and L-type Schmidt hammer rebound numbers of rocks. *Transportation Geotechnics*, 29, 100588.
- Ayday, C., Goktan, R.M., 1992. Correlations between L and L-type Schmidt hammer rebound values obtained during field testing. *ISRM Symposium: Eurock'92 - Rock Characterization*, 14-17 September 1992, Chester, U.K., J.A.Hudson (ed.), British Geotechnical Society, London, 47-50.
- Aydin, A., Basu, A., 2005. The Schmidt hammer in rock material characterization. *Engineering Geology*, 81, 1–14.
- Aydin, A., 2009. ISRM Suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness: Revised version\*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46, 627–34.
- Bruno, G., Vessia, G., Bobbo, L., 2013. Statistical method for assessing the uniaxial compressive strength of carbonate rock by schmidt hammer tests performed on core samples. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46, 199–206.
- Buyuksagis, I.S., Goktan, R.M., 2007. The effect of Schmidt hammer type on uniaxial compressive strength prediction of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 44, 299–307.
- Capik, M., Yilmaz, A.O., 2017. Modeling of Micro Deval abrasion loss based on some rock properties. *Journal of African Earth Sciences*, 134, 549–556.
- Çelik, S.B., Çobanoğlu, İ., 2019. Comparative investigation of Shore, Schmidt, and Leeb hardness tests in the characterization of rock materials. *Environmental Earth Sciences*, 9, 78.
- Çobanoğlu, İ., Çelik, S.B., 2008. Estimation of uniaxial compressive strength from point load strength, Schmidt hardness and P-wave velocity. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 491–498.
- Deere, D.U., Miller, R.P., 1966. Engineering classifications and index properties of intact rock. Technical Report No. AFNL-TR-65-116, Air Force Weapon Laboratory, New Mexico.
- Demirdag, S., Sengun, N., Ugur, I., Altindag, R., 2018. Estimating the uniaxial compressive strength of rocks with Schmidt rebound hardness by considering the sample size. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 502.
- Ekincioglu, G., 2008. Çeşitli Kireçtaşlarının Delinebilirlik İndeks Özellikleri ve Kayaç Kesilebilirliği Arasındaki İlişkilerin Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 94 s.
- Goktan, R.M., Ayday, C., 1993. A Suggested Improvement to the Schmidt Rebound Hardness ISRM Suggested Method with Particular Reference to Rock Machineability. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 30, 321–322.
- Güney, A., Altındağ, R., Yavuz, H., Saraç, S., 2005. Evaluation of the Relationships between Schmidt Hardness Rebound Number and Other (Engineering) Properties of Rocks. The 19th International Mining Congress and Fair of Turkey, IMCET 2005, İzmir, 83–89.
- ISRM, 1978. International society for rock mechanics commission on standardization of laboratory and field tests: Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 15, 319–368.
- ISRM, 2007. The complete suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006, Springer, London, 293 pp.

- Jamshidi, A., Nikudel, M.R., Khomehchiyan, M., Zarei Sahamieh, R., Abdi, Y., 2016. A correlation between P-wave velocity and Schmidt hardness with mechanical properties of travertine building stones. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 568.
- Jedidi, M., 2020. Evaluation of the Quality of Concrete Structures by the Rebound Hammer Method. *Current Trends in Civil and Structural Engineering*, 5, 1-7.
- Karaman, K., Erçikdi, B., Cihangir, F., Kesimal, A., 2011. Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Schmidt Çekici Yöntemlerinin İncelenmesi. *Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, 11-13 Mayıs 2011, Ankara, 2011, 87-94.
- Karaman, K., Kesimal, A., Ersoy, H., 2015. A comparative assessment of indirect methods for estimating the uniaxial compressive and tensile strength of rocks. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 2393-2403.
- Kayabali, K., Selcuk, L., 2009. Nail penetration test for determining the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47, 265-271.
- Kong, F., Shang, J., 2018. A Validation Study for the Estimation of Uniaxial Compressive Strength Based on Index Tests. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 51, 2289-2297.
- Mesutoğlu, M., Özkan, İ., 2019. Büyük ölçekli kömür arınında gerçekleştirilen Schmidt sertlik indeksi ve nokta yükleme dayanımı deney sonuçlarının değerlendirilmesi. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 7, 681-95.
- Minaeian, B., Ahangari, K., 2013. Estimation of uniaxial compressive strength based on P-wave and Schmidt hammer rebound using statistical method. *Arabian Journal of Geosciences*, 6, 1925-1931.
- Mishra, D.A., Basu, A., 2013. Estimation of uniaxial compressive strength of rock materials by index tests using regression analysis and fuzzy inference system. *Engineering Geology*, 160, 54-68.
- Özkan, İ., Kaya, M., 2020. Zayıf kaya malzemelerinin yerinde dayanımının belirlenmesinde indeks deneylerin kullanımı ile ilgili bir yaklaşım. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 8, 135-50.
- Palchik, V., 2007. Use of stress-strain model based on Haldane's distribution function for prediction of elastic modulus. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 44, 514-24.
- Şengün, N., 2009. Kayaçların Kırılma Tokluğu ve Gevrekliğinin Dairesel Testereler İle Kesme Verimi Üzerine Etkileri. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 182 s.
- Tandon, R.S., Gupta, V., 2015. Estimation of strength characteristics of different Himalayan rocks from Schmidt hammer rebound, point load index, and compressional wave velocity. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74, 521-533.
- Wang, M., Wan, W., 2019. A new empirical formula for evaluating uniaxial compressive strength using the Schmidt hammer test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 123, 104094.
- Wang, Y., Aladejare, A.E., 2015. Selection of site-specific regression model for characterization of uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 75, 73-81.
- Wang, Y., Aladejare, A.E., 2016. Bayesian characterization of correlation between uniaxial compressive strength and Young's modulus of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 85, 10-9.
- Yılmaz, I., Sendir, H., 2002. Correlation of Schmidt hardness with unconfined compressive strength and Young's modulus in gypsum from Sivas (Turkey). *Engineering Geology*, 66, 211-219.



## NUMERICAL SIMULATION OF STRESS CONCENTRATIONS ON PILLARS IN A TYPICAL LONGWALL MINE

Ahmet Güneş YARDIMCI<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Middle East Technical University, Engineering Faculty, Department of Mining Engineering, Ankara, Türkiye

### Keywords

*Underground Coal Mining,  
Longwall Mining,  
Distinct Element Method,  
Stress Analysis.*

### Abstract

Coal is still the major resource to meet the expanding energy demand and widely used in coal-fired thermal power plants taking the advantage of rich reserves and cost-effective production. Longwall mining is a method that is widely used in Türkiye, in line with the trend in the world, that enables the economical and sustainable production of underground coal resources with mechanized equipment. Estimation of stress distribution and concentration zones in the excavation face and roof is critically important in terms of determining the appropriate hydraulic support properties in production by longwall mining. Advancing the wide excavation face along the mining direction causes in-situ stress distribution in the rock mass to change and the stresses associated with the excavation to intensify. This may trigger potential instability events. This study investigates the relationship of stresses developed on pillars due to longwall production with pillar dimensions and field loadings in a typical underground coal mine using numerical simulations. Parametric analysis was performed on three-dimensional models using Distinct Element Method. The simulation outputs characterize the performance of alternative pillar designs under different field loading conditions, in terms of stress distribution and concentration zones that will develop due to production.

## TİPİK BİR UZUNAYAK MADENİNDE TOPUK GERİLMELERİNİN SAYISAL SİMÜLASYONU

### Anahtar Kelimeler

*Yeraltı Kömür Madenciliği,  
Uzunayak Madenciliği,  
Ayrık Eleman Yöntemi,  
Gerilim Çözümlemesi.*

### Öz

Kömür, zengin kaynaklar ve maliyet etkin üretim avantajları sunması nedeniyle günümüzde halen en sık kullanılan ve genişleyen enerji talebini karşılamak üzere termik santrallerde değerlendirilen bir yakıttır. Uzunayak madenciliği, yeraltı kömür kaynaklarının mekanize ekipmanla ekonomik ve sürdürülebilir üretimini mümkün kılan, dünyadaki eğilim ile örtüşür şekilde ülkemizde de yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Uzunayak üretiminde kazı arını ve tavanda gelişen gerilim dağılımı ve yoğunlaşma bölgelerinin kestirimi uygun hidrolik tahkimat özelliklerinin belirlenmesi açısından kritik seviyede önemlidir. Geniş kazı aynasının ayak boyunca ilerletilmesi, kaya kütlelerinde doğal gerilim akışının değişmesine ve kazıya bağlı gerilimlerin yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Bu durum potansiyel duraysızlık olaylarını tetikleyebilecek niteliktedir. Bu çalışma, tipik bir yeraltı kömür işletmesinde uzunayak üretimine bağlı olarak topuklar üzerinde gelişen gerilimlerin topuk boyutları ve arazi yüklemeleri ile ilişkisini sayısal simülasyonlar ile incelemektedir. Üç boyutlu modeller üzerinde ayrık eleman yöntemi ile parametrik analiz yapılmıştır. Simülasyon çıktıları, alternatif topuk tasarımlarının farklı saha yükleme koşulları altında performansını üretime bağlı gelişecek gerilim dağılımı ve yoğunlaşma bölgeleri türünden karakterize etmektedir.

### Alıntı / Cite

Yardımcı, A.G., (2023). Numerical Simulation of Stress Concentrations on Pillars in a Typical Longwall Mine, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(2), 729-742.

\* İlgili yazar / Corresponding author: ygunes@metu.edu.tr, +90-312-210-2676



<b>Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)</b>	<b>Makale Süreci / Article Process</b>	
A.G. Yardımcı, 0000-0002-3508-7033	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	25.09.2022
	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	07.02.2023
	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	15.03.2023
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

# NUMERICAL SIMULATION OF STRESS CONCENTRATIONS ON PILLARS IN A TYPICAL LONGWALL MINE

Ahmet Güneş YARDIMCI<sup>†</sup>

Middle East Technical University, Engineering Faculty, Department of Mining Engineering, Ankara, Türkiye

---

## Highlights

---

- Geomechanical simulations are useful for parametric study of various operational practices
  - The Distinct Element Method (DEM) conforms the discontinuous nature of coal beds
  - The field stress ratio controls the stress concentration on pillars and abutment pressures
  - The pillar instability and violent failure potentials were investigated by stress analyses
- 

## Purpose and Scope

The paper aims to investigate the stresses concentration within the coal pillars regarding various production sequences in a typical longwall operation.

## Design/methodology/approach

The stress and deformation analyses on coal pillars were carried out by three-dimensional numerical modeling when multiple panels are produced in a typical longwall mine. The effects of the pillar shape and field stress ratio were investigated by parametric studies. Due to the bedded stratification of the coal basin, a discontinuous modeling approach was embraced.

## Findings

Production of multiple longwall panels in a large coal seam can result in stress concentration on the pillars nearly four times the before production state. The most critical pillars are the ones where the longwall retreat begins. Excessive loads have potential to cause dynamic failure in pillars. The rectangular pillars are more effective in reducing the stress despite the loss of coal. The stress distribution on the pillar cross-section increases outward from the center and may cause pillar bursts in brittle rocks such as hard coal. The material model is critical to effectively simulate the abutment pressures.

## Research limitations/implications

Despite the discontinuous nature of the distinct element method provides better mechanical simulations for longwall mining, the complex structural network dramatically increases the computational costs. GPU accelerated numerical codes may provide computational advantages.

## Practical implications

The practical implication of this study is its potential to grow a concern about the field stress ratio and its mechanical effects on longwall mining.

## Originality

The paper is significant in terms of investigating various geomechanical properties (like field loading conditions), mine design parameters (like pillar geometries) and numerical variables (like the material model) in an iterative manner. The stress concentrations were examined during the different production stages. In this aspect, the study may provide a basis to establish the operational safety while the production still goes on.

---

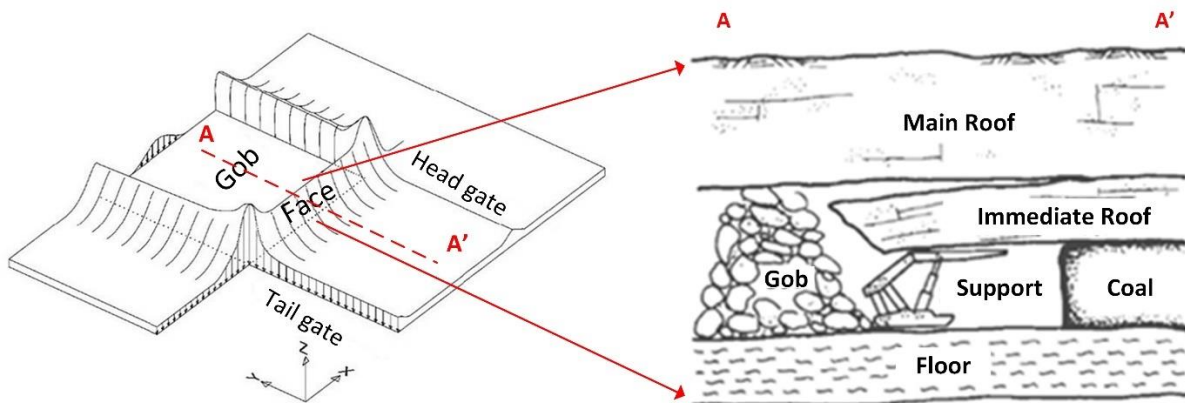
---

<sup>†</sup> Corresponding author: ygunes@metu.edu.tr, +90-312-210-2676

## 1. Introduction

Global trend towards alternative sources to sustain gradual shift to zero emission industry until 2030 and 2050 have not yet replaced the fossil fuels as today still 35% of energy production is based on coal (IEA, 2022). Although coal use was decreasing until 2020 with the determined actions and policies of governments to gradually close inefficient power plants and support companies to invest in alternative sources, a strong return trend has been experienced as of 2021 due to the increase in natural gas prices triggered by global political instabilities. It can be predicted that coal resources are indispensable or irreplaceable in the near term, especially when considering the energy need due to industrialization and population growth in developing countries.

Recovery and efficiency are the key parameters for sustainable management of coal resources in Türkiye as the exploitable reserves and calorific value are very limited and shares only 1.1% of the total reserves in the world (BP, 2022). The longwall method, which was developed in England at the beginning of the 17th century, is widely used in underground coal mining with the integration of advanced production technologies, as well as in Türkiye, as it is all over the world, with its high efficiency, fast production and cost advantages compared to alternatives. The method poses a mine layout with rectangular production panels by dividing the horizontal or shallowly dipping coal seam with two parallel excavations, called the 'headgate' and the 'tailgate'. Exploitation goes on from the coal face perpendicular to the roads and executed by means of mechanical extraction. A typical longwall panel as presented in Figure 1 from the cross-section view involves a set of 'self-advancing hydraulic supports' that resist the roof pressure, a 'shearer' for production, and an 'armored face conveyor' for transporting the coal parallel to the excavation face. In practice the height of the hydraulic support can reach up to 6 m, which allows to excavate the entire span from thin seams. However, thick seam excavation is a geomechanical challenge as it leaves a large space that is prone to instability. Top coal caving method provides a safe and cheap alternative for production from thick coal seams. In this case, the coal recovered from roof caving is transported by the rear conveyor system installed behind the hydraulic support.



**Figure 1.** Stress distribution and cross-section view of a typical longwall panel (Sasaoka, et al., 2020; Barczak, 1992)

Along with the advantages that longwall mining provides in terms of production speed and amount, there is a potential for problems such as overpressure on hydraulic supports, uncaved roof strata behind the shields and subsidence on the topographical surface. A common practice to operate safely from panels is leaving a body of in-situ coal strata called 'pillar' to resist the roof pressure. Although the seam recovery reduces, coal pillars are inevitable to maintain panel stability during production.

Prior to production the coal seam is under the influence of vertical loadings originating from the overburden and horizontal field loads. According to the numerical simulation studies of various researchers, the stresses were observed to concentrate around the roadways and behind the excavation face, as seen in Figure 1.

Roadway and coal face instabilities are frequent events that result in fatalities and loss of production. Studies have shown that the geological structure, production plan and excavation can manipulate the virgin field stress distribution around these regions (Gao et al. 2017). There are several empirical (Yavuz, 2002) and analytical (Wagner, 1980) methods for pillar design. All of them rely on some assumptions that are valid under specific conditions and may need to be revised due to changing operating conditions, geological structure and geomechanical characteristics. In geomechanics, numerical modeling provides flexibility and reliability by easily adapting to different conditions to explore the complete mechanism. Specifically in longwall mining, it allows to carry out parametric studies of pillar stability for different dimensions, production patterns and field conditions.

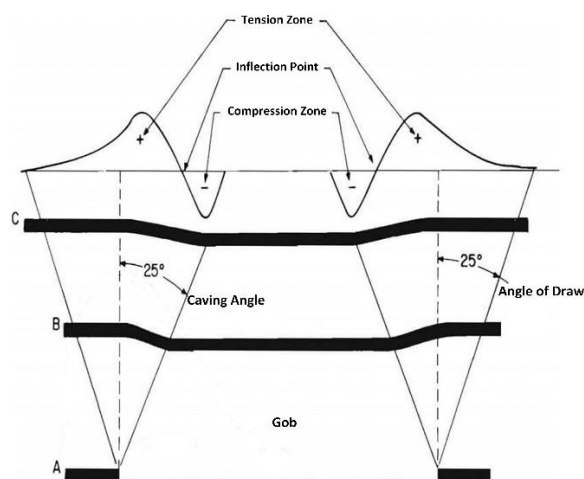
This study investigates the stresses concentrating within coal pillars due to production in a typical longwall operation. Parametric analyses were performed on numerical simulations to reveal the effect of pillar dimensions, shape and field stress with the stress concentration on pillar. Distinct element method was used in three-dimensional numerical models to implement the strata as it is capable of considering the structural discontinuities and bedding planes. Certain production stages were simulated and maximum principal stresses on pillars were followed to observe the performance of different pillar designs operating under various field stress conditions. Development of induced stresses on pillars related with the advance of coal face was examined.

## 2. Instability Problems in Longwall Mining

Related to the excavation geometry, instability problems may occur due to stress concentration along the coal pillars, at the back of the coal face and along the roadways. Stress concentrations controlled by seam depth, field stresses, rock mass elastic properties and stress-strain characteristics may cause plastic deformations (crack formation and propagation) followed by failure, as well as a more destructive and dynamic type of failure called rock burst under extreme magnitudes (Crouch, 1973). Rock burst, which is a common problem of deep underground metallic mines, has recently been a challenge of hard coal enterprises following the commissioning of deep seams due to depleting majority of shallow coal resources. In coal strata, this violent instability problem is specifically called 'coal burst'. Although it can be seen on the headgate and tailgate, pillars and immediate roof, the most common type develops at the coal face. In order to predict coal burst events, micro-gravity method, micro-seismic method and support monitoring technique are used. Destressing can be considered as a measure to control this violent instability event. It is most widely implemented in terms of destress blasting. It works on the basis of creating crack networks by blasting in the region where stress concentrates. Another method is to induce crack formation by drilling empty holes in stress concentration zones. It has been observed that this method is time consuming and unreliable. Finally, dynamic failure potential can be mitigated by increasing the saturation.

Sudden collapse of the immediate roof where caving is expected but could not be achieved due to stiff strata is another emerging instability problem. In this case, the roof strata will behave as a beam and exert excessive load on hydraulic support.

The large volume of excavation in a coal seam leads to deformations in the roof stratum. Advancing the excavation face, significant deformations, called as subsidence, can be observed on the ground surface. Subsidence is an inevitable event, which may cause critical damage on constructions. Intensity of the subsidence depends on the time, the depth of the production opening, the seam thickness and the strength of the overburden. Another risk posed by surface subsidence is its capability to control the groundwater flow. The cross-section view in Figure 2 illustrates a typical subsidence event due to excavation of a horizontal seam.



**Figure 2.** Illustration of a surface subsidence event from the cross-section view (Haycocks et al., 1982)

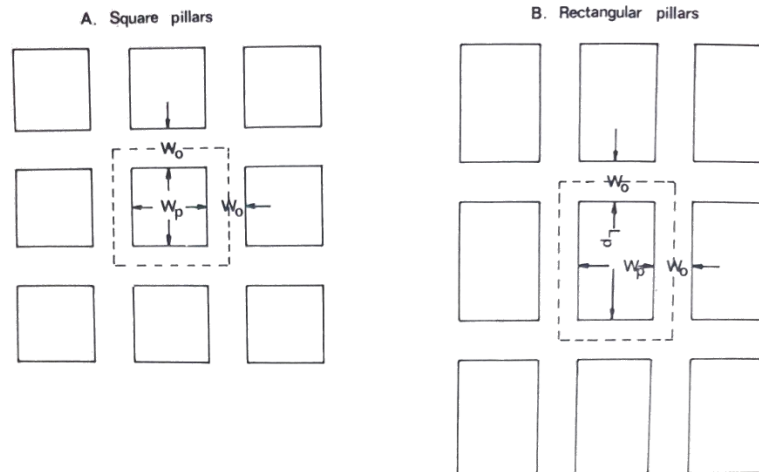
Rib pillars can provide a better safety along the roadways during exploitation. Since the coal left in the pillar body causes loss of production, chain pillars composed of multiple square or rectangular bodies are considered to be more advantageous in terms of the recovery. Barrier pillar is another support element between panels and it has a wider span.

Panel and pillar dimensions can be determined based on empirical approaches (Mark and Gauna 2021), while numerical models propose improved reliability by stress and strain analyzes. Mechanical simulations based on

continuous and discontinuous techniques are widely used in strata control, pillar design, roadway stability and support design. There are many studies investigating roadway stability (Sasaoka et al. 2020), pillar stability (Singh et al. nd) and caveability (Singh and Singh 2020) with two or three-dimensional numerical models.

### 3. Pillar Design

A pillar is an unmined portion of the orebody and most frequently used to support not only the overlying strata but also a portion of the neighboring areas on the roof. The span of this tributary area is considered to be half of the opening width. For square and rectangular pillars, the concept is illustrated in Figure 3.



**Figure 3.** Tributary area loading concept for square and rectangular pillars (Peng, 1978)

Under these circumstances, the average stress on square (1 and 2) and rectangular (3 and 4) pillars are calculated from:

$$\frac{P}{W^2} = \frac{(W_o + W_p)^2 \rho g h}{W_p^2} \quad (1)$$

$$\sigma_a = (1 + W_o/W_p)^2 \sigma_v \quad (2)$$

$$\frac{P}{L_p W_p} = \frac{(L_p + W_o)(W_o + W_p) \rho g h}{L_p W_p} \quad (3)$$

$$\sigma_a = (1 + W_o/L_p)(1 + W_o/W_p) \sigma_v \quad (4)$$

Where  $\sigma_a$  is the average pillar stress;  $P$  is the total load on the pillar;  $L_p$ ,  $W_p$  and  $W_o$  are the widths of pillars and rooms or entries and  $\sigma_v$  is the vertical stress.

Although the first scientific approach to pillar design was based on experiments carried out by Bunting on cube samples of different sizes in the early 20th century, many researchers subsequently proposed equations to predict pillar loading based on laboratory experiments and field-scale studies (Jawed et al., 2013). The tributary area theory, which is commonly used to estimate the loads for square or rectangular pillars, lacks a realistic understanding of stress distribution as it assumes a uniform configuration.

Right after the excavation, a destressed zone above the opening causes the vertical loads to shift outwards to both sides of the panel. Because of its shape, this destress zone is called as 'pressure arch'. Field studies in the European coal fields point out that the span of the pressure arch is correlated with the depth, which may be expressed as in (5):

$$W_{pa} = 0.15h + 60 \quad (5)$$

Where  $W_{pa}$  is the minimum width in feet of the maximum pressure arch and  $h$  is depth in feet. Depending on the pressure arch concept, a rough estimation can be made about the abutment pressures as seen in Figure 4.

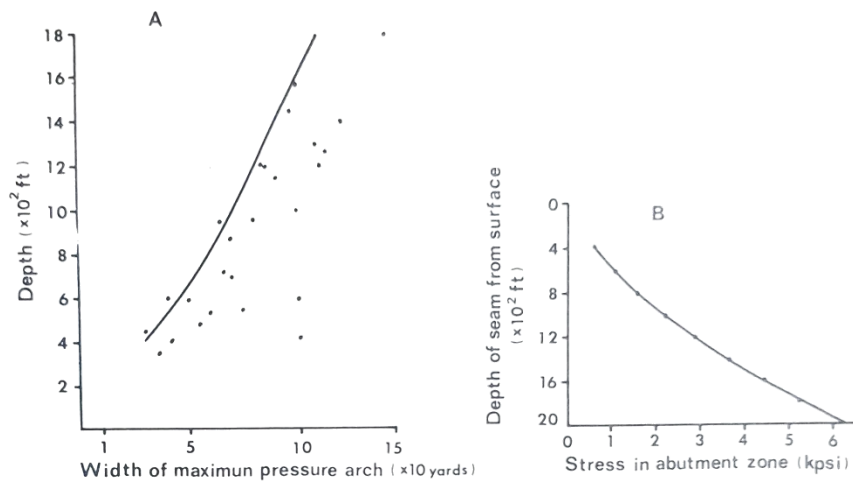


Figure 4. (A) width of maximum pressure arch, (B) estimated maximum stress in the abutment zone (Peng, 1978)

Chain pillar and rib pillar are used in longwall mining to support the roadways along the panels. While rib pillar extends along the roadway with no break, chain pillars are a system of square or rectangular individual pillars that have an offset distance between each other. The distance contributes to the coal recovery; however, the reliability of the pillar is affected.

The coal strength, which is the main parameter to determine pillar strength, can be found by laboratory tests on cubical or cylindrical samples of 2 to 6 in or alternatively, in-situ tests provide a better understanding of pillar strength but they are costly and not practical. Due to the size effect, it is well-known that smaller samples have higher strength. Therefore, coal samples of up to 60 in. were found to be better for determination of the pillar strength (Peng, 1978). As a result of lab tests, the relationship between the size and the strength of the specimen was formulated as in (6)

$$S_1 = K_1 + d^{-a} \quad (6)$$

Here,  $S_1$  is the uniaxial compressive strength of the cubical specimen,  $d$  is the side length of the specimen and  $K_1$  and  $a$  are constants that depend on the seam. The range of possible value for  $K_1$  and  $a$  were determined by numerous lab-tests (Peng, 1978)

Shape is even a more critical parameter affecting the strength of coal pillar and the general expression given in (7) defines the strength based on shape effect.

$$S_2 = K_2 + (W^b/H^c) \quad (7)$$

Where  $S_2$  is the uniaxial compressive strength of the coal pillar, which is  $W$  in width and  $H$  in height,  $K_2$  is the strength of the cubical pillar, and  $b$  and  $c$  are constants.

Another pillar type is the 'barrier pillar', which is left to support main entries or mined out panels. Despite there are several empirical expressions, the most frequently used one is given in (8)

$$W_p = \frac{h}{10} + 45 \quad (8)$$

Here,  $W_p$  is the barrier pillar width in feet and  $h$  is the depth in feet.

#### 4. Numerical Simulation of Production in a Typical Longwall Mine

This study examines the stress concentrations that develop in pillars when multiple panels are produced in a typical longwall mine using three-dimensional numerical modeling. The effects of different shape and field stress conditions on pillar performance were studied. Considering the stratification of various geological layers involving the coal seam, a discontinuous modeling approach was embraced using Itasca 3DEC, which is a 'distinct element method' code. Figure 5 shows the model geometry, strata, production stages and pillars. Model dimensions are 320 x 320 x 450 m. Five horizontal layers were created to simulate the coal seam at a depth of 400 m, which are a floor stratum at the bottom, 4 m thick coal seam, 10 m thick 'immediate roof (I.R.)', 20 m thick 'main roof (M.R.)' and 370 m thick 'overburden (OB.)'. Mine layout dimensions were set to 110 m for the panel width, 25 m for the length and 5 m for the roadway width. Chain pillars were studied in three different dimensions, which are 20x20 m, 20x30 m and 20x40 m. Longwall retreat method was simulated for a large coal seam that needs to be extracted via multiple panels.

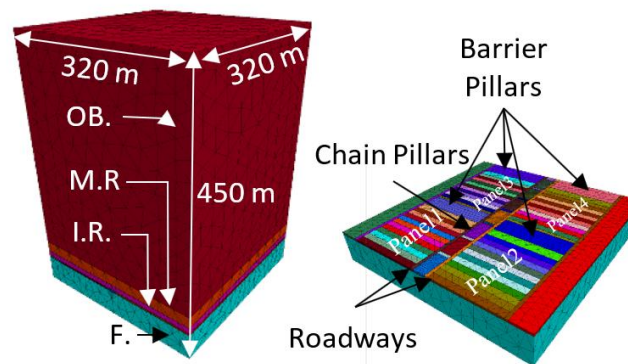


Figure 5. The numerical model geometry

The rock mass properties of the strata were obtained from a previous study in the literature (Singh & Singh 2010) in which the longwall method was examined within the scope of field and laboratory studies. Representative values are assigned for the interlayer contact properties. The material properties used in the numerical models are presented in Table 1. Each distinct stratum was considered as continuous media and the Mohr-Coulomb elastic-perfectly plastic material model was defined. Mohr-Coulomb slide model was used for the contact surfaces. The layers were formed as deformable blocks and tetrahedral volumetric elements were used to fill the volume for numerical calculations. Mesh element dimensions are densified around the pillars and immediate roof. Field stresses were studied for three different cases, which are  $k=0.5$ ,  $k=1$  and  $k=1.5$ .

Table 1. Numerical model input parameters (Singh and Singh 2010)

Continuous Media					
Mechanical Properties	OB.	M.R.	I.R.	Coal	F.
Density ( $\text{kg/m}^3$ )	2200	2000	2100	1400	2300
Modulus of Elasticity (GPa)	6,5	5,7	6,7	2,0	5,7
Poisson Ratio	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Cohesion (MPa)	2,5	2,1	2,4	1,2	2,1
Internal Friction Angle ( $^\circ$ )	40	40	40	25	40
Tensile Strength (MPa)	1,0	0,8	1,0	0,5	0,8
Discontinuities					
	$k_n$ (GPa/m)	$k_s$ (GPa/m)	$c$ (MPa)	$\phi$ ( $^\circ$ )	
Interlayer contacts	100	10	1	30	

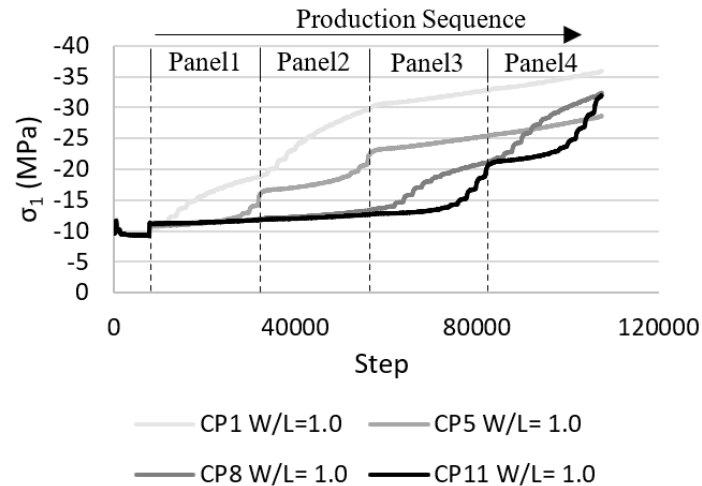
\*  
 OB. = Overburden, M.R. = Main roof, I.R. = Immediate roof, F. = Floor  
 $k_n$  = Normal stiffness,  $k_s$  = Shear stiffness,  $c$  = Cohesion,  $\phi$  = Internal friction angle

Production steps have been set to 10 meters in each advance for two neighboring panels. The model was first run with elastic material properties with no excavation. After defining the plastic material properties roads were excavated. The next stages involve the step-by-step simulation of production. First, production was started on the left panel by excavating 10 m slices in each stage. After completing this panel, a similar advance was followed in the adjacent panel on the right. 30 m thick barrier pillars were left between the main road and panels. In order to follow the effect of each excavation stage in terms of the maximum principal stress on the pillars, a history point was defined at the midpoints of each pillar. Since 3DEC carries out iterative analysis based on calculation time, the development of stress concentrations in the pillars could be observed. Stress contours were obtained along the pillars and other critical regions using the simulation outputs.

## 5. Numerical Analysis of Stress Concentration on Pillars

Stresses developed in the coal pillars due to the advance in production panels were investigated in each calculation step. Within the model geometry, a total of 13 pillars were formed in a 20 x 20 m square arrangement. The maximum principal stresses at the midpoints of four representative pillars were plotted versus the calculation step and presented in Figure 6. Total number of calculation steps considering the force balance in each model stage was reported to be 105500. It should be noted that the Itasca 3DEC uses classical mechanical notation and

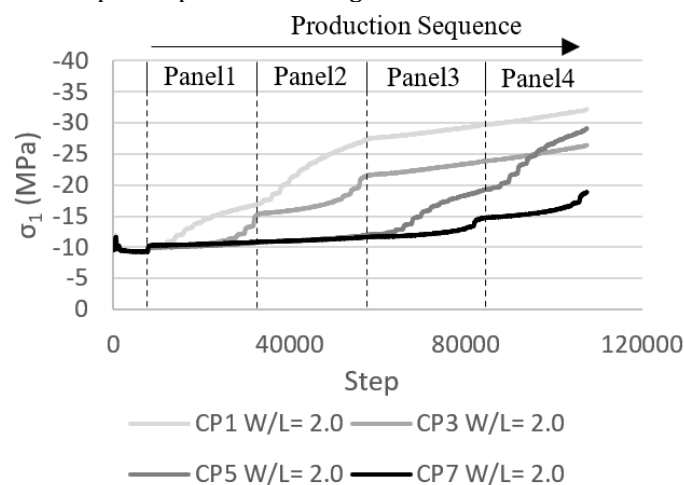
therefore compression is shown with a minus sign in the graphs.



**Figure 6.** The maximum principal stresses when  $k=1,0$  and square pillar dimensions are  $20 \times 20$  m

The pillars were assigned with a unique code regarding the production sequence in a retreat operation with an increasing number through the main road. The maximum principal stress history of the pillars numbered one, five, eight and eleven were plotted to observe production related stress accumulations. The simulations for  $k=1.0$  implying the lateral and vertical field stresses are equal in a 400 m-depth operation and for the end of production only in the front-left panel have shown that the maximum principal stresses in the first pillar have increased approximately 2 times while for the fifth pillar the increase is approximately by 1.5 times. The following production milestone, which is the end of exploitation in the adjacent panel on the front-right, points out an increase in the maximum principal stress at the first pillar by approximately 3 times; however, this increase was observed to be approximately 2.4 times in the fifth pillar. No significant effect of production on the front panels was observed on the rear panels. When the production is completed in all of the panels, 3.7 times stress concentration was observed on the first pillar compared to the pre-production stage. This value was observed as 3 times in the fifth pillar, 3.4 times in the eighth pillar, and approximately 3.3 times in the eleventh pillar. At this point, it should be reminded that the first and fifth pillars are located between the front panels, and the ninth and thirteenth pillars are between the rear panels. The simulation outputs turn out that the concentration in the sixth pillar remained at the level of 2.4 times. In the thirteenth pillar, this ratio is around 1.7 times. This is because sixth pillar is close to the barrier pillar that separates the front and rear panels, and similarly the thirteenth pillar is close to the barrier pillar of the rear panels. Thus, it can be concluded that the barrier pillars are useful to reduce the stress accumulation on the square pillars.

In the next step, a total of seven pillars were fitted in the layout with a rectangular arrangement and dimensions of  $20 \times 40$  m. Four representative pillars were determined to plot the maximum principal stress at the midpoints of pillars versus the calculation steps and presented in Figure 7.



**Figure 7.** The maximum principal stresses when  $k=1.0$  and rectangular pillar dimensions are  $20 \times 40$  m

In this case, when production was completed on the front-left panel only, the maximum principal stress in the first pillar increased by approximately 1.6 times and in the third pillar this increment is approximately by 1.5 times.



When the production goes on from the front left panel, at the end of excavation the stresses concentrate by 2.7 times on the first pillar compared to the pre-mining stage. The third pillar, which is within the front panels and close to the main road has a stress accumulation of approximately by 2.2 times. Similar to the previous model, no significant effect of the front panels was observed on the rear panels. When production was completed from all of the panels, the maximum principal stress increased by 3.4 times in the first pillar, 2.8 times in the third pillar, three times in the fifth pillar, and doubles in the seventh pillar, compared to pre-mining stage. Compared to square cross-section, the rectangular pillars take advantage of a larger area to distribute the vertical loads, and therefore stress concentrations decrease. However, the coal recovery is affected negatively.

The effects of different field stress conditions and pillar geometries on pillar stress concentration were investigated in parametric analysis, Figure 8 shows the distribution of the maximum principal stresses on a section line along the pillars in the first phase of production and the stress history on the first pillar for different pillar dimensions. The simulation points out that the stress concentration on pillars reach the highest value when the 20 x 20 m square pillar arrangement (the ratio of dimensions is 1) is used. In rectangular pillars, as the length of the long axis increases, stress accumulates less and the risk of pillar failure decreases.

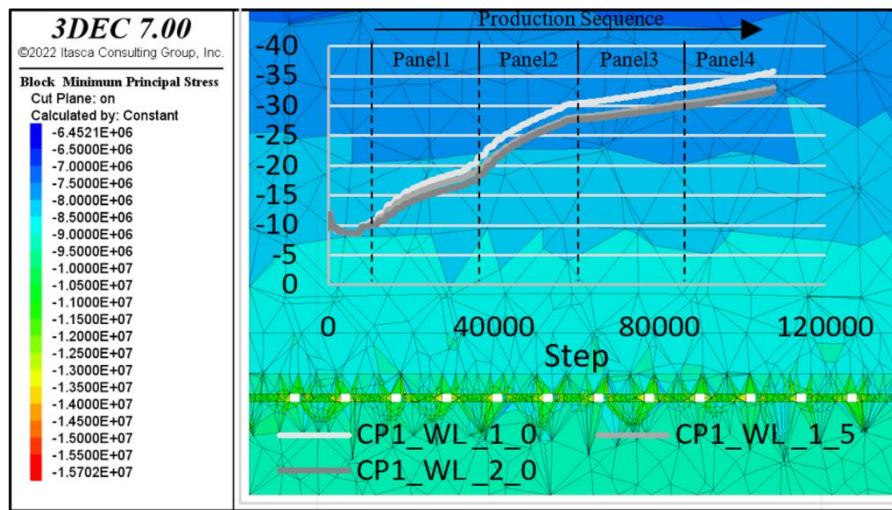


Figure 8. The maximum principal stress for different pillar geometries when k=1.0

In Figure 9, the maximum principal stresses contours on the same section line passing along the pillars were presented for the end of production in all panels. The stress history was also plotted for the first pillar under different field stress conditions. It was determined that when the horizontal field stresses are higher, more stress accumulation occurs within the first pillar during the production of the first panel. However, the difference due to the horizontal field stresses diminish to a large extent as the excavation continues in the other panels.

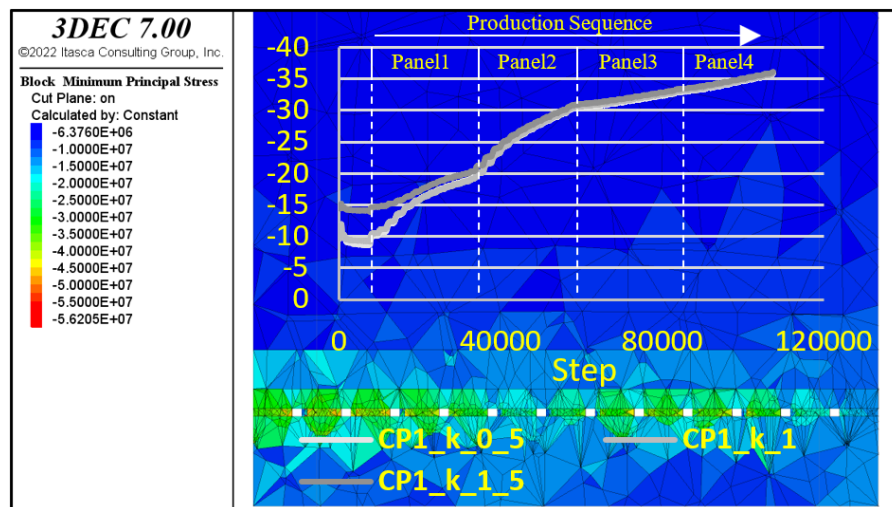
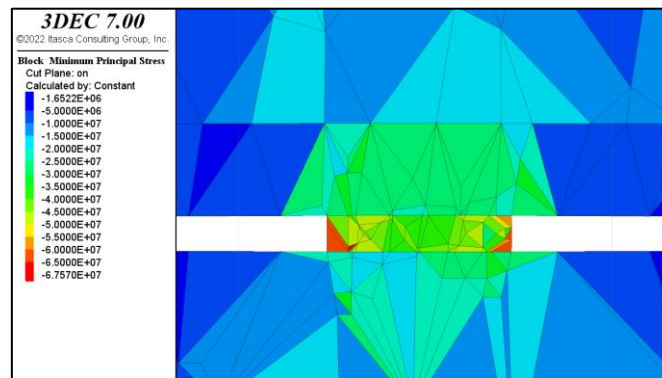


Figure 9. The maximum principal stresses for square pillar arrangement and different field stresses

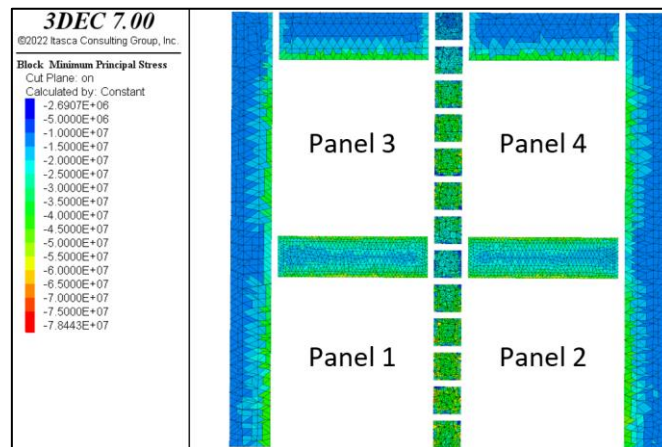
Figure 10 shows the stress distributions in a cross-section perpendicular to the excavation direction on the fourth square pillar, when k=1. Accordingly, it can be predicted that the stresses increase relatively around the excavation boundaries compared to the center of the pillar. This is due to the abutment pressures applied to the outer extents

of pillars by the yielding immediate roof stratum. The stresses can increase up to 3 times in these regions close to the free surfaces compared to the center and may cause pillar burst in hard coal pillars.



**Figure 10.** The maximum principal stress contours on the fourth pillar when  $k=1.0$  and all panels are produced

Figure 11 presents the stress concentrations in the rock mass surrounding the pillars when the production is completed in all panels. The top view of a horizontal cross-section was taken from the middle of the coal seam and the gob material was filtered in order to clearly observe the stress concentrations. It was noted that the stresses increased significantly in the immediate vicinity of the free surfaces around the roadways and behind the coal face, and the concentration was observed at a level of up to 3.5 times, in line with the visual presented in Figure 2, which theoretically represents the stress concentrations expected to develop at the end of a single panel production. Considering the fact that square pillars operate under uniaxial loading and the level of stress concentration is taken into account, it can be predicted that the pillar recovery potential is reduced.



**Figure 11.** The maximum principal stress distribution around the longwall panels after production is completed ( $k=1.0$  and square pillars)

As the stress concentration increases around the produced panels, the material behavior shifts from elastic to plastic, which implies the generation of fractures and cracks in the rock mass. Further loading of a plastic material concludes up with the failure. As shown previously in Figure 10, the stress on a pillar tends to show a higher concentration close to the free faces compared to the center in the early stages of loading. In other words, pillar deformation is likely to start from the outer boundaries as plasticity initiates on those regions earlier compared to the center. The common practice for numerical investigation of stress concentration is to carry out elastic analyses. However, this study takes advantage of plastic models to observe the propagation of stress concentrations through the center of the pillar as the outer extents yield due to the excessive loadings. Figure 12 shows the yielded elements around produced panels for two significant production sequences. The models denote three different field stress conditions, which are  $k=0.5$ ,  $k=1.0$  and  $k=1.5$ . The light-colored regions depict elastic materials while the dark colors imply the yielded regions. According to the simulations, the yielded regions within the pillars cover more than 50% of the whole cross-section for  $k=0.5$ . In other words, pillars completely fail when the vertical stresses are greater compared to the horizontal stresses. However,  $k=1.0$  and  $k=1.5$  models show that the yielded elements do not expand more than 20% of the pillar cross-section. Under these circumstances, deformations may be expected around the free-faces and stress concentrates through the center. A similar trend also shows up for the barrier pillar and roadway sides.

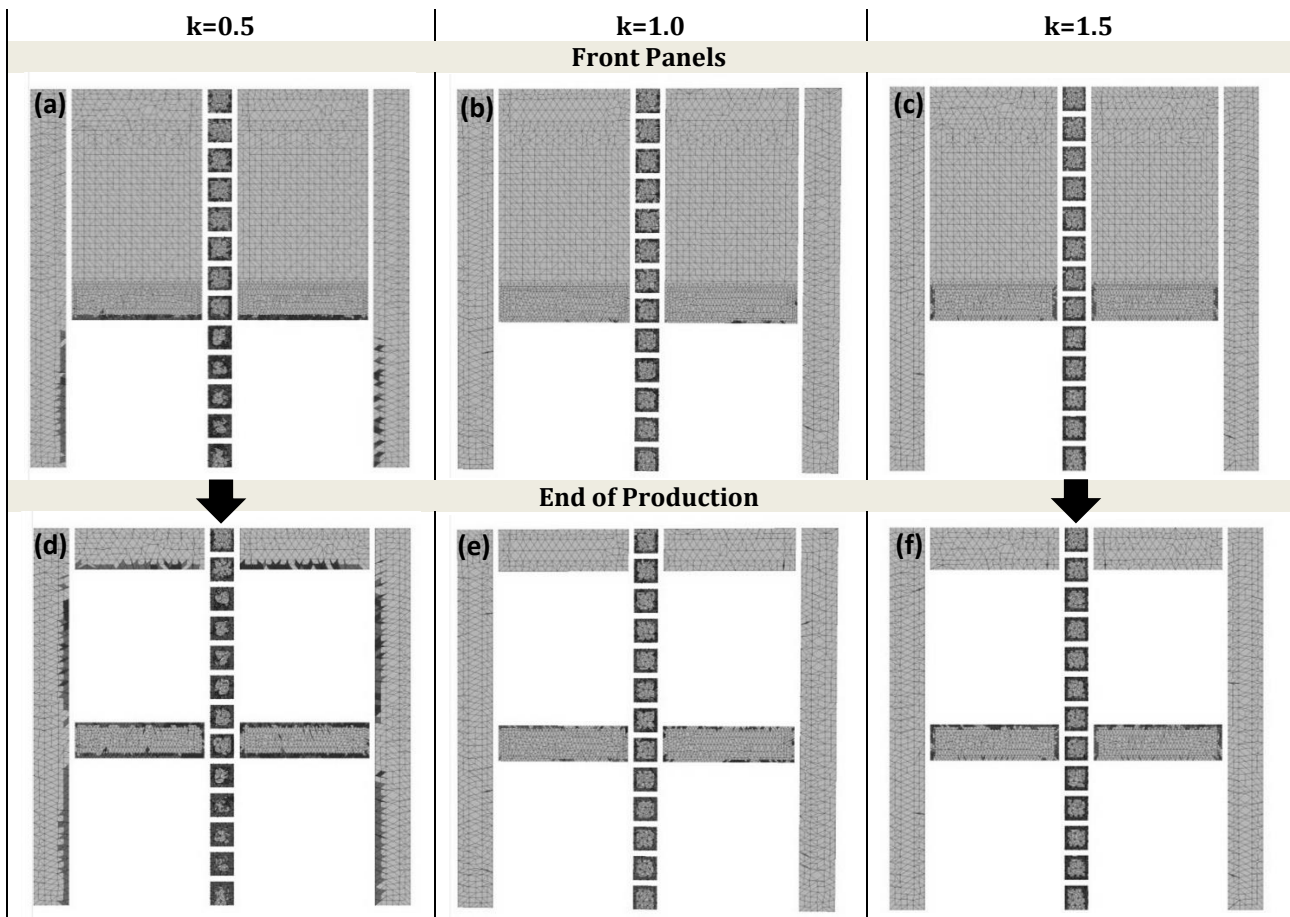


Figure 12. Yielded elements (dark colors) around longwall panels under different field stress conditions

In numerical analysis, it is known that stress distribution and post-failure deformations are directly related to the material model. Previous studies in the literature based on continuum analyses confirm that the advance of caving in longwall mines simulated with the strain-softening model provides more realistic simulation outputs compared to the elastic and elastic-perfectly plastic models (Vakili et al., 2010). In this study, additional analyzes using the Mohr-Coulomb strain-softening model were carried out using discontinuous media in order to examine the effects of the material model on the stress distribution inside pillars. The residual material properties operating in the post-failure stage were reduced to one third of the peak strength parameters and the production in the first two panels was simulated (Figure 13). Compared to the pillar loadings in the perfectly-plastic material model (Figure 11), higher stresses were observed close to the free surfaces of pillars, which may indicate violent failure events.

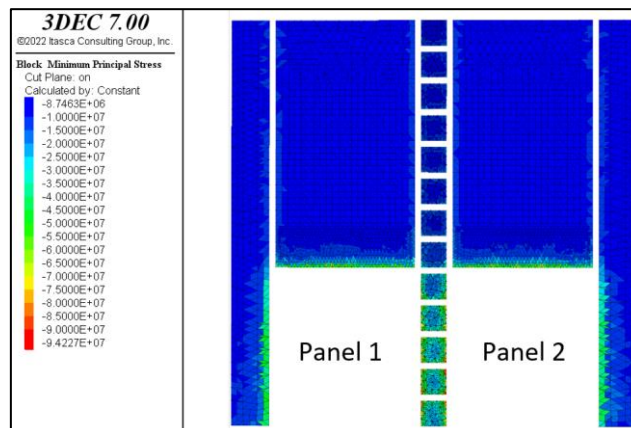
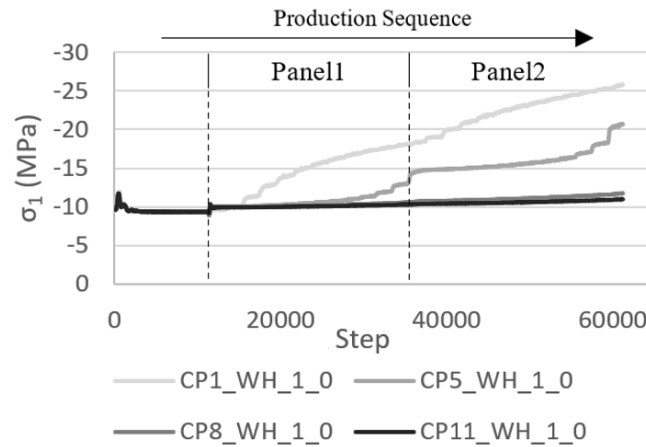


Figure 13. The maximum stress distributions around the longwall panels when strain-softening model is used, k=1 and pillars are square

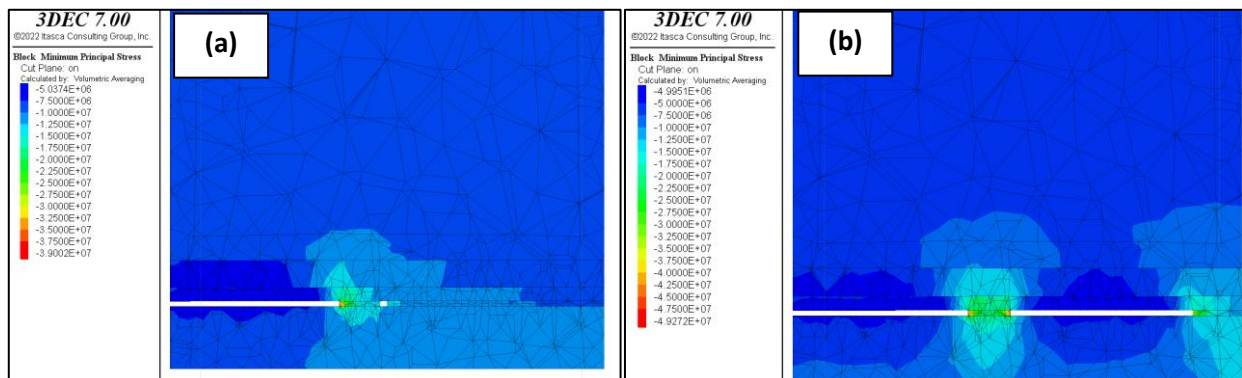
Figure 14 shows the evolution of stresses at the midpoints of the first, fifth, eighth and eleventh pillars following production of the two panels in the front with a square pillar arrangement and using the strain-softening material model. Compared to the regular stress distribution observed in the pillar cross-section obtained with the perfectly

plastic model, it was observed that the stresses increased around the free surfaces of the pillars and roadways when the strain softening model is used. At the center of the pillar, the stress concentrations were observed to be lower. It was concluded that the strain softening model suits better, compared to the perfectly plastic material model, for simulation of the induced stresses at the abutments of the roads and pillars, which develops parallel to the progress on the coal face.



**Figure 14.** The maximum principal stress histories on pillars of the longwall model when strain-softening model is used,  $k=1$  and pillars are square

Figure 15 shows the maximum principal stress contours on the barrier pillars when  $k=1$ . The end of production in the front panels (a) and all panels (b) sequences both point out the abutment pressures around the outer surfaces of barrier pillars. Compared to the center of the pillar, stress concentrations increase through the outwards. The simulation outputs imply that the barrier pillars are necessary for the main road stability.



**Figure 15.** When  $k=1$  the maximum principal stress contours on the barrier pillars for (a) the end of front panels, and (b) the end of all panels

Finally, the simulation results should be regarded to be dependent on the model input parameters and the boundary conditions. Although the presented study covers a common case, simulation results may significantly alter due to the differences in material characteristics of different types of coal, the depth, the surrounding strata, the structural geology and the seismic potential of the field. The parametric study intended to provide an understanding about the effects of field stress conditions when  $k=0.5$ ,  $k=1.0$ ,  $k=1.5$  and different pillar width to length ratio. Most of the simulation outputs were presented for  $k=1.0$  for practical reasons. However, there are several mechanical and geometrical parameters controlling the stress distribution. Although it is not possible to cover every potential case, the common parameter sets would be subject to follow up studies.

## 6. Conclusion

Numerical simulation outputs showed that production of multiple longwall panels in a large coal seam can result in stress concentration on the pillars nearly 4 times the before production state. The most critical pillars are the ones where the longwall retreat begins. Excavation related stress concentrations may cause pillar failure, as well as triggering the pillar burst, which is a dynamic type of failure due to excessive stress accumulation. Rectangular pillar arrangement can be said to be effective in reducing the stresses despite the increasing loss of coal due to the relatively large pillar cross-section area. However, it is useful in terms of mitigating dynamic failures. It was found that when the horizontal field stresses are higher than the vertical stresses, the stress concentrations on the pillar

where the longwall retreat begins are not significantly different compared to the case of equal field stresses. Another study outcome is that the stress distribution on the pillar cross-section increases outward from the center and may cause pillar bursts in brittle rocks such as hard coal. At this point, it was determined that the material model used in the numerical analysis is important, especially the simulation of the abutment pressures using the strain-softening model provides better results. Finally, it can be concluded that the sustainable application of the longwall method, which provides the advantages of production speed, quantity and cost in underground coal mining, is possible by properly planning the panel layout, pillar dimensions and considering the geomechanical inputs.

### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

### References

- Barczak, T.M., 1992. Examination of Design and Operation Practices for Longwall Shields. U.S. Department of The Interior, Bureau of Mines, Information Circular/1992.
- BP. (2022, September). Statistical Review of World Energy. Retrieved from BP Global Web site:<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Crouch, S. L. and Fairhurst, C., 1973. "The Mechanics of Coal Mine Bumps," USBM, Contract No. H0101778.
- Energy Information Administration (EIA), 1995. Longwall Mining. U.S. Department of Energy, Office of Coal, Nuclear, Electric and Alternate Fuels. Washington, DC: U.S. Department of Energy.
- Haycocks, C., Karmis, M. and Ehgartner, B. (1982) Multiple Seam Mine Design. Paper in State-of-the-Art of Ground Control in Longwall Mining and Mine Subsidence, SME, AIME, pp. 59 - 65.
- International Energy Agency, 2022. Coal-Fired Power. Coal: <https://www.iea.org/reports/coal-fired-power>
- Itasca Consulting Group, Inc. (2020) 3DEC — Three-Dimensional Distinct Element Code, Ver. 7.0.
- Jawed, M., Sinha, R.K. and Sengupta, S., 2013. Chronological development in coal pillar design for bord and pillar workings: A critical appraisal.
- Mark, C., & Gauna, M., 2021. Pillar design and coal burst experience in Utah Book Cliffs longwall operations. *International journal of mining science and technology*, 31, 33-41.
- Peng, S. S. (1978). *Coal mine ground control*. Wiley.
- Sasaoka, T., Mao, P., Shimada, H., Hamanaka, A. and Oya, J., 2020. Numerical Analysis of Longwall Gate-Entry Stability under Weak Geological Condition: A Case Study of an Indonesian Coal Mine. *Energies*, 13(18), 4710. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/en13184710>
- Singh, G.S. and Singh, U.K., 2010. Prediction of caving behavior of strata and optimum rating of hydraulic powered support for longwall workings. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47, 1-16.
- Singh, R., Pathan, A. G., & Ünver, B., nd. Design of Rib Pillars in Longwall Mining Based on Theoretical and Practical Approaches., 23-38.
- Vakili, A., Albrecht J. and Gibson W., 2010. Mine-Scale Numerical Modelling of Longwall Operations. *Underground Coal Operators' Conference*, 115-124
- Wagner, H., 1980. Pillar Design in Coal Mines. *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy*, 37-45.
- Yavuz, H., 2002. Uzunayak Madencilğinde Duraylı Topuk Tasarımı. *Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 285-295.



## A RESIN TYPE ADDITIVE USE TO IMPROVE LOAD BEARING CAPACITIES OF GROUTED ROCK BOLTS EXPOSED TO THERMAL CYCLES

Eren KÖMÜRLÜ<sup>1\*</sup>

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

### Keywords

*Rock Bolts,  
Grout Materials,  
Grouts in Rock Bolting,  
Thermal Resistivity,  
Thermoset Polymer Additive.*

### Abstract

A thermoset PMS (Polyvinyl modified silicone) type polymer additive effect on load bearing capacities of cement grouted rock bolt specimens exposed to thermal cycles was investigated with a series of experimental studies. The additive used in this study was in liquid phase while adding into the fresh cement mix and started to solidify by polymerization after being mixed well in the cement grout. The silicone based thermoset product was selected to use because of its ability of polymerization in contact with water. According to the results of this study, the load bearing capacity loss due to thermal cycles was found to be notably limited as a result of using the thermoset additive. Therefore, the additive tested in this study was assessed to improve resistivities of the cement grouted rock bolts against the thermal changes.

## TERMAL ÇEVİRİMLERE MARUZ KALMIŞ DOLGULU KAYA SAPLAMALARININ TAŞIMA KAPASİTELERİNİN ARTIRILMASI İÇİN REÇİNE TÜRÜ BİR KATKI KULLANIMI

### Anahtar Kelimeler

*Kaya Saplamları,  
Dolgu Malzemeleri,  
Kaya Saplamlarında Dolgu,  
Termal Direnç,  
Thermoset Polimer Katkı.*

### Öz

Termal döngülere maruz bırakılan çimento enjeksiyonlu kaya saplama numunelerinin yük taşıma kapasiteleri üzerinde PMS tipi bir termoset polimer katkının etkisi bir dizi deneysel çalışma ile incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan katkı taze çimento karışımına ilave edilirken sıvı fazda olup, çimento şerbetinde iyice karıştırıldıktan sonra polimerizasyon ile katılaşmaya başlamıştır. Kullanılan termoset ürün su ile temas halinde polimerleşebilme özelliğinden dolayı tercih edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, polivinil modifiyeli silikon türü termoset reçine katkısının kullanılması sonucunda termal çevrimlerden kaynaklanan yük taşıma kapasitesi kaybının oldukça azaldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada test edilen katkı maddesinin çimento enjeksiyonlu kaya saplamlarının termal değişimlere karşı dirençlerini geliştirmek için kullanılabilir olduğu değerlendirilmiştir.

### Alıntı / Cite

Kömürlü, E., (2023). A Resin type Additive Use to Improve Load Bearing Capacities of Grouted Rock Bolts exposed to Thermal Cycles, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(2), 743-754.

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

E. Kömürlü, 0000-0002-2123-7678

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	05.12.2022
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	14.02.2023
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	15.03.2023
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: ekomurlu@giresun.edu.tr, +90-454-3101740

## A RESIN TYPE ADDITIVE USE TO IMPROVE LOAD BEARING CAPACITIES OF GROUTED ROCK BOLTS EXPOSED TO THERMAL CYCLES

Eren KÖMÜRLÜ†

Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye

---

### Highlights

- Ordinary cement grouts were found to lose their bearing capacity as a result of being exposed to thermal shock cycles. The number of thermal cycles and temperature differences are decisive in this regard.
- PMS type thermoset resin additive has been investigated for its use in cement grouted rock bolt applications.
- Resistivity against thermal cycles of the cement grouts was assessed to be improved by using the PMS type thermoset polymer additive.

---

### Purpose and Scope

The purpose of this research is to investigate the usability of a new polymer resin to improve thermal change resistivities of cement grouts used in rock bolting applications. Thermal changes can cause cracking and strength loss of cement grout materials of bolts especially for those used in open excavations. Depending on the region, environmental effects can cause significant repairing costs for rock engineering constructions. By improving the resistivity of bolts against the thermal cycles, bettered performances and service lifetimes can be supplied as aimed in this research.

### Design/methodology/approach

Three different grout mix groups with 0%, 3% and 6% resin polymer additives by weight were tested within this study. Within various tests, both strengths of cement grout mixes and their adherence to steel bolts were investigated to assess the usability of the additive. To investigate the resistivity against thermal cycles, specimens with and without the polymer additive had totally same thermal change procedure. To speed up the effect of the thermal cycles, temperature changes were applied immediately making thermal shocks in water. Uniaxial compressive strength test was carried out to determine the strength loss property of the thermally cycled grout materials. In addition, their adherence to steel bolts was investigated by using the pull-out test equipment. The adherence performances of the bolts in different grout mixes were comparatively investigated carrying out the pull-out (anchorage) test with the aim of evaluating bearing capacities under the axial loading condition.

### Findings

Thermal shock cycles caused decreases in the strength values owing to the microcracks which are induced and grown while the immediate thermal changes. In comparison with the ordinary cement grout mixes, The PMS additive made the specimens more resistive against losing strength under thermal cycles. To extend service life times of cement grouted rock bolts exposed to the temperature changes, the PMS resin polymer additive was found to be usable.

### Practical implications (if applicable)

The liquid phase time before the solidification of the resin additive should be long enough for the application area. The resin additive product should be in the liquid phase until the bolt holes are filled. There are various PMS resin products with different gel time values in the market. For a proper application, products with enough long gel times should be preferred instead of those which polymerize early.

### Originality

Cement and polymer resin type different grout materials are separately used in rock bolt applications. The combined use of cement and resin type materials is an originality of this study for the rock bolting literature. Examination of the usability of PMS type resin additive in cement grout material is a new topic in terms of rock engineering.

---

† Corresponding author: [ekomurlu@giresun.edu.tr](mailto:ekomurlu@giresun.edu.tr), +90-454-3101740

## 1. Introduction

Rock bolts have been used to reinforce underground openings and open excavated rock masses for more than 100 years. Even though rock bolts did not become widespread in the 1920s and 1930s, they quickly found a place in new applications in the 1940s and 1950s. Then, rock bolts have become popular, the general details of reinforcement principles were understood and many standardizations were made in 1960s. The rock bolting system improves the competence of rock masses by preventing joint movements and forcing the rock mass to support itself. Rock bolt ground reinforcement mechanisms can be investigated under different topics such as suspension, beam effect, key effect and arching effect. Convergences can be restricted by changing the stress distributions in rock masses as a result of the anchorage effect of the rock bolts. Rock bolts are usable to prevent both structural controlled and stress controlled rock mass failures. Rock bolts which are widely used to reinforce mining and civil engineering excavations can be classified in accordance with different parameters such as grout usage (grouted or friction bolts), grout type (cement, resin, etc.), shank body material (steel, polymeric composites, etc.), pre-tensioning properties (active, passive), energy absorption capacities (energy-absorbing bolts and others) and etc. (Li et al., 2014; Wang et al., 2019; Ranjbarnia et al., 2016; Komurlu, 2021a). The widespread use of rock bolts has led to the understanding of modern tunnel support strategies in 20th century. Contemporary support applications which allow the rock mass to bear itself instead of the dead rock load occurrence, have been made possible by using rock bolts. Within the all rock bolts, the firstly patented type is the grouted rebar bolts (Komurlu and Kesimal, 2013; Kovari, 2003a, Kovari, 2003b).

Grouted rock bolts have grout bond between rock and the bolt surfaces. The strength of the grout material and its adherence to rock and steel rebar surfaces determine the bearing capacity and the reinforcement performances supplied by the bolts. Rock mass strength is also a determinative parameter that effect performances of the grouted rock bolts (Chen et al., 2020; Batugin et al., 2021; Kim et al., 2019). Ordinary grouted rock bolts are simple reinforcement system that consists of a ribbed rebar shank, a plate and a mechanism to fix the plate part. Generally, nuts are used to fix the plate parts. The anchorage can be supplied by both the shank and the plate parts. As a result of the rock mass deformation, rebar bodies are generally tensioned and sheared at the same time. The grout quality is an important factor for the reinforcement effectiveness of bolts against the tensile and shear loads. The plate parts supply support pressure on the wall by its anchorage owing to the rock mass deformations. To have a proper reaction from the plate part, rebars must have a good adherence capacity in the grout (Kang et al., 2020; Knox and Hadjigeorgiou, 2022; Wang et al., 2022). The grout material quality and its workmanship have great importance in providing an appropriate support pressure at the right time, by the bolt system reaction to the deformations in rock masses.

Long service times must be taken into account in geotechnical engineering designs. In the environment, there are various issues to affect the long term support performances of the grouted rock bolts. One of the issues that should be paid attention during the design stage is the time-dependent strength losses of the grout material. Also, steel corrosion is another issue that shortens the service lifetimes of the steel rock bolts. Depending on the region, environmental affects can cause significant repairing costs for rock engineering constructions to prevent undesired collapses and damages (Kahandawa et al., 2021; Lee et al., 2018; Guo et al., 2019).

## 2. Literature Survey

The open excavations get more harm from environmental influences than underground openings. The thermal changes must be considered for the rock bolts used to reinforce open excavations, especially for the long service lifetimes. Rock bolt parts which are close to the plate are mostly affected by outside temperature changes and freezing and thawing events. Also, it is where the highest stress occurs along the length of the rock bolts. In other words, the stress levels in the bolt and grout generally maximize just near the outside end of the drill hole as a result of the rock mass deformation (Chen, 2014; Zhao et al., 2018; Teymen and Kılıç, 2018). Therefore, it should be noted herein that the load bearing capacity of the rock bolts can be significantly reduced by the environmental affects causing deterioration of the grout material. However, some seasonal changes like those in temperature, water content and air humidity are many times neglected in rock engineering designs and analyses. In addition to the annual changes, there are also significant daily changes depending on the region climate. The daily changes can be rapid and make damages in repeating periods. In some continental climates, it is possible to see more than 30 °C temperature differences in a day. In comparison with underground ones, open rock engineering constructions are generally more resistless against environmental changes. Especially for long-term service life times of cementitious mixes, thermal differences in repeated cooling and heating cycles have an important influence on the load bearing capacity (Jena and Panda, 2018; Komurlu and Kesimal, 2015a; Cui et al., 2020). As another matter, the water saturation is also considerable in the seasonal changes affect. In particular, temperature changes causing the freezing and thawing cycles can make notable damages in case of water saturated voids of concretes and cement grouts.



There are different type grouts used in the rock bolting applications. The commonly used grout materials can be classified as cement grouts and resin grouts. Resin grouts are thermoset type polymers which are in liquid phase before their polymerization reactions. Resin grouts are advantageous due to the early curing, good bearing capacities in watery regions, high chemical durability, ductile support reactions, resistivities against the dynamic loads resulting from the blasting applications and etc (Chen et al., 2021; Liu et al., 2022; Yan et al., 2019). However, resin grouts are more expensive than the cement grout. Therefore, cement grouts are relatively more popular and common in the geotechnical engineering works. In this study, a resin material is used in the cement grout mix for the aim of improving its performance in rock bolting applications. Within the scope of this study, the thermal resistivity property was investigated to assess the composite mix of the cement and resin usability. The heating and cooling cycles and thermal shocks were applied in the experimental study to examine and compare the resistivities of the ordinary cement and resin added cement grout mixes.

Because thermoset type polymers are in liquid phase before their polymerization reactions, they are usable for good homogenization of the cement grout mixes. Effect of the water on thermoset polymerization reactions and self-strength values of the additive are important points in terms of selecting a proper polymer product. Additionally, viscosity and solidification time of thermosets are significant parameters for the workability of the fresh cement grouts. Although polymerization reactions of thermosets are typically completed within a day, a significant solidification generally happens in two hours.

Within this study, a modified silicone (MS) based thermoset polymer resin product was investigated as a cement grout additive. Silicones are synthetic polymers and also known as polysiloxanes. The thermoset MS polymers are in the liquid form and looks like a gel before their polymerization. They keep their elasticity and stability in both high and low temperatures. Furthermore, the MS resins, adhesives and sealants are resistant to moisture and weathering (Zander and Peng, 2018; Magalhães et al., 2019). Pure and some modified silicones like PMS (polyvinyl modified silicone) types can polymerize and properly solidify in contact with water (Owen, 2017). Therefore, it was expected to appropriately use the PMS based thermoset polymer additive in cement grout mixes. The aim of using a thermoset additive is to be a kind of reinforcement in cement grout mixes. To assess its usability for improving the resistivity against thermal cycles, polymer resin added cement grout mixes and their adherences to steel bolts were investigated with a series of tests.

### 3. Materials and Methods

In this study, CEM 1 type ordinary Portland cement was used in the grout mixes with the water to cement ratio of 0.45 by weight. There were three different grout mix groups with 0%, 3% and 6% polymer additives by weight. It should be noted herein that the percentages are ratios of the polymer additive to total mix by weights. The grout mixes were homogenized in a concrete mixer for 5 minutes. Within various tests, both strengths of cement grout mixes and their adherence to steel bolts were investigated to assess the usability of the additive in terms of improving the resistivity against thermal cycles.

The uniaxial compressive strength (UCS) test was carried out to make an idea for understanding the thermoset additive effect on the weathering and strength loss resistivity of grout mixes against thermal cycles. The UCS test specimens were casted into cylindrical moulds with the inner diameter of 46 mm, compacted using tamping rods, and put on the vibration table to remove air in fresh mix. The UCS test specimens were casted into the moulds with the ratio of length to diameter of 2 in two steps for making them well compacted and removing air in the mix properly by using tamping rods after each casting steps. The geometry of the UCS test specimens is suited to that stated in the ASTM C780-19 coded standard for cement mortar mixes (ASTM, 2019). Specimens with the curing time of 11 days were tested with a loading rate of 0.5 mm/min in the UCS test (Figure 1).

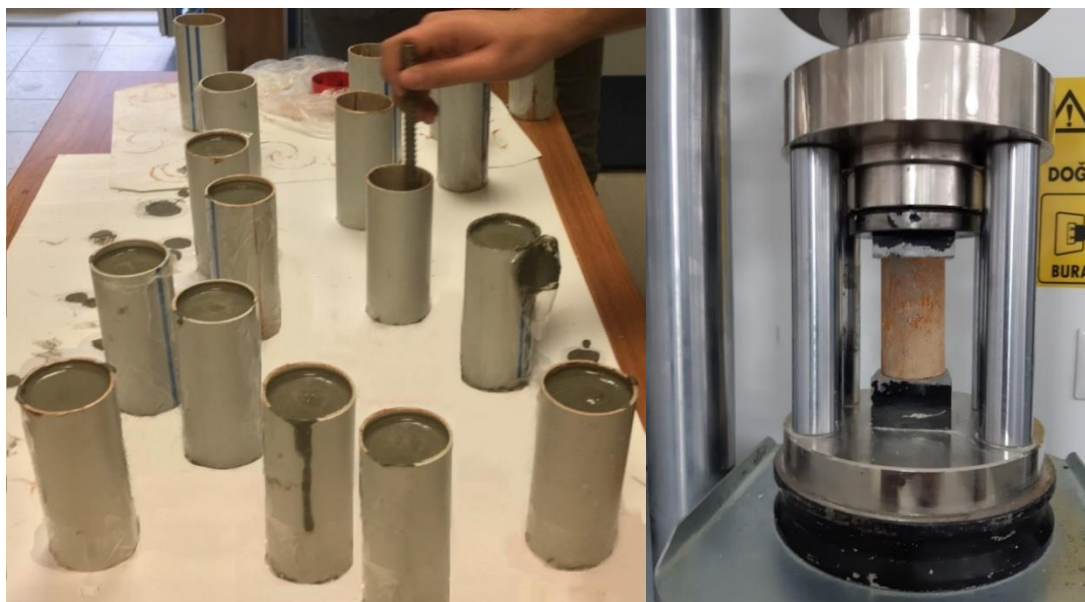
In addition to the strength test applied on the cement grout mixes, their adherence to steel bolt surfaces was also investigated by using the pull-out test equipment. Ribbed steel rock bolts with the diameter of 12 mm and length of 500 mm were used in the pull-out test. Cement grouts were casted into the plastic moulds with the inner diameter of 96 mm. The bolts were slowly immersed after the moulds were filled to the height of 120 mm by the grout mixes. To make the bolts for standing vertical in fresh grout mixes, drilled steel plates were used on the moulds (Figure 2). Before using the steel plates to hold bolts, grout mixes were compacted by tamping rods. In addition, bolts were gently rotated in the grout mix to supply a well contact at their surfaces. Use of the holding plate devices supplied vertical alignment of the bolts in the fresh mix. Pull-out test specimens were remoulded after a day of curing period. The pull-out test was performed using the rock bolt samples in 11 days cured cement grouts. A photograph from the pull-out test is given in Figure 3.

The aim of the pull out test is to determine the bearing capacities of rock bolts under the axial loading condition. The portable test equipment is usable in both laboratory and site investigations. The adherence performances of

the bolts in different grout mixes were comparatively investigated carrying out the pull-out (anchorage) test. The bolt shanks were gripped and held by the jaw of the equipment and the axial loading was applied till the maximum level of the anchorage capacity is reached. Grout materials were cracked at the maximum load level, and the pull-out tests were finalized after reaching the peak load level which is recorded by the test equipment.

Within this study, the slump test was also performed to investigate the workability of fresh grout mixes with different amounts of the polymeric additive. According to ASTM C143 coded standard, the slump cone with a height of 300 millimeters, an internal diameter of 100 millimetres at the top and of 200 millimetres at the bottom was filled with fresh cement grout mixes in three stages. Each layer is tamped for 25 times by using a bullet-nosed metal rod. Then, the cone mould was carefully lifted and slump values of the mixes were measured in accordance with the methodology stated in the ASTM C143 coded standard (ASTM, 2020).

To investigate thermal changes effect on results of the UCS and pull-out tests, a refrigerator at 4 °C and a stove at 90 °C were respectively used for 16 cycles (Figure 4). There were water tanks in the refrigerator and the stove. Specimens with and without the polymer additive were immersed in the water tanks and had totally same thermal change procedure in water. To speed up the effect of the thermal cycles, temperature changes were applied immediately making a thermal shock in water. As 2 days cured specimens were remolded, heating at 90 °C (150 minutes) and cooling at 4 °C (150 minutes) were carried out twice a day. Specimens were kept out of water at the end of the daily thermal cycles. At the end of 16 thermal cycles, 10 days cured wet specimen surfaces were wiped before the tests. Specimens which were not exposed to the thermal cycles were cured in the room temperature and not kept in water. The pull-out test was applied in the 11th day of curing. The experimental study was carried out in geotechnical engineering laboratories of Giresun University department of civil engineering.



**Figure 1.** Preparation of UCS test specimens (left), The UCS test (right)



**Figure 2.** a) Plates for keeping bolt specimens stood vertical in grout mixes, b) grouted bolt specimens used in this study



Figure 3. The pull-out test



Figure 4. Stove (a) and refrigerator (b and c) used in this study

#### 4. Experimental Results

Results obtained from the UCS test are given in Table 1. According to results of this study, UCS values of cement grouts kept under constant temperature were found to decrease with an increase in the amount of the thermoset modified silicone based additive in the mix. On the other hand, it made the specimens more resistive against losing strength under thermal changes. It is a remarkable outcome of this study to obtain nonignorable higher strength values from 3% polymer added specimens in comparison with the case of no polymer additive use. As seen from SR (Ratio of UCS test results of specimens exposed to thermal cycles to those of specimens kept under no temperature change) values given in Table 1, the grout specimens with 6% polymer additive content were the most resistive against strength loss due to the thermal cycles.

The slump values of grout mixes were found to decrease with increasing polymer contents. Grout mixes with 0%, 3% and 6% PMS additives had 12 cm, 10 cm and 7 cm slump values, respectively. Considering the slump test results, it can be noted that the PMS content decreases the workability of grout mixes. Although the 3% PMS content can be assessed to cause not a big change, use of 6% additive was found to make a notable decrease in the workability of fresh cement grout mixes.

Load bearing capacities of the grouted rock bolts kept under the constant temperature were determined to slightly decrease with an increase in the amount of the PMS additive. In contrast, the additive made the grouted rock bolt specimens more resistive against losing axial load bearing capacity due to the thermal cycles. Among all the tested specimen types, the highest pull-out test loads were measured from the grouts with 3% PMS additive after thermal cycles. Considering the ratio of pull-out test results of specimens exposed to thermal cycles to those of specimens kept under no temperature change (LR) values, the grout specimens with 6% silicone content were found to be the most resistive type against load bearing capacity loss due to the thermal cycles. Bolt specimens in the grouts without the polymer additive were determined to have a notable decrease of 33% (LR: 0.67) in the load bearing capacity after thermal cycles, whereas it was only 11% (LR: 0.89) decrease for 6% polymer added grout specimens (Table 2).

The PMS type thermoset polymer additive amount effect on uniaxial compressive strength test and pull-out test (axial load bearing capacity test) results are also shown in Figure 5. According to the results obtained from this study, the resistivity against the thermal cycles was assessed to be notably improved by use of the PMS type polymer resin additive. It should be noted herein that the results are quite promising for the in-situ thermal change resistivities of rock bolts. Because this experimental study was carried out in a laboratory environment, it will be beneficial to test the promising results of this study with further in-situ investigations to better understand the effect of the PMS additive in the field conditions.

**Table 1.** Results of the UCS test (G0: grout mix with 0% polymer additive, G3: grout mix with 3% polymer additive, G6: grout mix with 6% polymer additive, SN: Specimen number, T: thermally cycled, SD: standard deviation, SR: Ratio of UCS values of specimens exposed to thermal cycles to those of specimens kept under no temperature change for a same polymer content)

Specimen type	SN	UCS (MPa)	SD for UCS (MPa)	SR for UCS (MPa)
G0	3	28.1	0.6	-
G3	3	25.9	0.6	-
G6	3	22.7	0.5	-
G0-T	3	18.5	0.7	0.66
G3-T	3	19.4	0.8	0.75
G6-T	3	18.8	0.7	0.83

**Table 2.** Results of the pull-out test (B0: bolts in the G0 type grout mix, B3: bolts in the G3 type grout mix, B6: bolts in the G6 type grout mix,  $F_{max}$ : Maksimum load bearing capacity, LR: Ratio of  $F_{max}$  values of specimens exposed to thermal cycles to those of specimens kept under no temperature change, which is for a same polymer content).

Specimen type	SN	$F_{max}$ (kN)	SD for $F_{max}$ (kN)	LR for $F_{max}$ (kN)
B0	3	26.0	2.0	-
B3	3	23.7	1.5	-
B6	3	20.3	1.2	-
B0-T	3	17.3	2.5	0.67
B3-T	3	18.7	2.1	0.79
B6-T	3	18.0	1.7	0.89

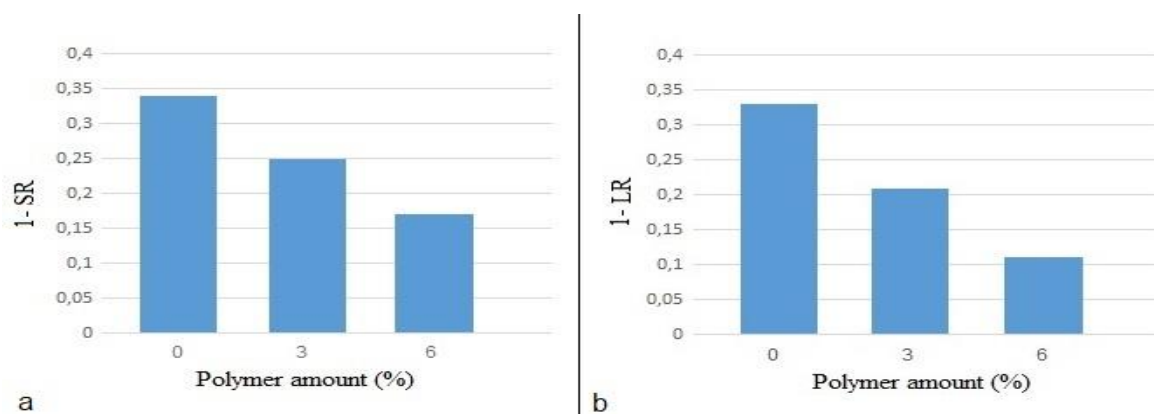


Figure 5. a) UCS losses after thermal cycles, b) decreases in the pull-out test results after thermal cycles

## 5. Discussion

From the various point of views, their high brittleness can be assessed as the most important disadvantage of ordinary cement grout mixes. The brittle characteristics causes an immediate loss of the bearing capacity as the maximum load is achieved. With an increase in the cement grout material ductility, energy absorption capacities of rock bolts increase under both static and dynamic load conditions (Li, 2017; Komurlu et al. 2017; Komurlu and Kesimal, 2017; An and Lee, 2016). Their high brittleness property also causes the poor thermal resistivity of ordinary cement grout materials. Because the crack propagation resistivities of the brittle materials are quite poor, they are easily disintegrated owing to the thermal strain cycles. Polymeric additives are popular to improve crack propagation resistivity, ductility and energy absorption capacity of cementitious materials. Use of polymer additives can also improve the resistivity of cementitious mixes against thermal strains (Yaragal and Ramanjaneyulu, 2016; Yaragal et al., 2015; Marthong, 2019).

As confirmed by results of this study, thermal cycles caused decreases in the strength values owing to the microcracks which are induced and grown while the thermal cycles. The thermal strains can make significant damages as it is a well-known property of the brittle cementitious materials (Heidari-Rarani et al., 2014; Khan et al., 2020; Shang and Lu, 2014; Kaya et al., 2016; Keskin et al., 2017). Since the main reason for the increase in the ductility is the improvement in the crack propagation resistivity, it is an estimated result to have an improvement against the repeated strains of thermal cycles with an increase in the ductility (Groeneveld et al. 2018; Das et al., 2020; Komurlu, 2018). In a study carried out by Komurlu (2020), the same thermoset polymer additive with that used in this study was investigated to determine its effect on the ductility of the cement grouts and it was reported that the additive notably improves the ductility and the energy absorption capacities of the grout mixes.

Because mechanical properties of polymer materials vary within a high range, a product should be individually and carefully investigated to assess about its usability (Korey et al., 2020; Komurlu and Kesimal, 2015b; Komurlu and Kesimal, 2016). Depending on the production details, same type polymer materials can exhibit significant variations in their strength values. Therefore, self-properties of a product should be examined instead of considering typical mechanical property values of a polymer material. Within further analyses, different thermosets can be investigated for the aim of making better strength properties of cement grouts. The material properties of candidate thermosets should be known before the investigation of usage to foresee an undesired result. For instance, some of the sealants like acrylic based thermoset products have a disadvantage of deterioration in contact with water during polymerization reactions (Jiang et al., 2019).

The resin product to be added into the grout must have the ability to polymerize in contact with water. There are various thermoset materials that require water for polymerization, such materials can be preferred in rock bolt grouting works. The polymerization time should also be preferred in accordance with the application details. Before injection into the hole, products that solidify very early should not be preferred.

The liquid phase time can be chosen according to the type of product. The thermoset resin materials used in this study are activated within 5 minutes. As a result of polymerization, the liquid ingredient(s) become(s) a solid phase polymer. There are three stages of the resin polymerization. The first one is cream time; at this stage, polymerization does not start to work, and the mixture is in liquid form. The liquid additive should be mixed well in the cement grout before the end of the cream time. By the end of this time, the gel time and polymerization start. In the gel time, the polymerization starts and the mix is still groutable into the drill holes. However, the viscosity increases as the duration passes in the gel time. The third stage is called as the tack free time. In that time, the material completely solidifies and the polymerization ends. Therefore, the maximum mechanical strength is

reached at the end of the tack free time varying between 18 h and 24 h for most of the thermosets (Tsangouri et al., 2015; Komurlu, 2021b). The longest polymerization stage is the tack-free time.

The viscosity of the cement grout materials is another important point for the assessment of the usability for a relevant engineering work. The viscosity of the fresh cement grout mixes was found to increase with an increase in the amount of the polymer additive used in this study. In a work carried out by Komurlu (2020), various tests were performed to determine effect of 3.5% and 7.0% same modified silicone type thermoset additive on the workability of the cement grout mixes in detail. Although it was reported that the polymer additive makes increases in the viscosity of cement grouts, 3.5% PMS additive was assessed not enough high to prevent the grouting applications by standard equipments used in a mine. On the other hand, 7% additive amount was found to need modified equipments for its systematic use and not practical for grouting in the study by Komurlu (Komurlu, 2020). In case of having a tolerable increase in the viscosity, an advantage to prevent the grout to flow down especially from the holes drilled at the roof can be supplied by the use of the polymer additive. Generally, relatively low water contents are used to prevent the grout flowing out of the hole. When it is necessary to reduce the water/cement ratio below 0.35 by mass to increase the viscosity, strength losses occur in the grout applications. In such cases, it may be possible to increase the water content to make no strength decrease resulting from the low water content, by using a resin thermoset additive. In other words, it is not necessary to excessively reduce the water-cement ratio to increase the viscosity by the use of the PMS resin.

In this study, repeated thermal shocks in water were applied to investigate whether the thermoset type PMS polymer additive improves the load bearing capacities of grouted bolt specimens exposed to the temperature changes. Because the heating-cooling cycles in water are more affective instead of those in air, the water medium was preferred to speed up the influence of the thermal cycles (Komurlu, 2019; Lee et al., 2008). The PMS polymer added cement mixes were assessed to have higher load bearing capacities than those without the polymeric additive. Although it is not effective in case of no temperature change, the thermal resistivity was found to be notably bettered by using PMS polymer additive in the mix. Since the loss in the strength values is significantly limited by the increase in the polymer additive amount, it is possible to obtain higher load bearing capacity values from pull-out tests of 6% polymer added specimens compared to those with 3% additive under further thermal cycles.

To deal about costs, it can be noted that the price of the additive used in this study is about 4 USD/kg. As an example for its cost, approximately 4.5 kg grout is filled in a typical drill hole of a rock bolt with a length of 3 m. The polymer additive cost is about 0.54 USD per a bolt in case of using 3% polymer additive. In first, the cost may seem a bit high considering the rock bolts number in a project. However, the additive can be usable depending on the engineering aims. The thermal resistivity is a quite important property for long-term service life times of various engineering constructions and mining openings. Economy and safety should be considered together in engineering designs. However, when a choice has to be made between them, the most important consideration in engineering designs is the safety. For this reason, the use of special materials is beneficial when it is necessary. Choosing right materials supply economical solutions by eliminating the need for repair costs.

Although ordinary cement grouts are widely used in rock bolt applications, it has some lacks to be improved by using new additives. In addition to thermoset polymers, other extra additives that can be used in the cement grout can be investigated in further analyses on the use of various hybrid grout mixes. To have novel solutions in support practices, new polymeric materials and their composites should be investigated in comparison with other engineering polymers in use for making even better effects on support performances. The success in today's rock bolting applications is a result of many developments in different scientific disciplines and material technology. Therefore, rock engineers should follow the developments in the polymeric materials which are candidates to be used in civil and mining engineering practices.

This study investigated the thermal resistivity property. Other issues like creep effect, fatigue effect and etc. can be investigated for further studies on the PMS additive usability. As previously stated, the PMS additive is known to improve the ductility and crack propagation resistivity of the grout mixes. New studies on different issues will be highly beneficial to better understand the PMS added grout performances in the rock bolting applications. For instance, the ductility property in the support reactions is a key factor to combat different problems like clay swelling, rock squeezing or rock bursting (Hao et al., 2020; Dai et al., 2020; Wu et al., 2019). Because of increasing ductility, energy absorption capacity of the rock bolts can be improved. Resin added cement grouts can be used for special bolts like those designed for the rock burst. In deep mining applications, many challenges have been faced concerning the use of new rock bolts. The cone bolt developed to combat rock burst problems in deep mines is a bolt type with expanding front ends for a better anchoring performance in the grout. The cone bolts used since 1990s have a simple design with an expanded front end which can make ploughing in the grout and improve deformation limits while supplying significant load bearing capacities. In a study carried by Komurlu (2022), a

similar resin polymer was investigated to assess its usability in the cement grout mixes to improve the energy absorption capacities of the cone bolts, and a notable increase in the energy absorption capacity was obtained due to the new additive use. It should be reminded herein that new materials supply new solutions in engineering, and many progressions in the rock engineering have been reached as a result of new material choices.

## 6. Conclusion

In this study, a new grout mix with the PMS type thermoset resin additive has been investigated for its use in rock bolt applications. To make a conclusion, it can be noted that the thermal resistivity of the cement grouts was assessed to be improved by using the PMS type thermoset polymer additive. To extend service life times of cement grouted rock bolts exposed to the temperature changes, the PMS resin polymer additive was found to be usable according to the results of this study. The new grout additive was found to have a good potential to become more popular in rock bolting practices of civil and mining engineering works. Especially, it is recommended to use PMS additives for rock bolts where daily temperature changes are high.

## Acknowledgement

This study was orally presented in ROCKMEC'2022 symposium.

## Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

## References

- An, H.S., Lee, S.D., 2016. Reinforcing effects of bolting in jointed rock mass. *International Journal of Geo-Engineering*, 7, paper no: 10. <https://doi.org/10.1186/s40703-016-0024-9>
- ASTM, 2019. ASTM C780-19: Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry. ASTM International, West Conshohocken, PA
- ASTM, 2020. ASTM C143/C143M-20: Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA
- Batugin, A., Wang, Z., Su, Z., Sidikovna, S.S., 2021. Combined support mechanism of rock bolts and anchor cables for adjacent roadways in the external staggered split-level panel layout. *International Journal of Coal Science and Technology*, 8, 659–673. <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00399-w>
- Chen, Y., 2014. Experimental study and stress analysis of rock bolt anchorage performance. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6(5), 428-437. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.06.002>
- Chen, Y., Wen, G., Hu, J. 2020. Analysis of Deformation Characteristics of Fully Grouted Rock Bolts Under Pull-and-Shear Loading. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 53, 2981–2993. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02108-0>
- Chen, J., Liu, P., Zhao, H., Zhang, C., Zhang, J., 2021. Analytical studying the axial performance of fully encapsulated rock bolts. *Engineering Failure Analysis*, 128, 105580. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105580>.
- Cui, S., Liu, P., Li, Z., Xu, X., Ju, J.W., 2020. Shotcrete performance-loss due to seepage and temperature coupling in cold-region tunnels. *Construction and Building Materials*, 246, 118488. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118488>
- Dai, L., Pan, Y., Wang, A., Xiao, Y., Ma, X., 2020. Experimental Study on the Self-Protection Performance of Anchor Bolts with Energy-Absorbing Tails. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 53, 2249–2263. <https://doi.org/10.1007/s00603-019-01990-7>
- Das, A., Bhuyan, M.R., Khattak, M.J., Zhang, Q., 2020. Mitigating reflective cracking in composite pavements through the use of a ductile concrete interlayer. *Construction and Building Materials*, 259, 120383. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120383>
- Groeneveld, A.B., Ahlborna, T.M., Crane, C.K., Burchfield, C.A., Landis, E.N., 2018. Dynamic strength and ductility of ultra-high performance concrete with flow-induced fiber alignment. *International Journal of Impact Engineering*, 111, 37-45. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2017.08.009>
- Guo, Q., Pan, J., Wang, M., Cai, M., Xi, X., 2019. Corrosive Environment Assessment and Corrosion-Induced Rockbolt Failure Analysis in a Coastal Underground Mine. *International Journal of Corrosion*, vol. 2019, Article ID 2105842. <https://doi.org/10.1155/2019/2105842>
- Hao, Y., Wu, Y., Ranjith, P.G., Zhang, K., Hao, G., Teng, Y., 2020. A novel energy-absorbing rock bolt with high constant working resistance and long elongation: Principle and static pull-out test. *Construction and Building Materials*, 243, 118231. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118231>.
- Heidari-Rarani, M., Aliha, M.R.M., Shokrieh, M.M., Ayatollahi, M.R., 2014. Mechanical durability of an optimized polymer concrete under various thermal cyclic loadings – An experimental study. *Construction and Building Materials*, 64, 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.031>
- Jena, T., Panda, K.C., 2018. Mechanical and durability properties of marine concrete using fly ash and silpozz. *Advances in Concrete Constructions*, 6(1), 47-68. <http://dx.doi.org/10.12989/acc.2018.6.1.047>
- Jiang, B., Oh, K.H., Kim, S.Y., He, X., Oh, S.K., 2019. Technical evaluation method for physical property changes due to environmental degradation of grout-injection repair materials for water-leakage cracks. *Applied Sciences*, 9(9), 1740. <https://doi.org/10.3390/app9091740>

- Kahandawa, R., Domingo, N., Chawynski, G., Uma, S.R., 2021. Factors impacting post-earthquake damage repair cost estimations. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 12, 29-49. <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-10-2019-0071>
- Kang, H., Yang, J., Gao, F., Li, J., 2020. Experimental Study on the Mechanical Behavior of Rock Bolts Subjected to Complex Static and Dynamic Loads. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 53, 4993-5004. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02205-0>
- Kaya, T., Yazıcıoğlu, S., Çerçevik, A.E., 2016. Kaplamalı beton basınç dayanımına donma-çözülmenin etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 4 (2), 59-65. doi: 10.21923/jesd.12497
- Keskin, S. N. , Sungur, A. , Akan, R., Uzundurukan, S., 2017. İnce daneli zeminlerde katkı maddelerinin ve donma-çözülme çevriminin serbest basınç dayanımına etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 473-478. doi: 10.21923/jesd.321924
- Khan, M.S., Almutairi, S., Abbas, H., 2020. Mechanical properties of concrete subjected to cyclic thermal loading. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1080/19648189.2020.1782771>
- Kim, H., Rehman, H., Ali, W., Naji, A.M., Kim, J.-j., Kim, J., Yoo, H., 2019. Classification of Factors Affecting the Performance of Fully Grouted Rock Bolts with Empirical Classification Systems. *Applied Sciences*, 2019, 9, 4781. <https://doi.org/10.3390/app9224781>
- Knox, G., Hadjigeorgiou, J., 2022. Influence of Testing Configuration on the Performance of Paddled Energy-Absorbing Rockbolts Under Impact Loading. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 55, 5705-5721. <https://doi.org/10.1007/s00603-022-02945-1>
- Komurlu, E., 2018. Loading rate conditions and specimen size effect on strength and deformability of rock materials under uniaxial compression. *International Journal of Geo-Engineering*, 9, paper no: 17. <https://doi.org/10.1186/s40703-018-0085-z>
- Komurlu, E., 2019. Thermal stress effect on strength loss properties of rock materials: an experimental study on thermal fatigue resistivity. *Journal of Natural Hazards and Environment*, 5, 124-133. <https://doi.org/10.21324/dacd.439006>
- Komurlu, E., 2020. An investigation of using thermoset polymer type liquid additives to improve cement grout performances in rock bolting applications. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*. 6, no: 52. <https://doi.org/10.1007/s40891-020-00236-9>
- Komurlu, E., 2021a. Improving performances of friction rock bolts by using new spring plates. *Scientific Mining Journal*, Vol. 60, 131-135. <https://doi.org/10.30797/madencilik.900175>
- Komurlu, E., 2021b. Use of Polymeric Energy Absorption Liners to Improve the Concrete Rock Fall Barriers. *Geoscience Engineering*, Vol. 67, 168-175. <https://doi.org/10.35180/gse-2021-0062>
- Komurlu, E., 2022. Improving support performances of cone bolts by a new grout additive and energy absorber. *Advances in Materials Research*, 11, 237-250. <https://doi.org/10.12989/amr.2022.11.3.237>
- Komurlu, E., Kesimal, A., 2013. Tunnelling and Support Materials from Past to Present. *Scientific Mining Journal*, 52, 33-47.
- Komurlu, E., Kesimal, A., 2015a. An experimental study on polyurethane foam reinforced soil use as rock-like material. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 7(5), 566-572. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.05.004>
- Komurlu, E., Kesimal, A., 2015b. Improved performance of rock bolts using sprayed polyurea coating. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 48, 2179-2182. <https://doi.org/10.1007/s00603-014-0696-4>
- Komurlu, E., Kesimal, A., 2016. An experimental study on reinforcing rock columns using polymeric heated ties. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49, 1995-2003. <https://doi.org/10.1007/s00603-015-0801-3>
- Komurlu, E., Kesimal, A., 2017. Experimental study on usability of friction rock bolts with plastic body. *International Journal of Geomechanics*, 17(9), 04017058. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0000960](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000960)
- Komurlu, E., Kesimal, A., Aksoy, C.O., 2017. Use of polyamide-6 type engineering polymer as grouted rock bolt material. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 3, 37, <https://doi.org/10.1007/s40891-017-0114-6>
- Korey, M., Johnson, A., Webb, W., Diertenberger, M., Youngblood, J., Howarter, J., 2020. Tannic acid based pre-polymer systems for enhanced intumescence in epoxy thermosets. *Green Materials*, 8, 150-161. <https://doi.org/10.1680/jgrma.19.00061>
- Kovari, K., 2003a, History of the sprayed concrete lining method-part I: milestones up to the 1960s, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 18: 57-69. [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(03\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(03)00005-1)
- Kovari, K., 2003b, History of the sprayed concrete lining method-part II: milestones up to the 1960s. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 18, 71-83. [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(03\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(03)00006-3)
- Lee, M., Basu, D., 2018. An Integrated Approach for Resilience and Sustainability in Geotechnical Engineering. *Indian Geotechnical Journal*, 48, 207-234 (2018). <https://doi.org/10.1007/s40098-018-0297-3>
- Lee, J., Xi, Y., Willam, K. 2008. Properties of concrete after high-temperature heating and cooling. *ACI Materials Journal*, 105(4), 334-341. <https://doi.org/10.14359/19894>
- Li, C.C., 2017. Principles of rockbolting design. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9, 396-414. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.04.002>
- Liu, S., He, D., Jia, H., Fu, M., Hou, B., 2022. Anchoring eccentricity features and rectifying devices for resin grouted bolt/cable bolt, *International Journal of Mining Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2022.08.006>
- Magalhães, S., Alves, L., Medronho, B., Fonseca, A.C., Romano, A., Coelho, J.F.J., Norgren, M., 2019. Brief overview on bio-based adhesives and sealants. *Polymers*, 11(10), 1685. <https://doi.org/10.3390/polym11101685>
- Marthong, C., 2019. Effect of waste cement bag fibers on the mechanical strength of concrete. *Advances in Materials Research*, 8(2), 103-115. <http://dx.doi.org/10.12989/amr.2019.8.2.103>
- Owen, M.J., 2017. Silicone hydrophobicity and oleophilicity. *Silicon*, 9, 651-655. <https://doi.org/10.1007/s12633-014-9188-0>
- Shang, X., Lu, Z., 2014. Impact of high temperature on the compressive strength of ECC. *Advances in Materials Science and Engineering*, 919078. <https://doi.org/10.1155/2014/919078>
- Teymen, A., Kılıç, A., 2018. Effect of grout strength on the stress distribution (tensile) of fully-grouted rockbolts. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 77, 280-287. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.04.022>



- Tsangouri, E., Aggelis, D., Hemelrijck, D.V., 2015. Quantifying thermoset polymers healing efficiency: A systematic review of mechanical testing. *Progress in Polymer Science*, 49–50, 154–174. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2015.06.002>.
- Wang, H., Li, S., Wang, Q., Wang, D., Li, W., Liu, P., Li, X., Chen, Y., 2019. Investigating the supporting effect of rock bolts in varying anchoring methods in a tunnel. *Geomechanics and Engineering*, 19(6), 485–498. <http://dx.doi.org/10.12989/gae.2019.19.6.485>
- Wang, B., Yu, W., Chen, Z., 2022. Effect of anchor plate on the mechanical behavior of prestressed rock bolt used in squeezing large deformation tunnel. *Acta Geotechnica*, 17, 3591–3611. <https://doi.org/10.1007/s11440-022-01460-5>
- Wu, X., Jiang, Y., Wang, G., Gong, B., Guan, Z., Deng, T., 2019. Performance of a New Yielding Rock Bolt Under Pull and Shear Loading Conditions. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52, 3401–3412. <https://doi.org/10.1007/s00603-019-01779-8>
- Yan, S., Song, Y., Bai, J., Elmo, D., 2019. A Study on the Failure of Resin End-Anchored Rockbolts Subjected to Tensile Load. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52, 1917–1930. <https://doi.org/10.1007/s00603-018-1663-2>
- Yaragal, S.C., Ramanjaneyulu, S., 2016. Exposure to elevated temperatures and cooled under different regimes—a study on polypropylene concrete. *Advances in Materials Research*, 5(1), 21–34. <http://dx.doi.org/10.12989/amr.2016.5.1.021>
- Yaragal, S.C., Warriar, J., Podila, R., 2015. Strength loss contributions during stages of heating, retention and cooling regimes for concretes. *Advances in Materials Research*, 4(1), 13–22. <http://dx.doi.org/10.12989/amr.2015.4.2.013>
- Zander, L., Peng, J., 2018. New silane-terminated polymers for sealants and adhesives. *Adhesion Adhesives and Sealants*, 15, 20–23. <https://doi.org/10.1007/s35784-018-0014-8>
- Zhao, Z., Gao, X., Tan, Y., Ma, Q., 2018. Theoretical and numerical study on reinforcing effect of rock-bolt through composite soft rock-mass. *Journal of Central South University*, 25, 2512–2522. <https://doi.org/10.1007/s11771-018-3932-3>



## SİLİKON YAĞI AKIŞKANININ FARKLI ORTAM SICAKLIKLARINDA YÜZEY GERİLİMLİ KONVEKSİYON AKIŞ HAREKETLERİNİN İNCELENMESİ

ELA KATI SUNAY<sup>1\*</sup>, RAMAZAN SELVER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye.

### Anahtar Kelimeler

*Silikon Akışkanı,  
Viskozite,  
Yüzey Gerilimi,  
Yarı-iletken,  
Yerçekimi.*

### Özet

Hayatımızın hemen hemen her alanında kullandığımız elektronik ürünlerin ana maddesi, yarı iletken adı verilen malzemelerdir. Bu nedenle yarı-iletkenlerin üretim kalitesi önem arz etmektedir. Yüzey gerilimli konveksiyon ile elde edilen kristalin yapısı; yarı iletkenler için en mükemmel kristal yapıdır. Yapmış olduğumuz çalışmada; 5 cSt kinematik viskoziteye sahip silikon akışkanı kullanılarak, dikdörtgen kap konfigürasyonu içerisinde yüzey gerilimli konveksiyon hareketi oluşturulmuştur. Bu yüzey gerilimli konveksiyon hareketi içerisinde yerçekimi vektörü nedeniyle oluşan doğal konveksiyonun etkilerini incelemek amacıyla 2 farklı ortam sıcaklığı ve iki farklı yerçekimi değeri (1g ve mikro yerçekimi değerlerinde) kullanılarak 4 ayrı numerik çözüm gerçekleştirilmiş ve bu çözümler içerisinde oluşan akım çizgileri incelenerek bir birleriyle karşılaştırılmıştır. Farklı ortam sıcaklıkları ve farklı yerçekimi vektörü şartlarında meydana gelen kombinasyonlar için gerçekleşen iki boyutlu konfigürasyonlar içerisinde, yüzey gerilim konveksiyonu yapan akışkanların akım hatlarında ve eş sıcaklık eğrilerinde farklılıkların meydana geldiği görülmüştür. Ortam sıcaklığı yükseldikçe tek hücreli vortex konveksiyonundan çift hücreli vortex konveksiyonuna geçiş eğilimi olduğu görülmüştür.

## INVESTIGATION OF SURFACE TENSION CONVECTION FLOW OF SILICONE OIL AT DIFFERENT AMBIENT TEMPERATURES

### Keywords

*Silicone Oil,  
Viscosity,  
Surface tension,  
Semiconductor,  
Gravity.*

### Abstract

The main material of electronic products that we use in almost every area of our lives are products called semiconductors. Therefore, the production quality of semiconductors is important. The crystalline structure obtained by surface tension convection; It is the most perfect crystal structure for semiconductors. In our study; Surface tension convection motion was created in a rectangular container configuration by using a silicon fluid with a kinematic viscosity of 5 cSt. In order to examine the effects of natural convection caused by the gravity vector in this surface tension convection, 4 different numerical solutions were performed using 2 different ambient temperatures and two different gravity values (at 1g and microgravity values), and the streamlines formed in these solutions were examined and compared with each other. It has been shown that there are differences in the flow lines and isotherms of the fluids that make surface tension convection within the two-dimensional configurations realized for the combinations occurring under different ambient temperatures and different gravity vector conditions. It has been observed that as the ambient temperature rises, it tends to shift from unicellular vortex convection to bicellular vortex convection.

### Alıntı / Cite

Katı Sunay E., Selver R., (2023). Silikon Yağı Akışkanının Farklı Ortam Sıcaklıklarında Yüzey Gerilimli Konveksiyon Akış Hareketlerinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 755-767.

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

E. Katı Sunay/ E. Katı Sunay, 0000-0002-4135-5241  
R. Selver/ R. Selver, 0000-0002-9239-8700

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	23.05.2022
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	28.02.2023
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	17.03.2023
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

\* İlgili yazar/Corresponding author: elakati@sdu.edu.tr

# INVESTIGATION OF SURFACE TENSION CONVECTION FLOW OF SILICONE OIL AT DIFFERENT AMBIENT TEMPERATURES

Ela KATI SUNAY<sup>1†</sup>, Ramazan SELVER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Isparta, Turkey

---

## Highlights

- Crystal structure obtained by surface tension convection
- It is the most perfect crystal structure for semiconductors.
- For this crystal structure, numerical analysis was investigated in different conditions in a rectangular container configuration using a silicon fluid with a surface tension convection action and a kinematic viscosity of 5 cSt.

---

## Purpose and Scope

The most important process affecting the quality of crystals forming semiconductor materials is mass and heat exchange, which is effective in the crystal development process. This effect; It is formed by natural convection and surface tension convection. Crystalline structure obtained by surface tension convection; It is the most perfect crystal structure obtained for semiconductor products. On the other hand, natural convection, which occurs with the effect of gravity vector, occurs in surface tension convection, negatively affecting the crystal quality. Therefore, studies in this field; concentrated on improving the crystal quality by reducing the negative effects of natural convection to low levels.

## Design/methodology/approach

In our study; Surface tension convection and natural convection of the silicone oil in the rectangular prism shaped container were investigated and investigated in two dimensions by numerical calculation. According to this situation; The state steady flow lines and isotherm lines of the surface tension convection of the fluid were investigated under low ( $\mu\text{g}$ ) and normal (1g) gravity and at different ambient temperatures where the experiment was performed. In cases where the gravity vector is normal  $9.81\text{m/s}^2$  and  $1.0 \times 10^{-6} \text{m/s}^2$ , 2 different configurations are selected by selecting cold wall temperature ( $T_c$ )  $15^\circ\text{C}$ , hot wall temperature ( $T_H$ )  $40^\circ\text{C}$  and room temperature ( $T_r$ ) 285 K and 330 K, respectively, created and solved numerically with the Boussinesq approach.

## Findings

In our study, the silicon fluid with a kinematic viscosity of 5cSt in the rectangular prism and the air above it; Surface tension convection and natural convection movements, streamlines and isotherm curves were investigated in two dimensions at different ambient temperatures and at two different gravity vector values and compared with each other. In comparison, surface tension convection was found to be more effective (dominant) than natural convection. As the ambient temperature increased, there was a trend towards a shift from unicellular vortex convection to bicellular vortex convection.

## Originality

The originality of our research is that it is an initial study for us and the researchers who do research on semiconductor materials that will come after us.

---

<sup>†</sup> Corresponding author: [elakati@sdu.edu.tr](mailto:elakati@sdu.edu.tr), +90-246-211-1249

## 1. Giriş (Introduction)

İnsanlık, varoluşundan itibaren yaşam kalitesini arttırmak amacıyla sürekli yeni arayışlar, buluşlar ve gelişmeler içerisinde bulunarak birçok önemli buluşa imza atmıştır. Bu buluşların en büyüğü, elektronik ürünlerin icadı sonucu dijital çağın ortaya çıkmasıyla görülmüştür. Bu elektronik ürünlerin ana ürünü, yarı-iletken adı verilen malzemelerdir. Yarı-iletkenler, teknolojinin her alanında kullanılmakta ve bu nedenle üretim kalitesi önem arz etmektedir. Günümüzde birçok araştırmacı, yarı iletken malzeme kalitesini arttırmaya yönelik çalışmalar yapmaktadır.

Yarı iletken malzemeleri oluşturan kristallerin kalitesini etkileyen en önemli süreç, kristal geliştirme sürecinde tesirli olan kütle ve ısı alışverişidir. Bu tesir; doğal konveksiyon ve yüzey gerilimli konveksiyon ile oluşmaktadır. Yüzey gerilimli konveksiyon ile elde edilen kristalin yapısı; yarı iletken ürünler için elde edilen en mükemmel kristal yapıdır. Buna karşılık yerçekimi vektörü etkisi ile ortaya çıkan doğal konveksiyon, yüzey gerilimli konveksiyon içerisinde ortaya çıkarak kristal kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle bu alandaki çalışmalar; doğal konveksiyonun olumsuz etkisini düşük seviyelere indirerek, kristal kalitesini yükseltmeye yoğunlaşmıştır. Yerçekimi vektörü nedeniyle oluşan doğal konveksiyonun olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla (numerik ve deneysel olarak) mikro yerçekimi şartlarında çalışmalar yapılmaktadır.

Yapmış olduğumuz çalışmada; 5 cSt kinematik viskoziteye sahip silikon akışkanı kullanılarak, dikdörtgenler prizması şeklindeki kap içerisinde yüzey gerilimli konveksiyon gerçekleştirilmiştir. Bu yüzey gerilimli konveksiyon içerisinde yerçekimi vektörü ile oluşan doğal konveksiyonun etkilerini incelemek amacıyla 2 farklı ortam sıcaklığı ve iki farklı yerçekimi şartlarında (1g ve mikro g şartlarında) 4 ayrı numerik çözüm gerçekleştirilmiş ve bu konfigürasyonlar içerisinde oluşan akım çizgileri incelenerek bir birleriyle karşılaştırılmıştır. Kaynaklar kısmında, bizi aydınlatan çalışmalardan bahsedilmiş ve kendi çalışmamızın farkı belirtilmiştir. Araştırma bulguları bölümünde deney kabı içerisinde oluşan akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri şekillerle gösterilmiş ve açıklanmıştır. Sonuç ve tartışma bölümünde ise elde edilen verilerin değerlendirilmesi yapılmış ve bir sonraki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

- Ostrach (1977; 1979; 1982) kararlı haldeki yüzey gerilimli akış hareketini inceleyen ilk araştırmacılardan biridir. Çalışmalarında matematiksel olarak, değişik koşullar altında incelemeler yapmıştır. Bu çalışmalar altında, sıcaklık ve viskozite eğimlerinin birbirleri ile ilişkili olarak bir arada bulunduğu durumdaki yüzey gerilimli konveksiyonlu akış alanını açıklamak amacıyla, uygun boyutsuz parametreleri kullanmış ve diğer başka araştırmacılara da bu parametrelerin kullanılmasını tavsiyede bulunmuştur. Ayrıca mikro seviyedeki yerçekimine sahip olan mekânlarda yüzey gerilimli konveksiyon hareketlerini inceleyerek uzay çalışmalarının önemini dile getirmiştir.
- Zeng vd. (1999) tarafından yapılan numerik çalışmada, akışkan olarak silikon akışkanının kullanıldığı yarım yüzen bölge konfigürasyonunda, boyutsal orana bağlı olarak osilasyonun radyal frekansının değiştiği ortaya konulmuştur.
- Lai (2004) yapmış olduğu çalışmada, dikdörtgen kap konfigürasyonu içerisinde osilasyonlu yüzey gerilimli konveksiyon yapan yüksek Prandtl sayısındaki akışkanın akış hareketine, akışkanlar mekaniğindeki süreklilik, N-S ve enerji denklemlerindeki boyutsuz parametrelerden her birinin ayrı ayrı etki ettiğini ortaya koymuştur.
- Selver (2005), yüzey gerilimli konveksiyon içerisinde gelişen doğal konveksiyonun etkilerini minimize etmek amacıyla ısıtıcı yüzeyin üst tarafta soğutucu yüzeyin alt tarafta bulunduğu "yarım yüzen bölge" konfigürasyonu ile değişik parametreler altında elde edilen kritik Marangoni sayısı değerlerini araştırmıştır.
- Wang vd. (2008), yarım yüzen bölge konfigürasyonu içerisindeki yüksek Prandtl sayısına sahip akışkanın serbest yüzeyinde oluşan ısı transferinin, osilasyonun ortaya çıkması üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu belirterek, yarım yüzen bölge konfigürasyonunun üstten ve alttan ısıtılması durumlarındaki hava akış değişimlerini numerik ve deneysel olarak ayrı ayrı incelemişlerdir.
- Selver ve Katı (2009a,b) tarafından yapılmış çalışmalarda, Prandtl sayısı yüksek olan akışkanın dikdörtgenler prizması şeklindeki deney kabı içerisindeki yüzey gerilim konveksiyonları araştırılmıştır. 5 cSt kinematik viskoziteye sahip silikon yağı kullanılan bu çalışmalarda akışkan serbest yüzeyinden çevreye ısı transferinin olmadığı durum için iki farklı yerçekimi vektörleri ile yüzey gerilim konveksiyonun hız vektörleri akışkanın serbest yüzeyindeki hız ve sıcaklık eğrileri nümerik çözümlü 2 boyutlu olarak incelenmiştir.
- Hashim vd. (2009) yapmış oldukları numerik çalışmada, yarım yüzen bölge konfigürasyonunda alt duvarın ısıtıcı üst duvarın soğutucu duvar olduğu durumda, akışkanın sıvı serbest yüzeyinde bir ısı

artırımı yapıldığında kararlı haldeki yüzey gerilim konveksiyon hareketindeki stabilitenin daha dengeli olduğunu ortaya koymuşlardır.

- Selver vd. (2010) tarafından yapılmış olan başka bir çalışmada ise dikdörtgenler prizması şeklindeki kap içerisine konulan yüksek Prandtl sayısına sahip silikon akışkanı, serbest yüzeyi ile temaslı kare kesitli ince bir tel ile ısıtılarak yüzey gerilim konveksiyonu oluşturulmuştur. Oluşturulan deney kabının eşsıcaklık eğrileri ve akım hatları, 2 farklı yer çekimi vektörü değeri için numerik olarak hesaplatılmış ve değerler bulunmuştur.
- Selver ve Katı (2011), dikdörtgenler prizması şeklindeki kap içerisindeki yüksek Prandtl sayısına sahip silikonun, farklı soğuk duvar sıcaklıkları altında zamandan bağımsız hareketten, osilasyonlu (zamana bağımlı) harekete geçişini deneysel olarak araştırmışlardır. Soğuk duvar sıcaklığının değişmesi durumunda, osilasyonun başlamasında etkili olan kritik sıcaklık farkının da değiştiğini gözlemlemişler ve bu değişimin sıvı serbest yüzeyindeki ısı kaybından kaynaklandığını ispatlamışlardır.
- Karabıyık (2015) yapmış olduğu çalışmada; dikdörtgenler prizması şeklindeki kap içerisinde iki farklı akışkanın (su ve silikon akışkanı)  $g=9,81 \text{ m/s}^2$  yerçekimi vektörü altında, yüzey gerilimli konveksiyon ve doğal konveksiyondan meydana gelen sirkülasyonların akış çizgilerini, eşsıcaklık eğrilerini ve hız vektörlerini farklı boyutsal oranlarda numerik olarak karşılaştırmıştır. Araştırmasında; büyük boyutsal oranda konfigürasyon içerisinde her iki akışkan içinde tek hücreli sirkülasyon gerçekleşirken, küçük boyutsal oranda suyun çok hücreli bir sirkülasyon oluşturduğunun sonucuna ulaşmıştır.
- Mielniczuk vd. (2018) yapmış oldukları çalışmada, yüzen bölge konfigürasyonu içerisindeki kılcal etkileşimleri analitik model kullanarak analiz etmişlerdir. Yerçekiminin konfigürasyona olumsuz etki ettiğini (simetri kaybı) gözlemlemişler ve bu deformasyondan kaçınmak için mikro-yerçekimi koşullarında da testler yapmışlardır. Bu testlerde; normal yer çekimi koşullarındaki deney sonuçlarına göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.
- Nguyen vd. (2020) yapmış oldukları çalışma ile yüzen bölge konfigürasyonunu kullanarak tek dağılımlı küresel parçacıklar arasındaki kılcal köprülerden bir sıvının yüzey gerilimini ölçmek için özgün bir yaklaşım sunmuşlardır. Kullandıkları bu yöntem, Young-Laplace'ın kesin analitik çözümüne dayanmaktadır. Önerilen yaklaşımın doğruluğu ve etkinliği, silikon yağı, hint yağı ve saf olmayan suyun yüzey gerilimlerinin ölçülmesiyle kanıtlanmıştır. Geliştirilen kılcal köprü yöntemi, sadece küçük bir hacim gerektiren tüm sıvılara yüksek doğrulukla uygulanabilmektedir.
- Mendis vd. (2021) yapmış oldukları çalışma ile soğuk yüzeyin üst ve sıcak yüzeyin alt tarafta olduğu "yarım yüzen bölge konfigürasyonunu" kullanarak, Si-Ge akışkanı için farklı boyutsal oranlarda ve sıfıra yakın yerçekimi etkisi altında üç boyutlu olarak yüzey gerilim konveksiyon hareketlerini incelemişlerdir. Boyutsal oranın akış hareketlerini büyük ölçüde etkilediği sonucuna ulaşmışlardır.
- Zhiyong vd. (2022) yapmış oldukları çalışma ile akış kuvveti, yüzey gerilimi kaynaklı akış olup bunların konsantrasyon seyreltmesi ile korelasyon rollerini incelemek için, 3D boyutunda ısı ve kütle transferi modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışma için yenilikler şu şekilde özetlenmiştir; geliştirilen sayısal modele kütle ilavesi dikkate alınarak eriyik havuzunun iç, dış, ve deneysel safhalarının analizi gerçekleştirilmiştir. Ardından, tahrik mekanizmasını anlamak için ana itici gücün sayısal bir açıklaması yapılmıştır. Gerilim kuvvetin ve termal gerilim kuvvetin konveksiyon akışı üzerindeki rolleri, daha sonra kaplama yolunun gelişimini incelemek için temel olarak analiz edilmiştir. Akış kuvvetinin temel anlayışına dayanarak, yüzey gerilimi kaynaklı akışın mekanizması niteliksel olarak araştırılmıştır. Yüzey gerilim konveksiyon hareketinin kütle transferi fenomenini derinlemesine anlamak için akışkan akışı ile çözünen seyreltme arasındaki özel ve yönlü korelasyon incelenmiştir.
- Haiting vd. (2022) yapmış oldukları çalışma ile Marangoni etkisi olan ve olmayan duvar damlacıklarının buharlaştırma işlemindeki ısı ve kütle transfer farklılıklarını karşılaştırmışlardır. Marangoni etkisinin altında ortam sıcaklığının ve ilk damlacık boyutunun buharlaşma üzerindeki etkisi de analiz edilmiştir. Buharlaşma sırasında Marangoni konveksiyonunun katkısı paralel olarak analiz edilmiştir. Marangoni etkisinin damlacık buharlaşma süreci üzerindeki etkisi ve farklı başlangıçtaki damlacık yarıçapı ve ortam sıcaklığının sıcaklık ve akış parametreleri üzerindeki etkileri, damlacık içindeki alanlar karşılaştırılmıştır. Bu araştırma ile Marangoni etkisi dikkate alınmadan damlacık hacminin 20 L ve damlacıktaki maksimum akış hızının 0,34 mm/s olduğu görülmüştür. Marangoni etkisi dikkate alındığında maksimum akış hızı yaklaşık 100 kat artmaktadır. Marangoni etkisinin, damlacıktaki konveksiyonun yön değiştirmesine ve o yönde akışın oluşmasına neden olabildiği görülmüştür.
- Billy-Joe vd. (2022) yapmış oldukları çalışma ile orta ölçekte eklemeli imalat ve kaynak bağlamında PFEM'in genel uygunluğunu göstermeyi amaçlamışlardır. Odak noktası, eriyik havuzunun evrimi, kaldırma kuvveti ve Marangoni etkisi gibi akışı yönlendiren fiziktir. Eklemeli imalatta PFEM kod geliştirmesinin bu aşamasında iki ana basitleştirme yapılmıştır. İlk olarak, katı malzeme, elasto-plastik bir katı kullanmak yerine, donma üzerine daha fazla deformasyonu önleyen momentum çökmesi terimine sahip bir akışkan ile değiştirilir. İkinci olarak, tüm simülasyonlar 2D düz gerilim varsayımını kullanır. Bu basitleştirmeler hem faz değişimini hem de eriyik havuzundaki konvektif akışları ve katıdaki artık

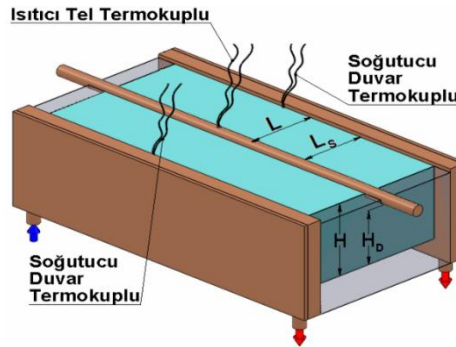
gerilmeleri 3 boyutlu olarak simüle edebilen bir simülasyon yöntemine ulaşmak için planlanmıştır. Yöntemin faz değişimi ve akışkan dinamiği ile simülasyonlara uygunluğunu göstermek için üç doğrulama testi durumu sunulmuş ve literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. PFEM'in bilinen sınır şartları, geleneksel FEM ile karşılaştırıldığında sık sık yeniden ağ oluşturma nedeniyle artan hesaplama maliyeti oluşturur. Ayrıca, sürekli değişen bağlantı ile çözme sürecinin paralel hale getirilmesi zordur ve mevcut koda dahil edilmemiştir. Bunun dışında, sınırlamalar geleneksel FEM'leri içerir.

Bu çalışmanın yeniliği, daha önce yalnızca bir kez yayınlanmış olan ve gizli ısının inceliklerine ve katıdan sıvıya geçişe sınırlı odaklanan faz değişimi için PFEM'nin kullanılmasında yatmaktadır. Eklemeli imalat ve kaynak gibi uygulamalar, faz geçişinin doğru oluşumuna karakteristik olarak duyarlıdır. Bu çalışma, gelecekteki eklemeli imalat ve kaynak uygulamalarının simülasyonu için doğrulama görevi görmüştür.

Yapmış olduğumuz bu çalışmada ise; dikdörtgen kap konfigürasyonu içerisine yerleştirilen silikon akışkanının, serbest yüzeyinin tam ortasından geçen ve serbest yüzeyi boyunca temas eden dairesel kesitli ince krom-nikel bir tel ile ortasından ısıtılması ve yan tarafların bakır duvarlar yardımıyla soğutulmasıyla oluşan yüzey gerilimli konveksiyon içerisindeki batmazlık etkisi, sıcaklık ve akım çizgileri; farklı yerçekimi vektörleri altında ve farklı ortam sıcaklıklarında numerik olarak ayrı ayrı incelenmiştir. Böylece akışkan serbest yüzeyi üzerinde oluşan ısı transferinin normal ve mikro yerçekimi vektörleri altında oluşan yüzey gerilimli konveksiyon ve doğal konveksiyon hareketlerine etkileri ortaya çıkartılmıştır.

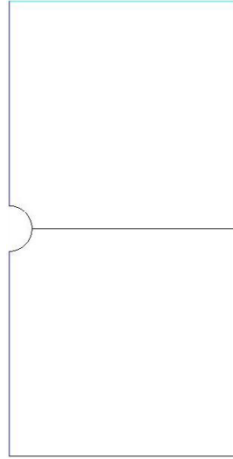
### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışmamızda; dikdörtgenler prizması şeklindeki kap içerisindeki silikon yağının yüzey gerilim konveksiyon hareketleri ve doğal konveksiyon hareketleri nümerik hesaplama ile iki boyutlu halde incelenmiş ve araştırılmıştır. Bu duruma göre; akışkanın yüzey gerilim konveksiyonunun zamandan bağımsız (kararlı) durumdaki akım hatları ve eş sıcaklık çizgileri, düşük ( $\mu g$ ) ve normal (1g) yerçekimi şartları altında ve farklı ortam sıcaklıklarında incelenmiştir. Şekil 1' de, kullanmış olduğumuz dikdörtgen kap konfigürasyonunun 3 boyutlu modeli görülmektedir.



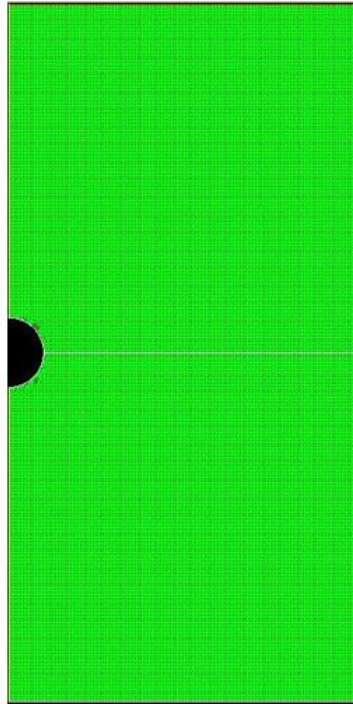
Şekil 1. Dikdörtgen kap konfigürasyonunun 3 boyutlu modeli (Kati, 2009)  
(3-D model of rectangular container configuration)

Çalışmamızda; 5 cSt'luk kinematik viskoziteye sahip silikon akışkanının Şekil 1' de görülen dikdörtgenler prizması şeklindeki kap içerisine konulduğu, akışkan serbest yüzeyinin tam ortasından geçen dairesel kesitli ince krom-nikel bir tel ile ısıtıldığı ve deney kabına ait yan bakır duvarlar yardımıyla yanlarından soğutulduğu konfigürasyon modellenmiştir. Numerik hesaplama için geometrik model oluşturulurken, deney kabı içerisindeki akışkanın serbest yüzeyinden deneyin yapıldığı ortama olan ısı kaybının da hesaba dahil edilmesi düşünülmüştür. Bu doğrultuda akışkan serbest yüzeyi üzerinde kalan, deney kabı boyutları kadarlık bir yüzey de geometrik modele dahil edilmiştir, bu durum Şekil 2'de görülmektedir.



**Şekil 2.** Dikdörtgen kap konfigürasyonunun iki boyutlu geometrik modeli (Katı Sunay, 2013)  
(Two-dimensional geometric model of rectangular container configuration)

Şekil 2’de görülen geometrik modelde; boyutsal oranın 1 ( $Ar=H/L=1$ , H yükseklik, L genişlik) olduğu durum için alttaki dörtgen konfigürasyonu, üstteki dörtgen ise konfigürasyon üzerindeki havayı oluşturmaktadır. Buna göre sınır şartları belirlenirken alttaki dörtgenin; tabanı izolasyonlu yüzey ve sol dikey yüzey simetri ekseni olup, sağ dikey yüzeyi soğutucu duvar yüzeyi ve bitişik iki dörtgen yüzey arasındaki yatay yüzey ise akışkan serbest yüzeyi olarak tanımlanmıştır. Üstteki dörtgenin sol dikey yüzeyi simetri çizgisi, sağ dikey yüzeyi hava girişi, üst yüzeyi hava çıkışı olup, akışkan ve hava ile temaslı olan yarım daire kesitli yüzey ise sıcak duvar çizgisi olarak tanımlanmıştır.



**Şekil 3.** Dikdörtgen kap konfigürasyonunun iki boyutlu geometrik modelindeki mesh yapısının görünümü (Katı Sunay, 2013)  
(View of the mesh structure in the 2-D geometric model of the rectangular container configuration)

Çalışmamızda kullanılan geometrik modelin mesh yapısı oluşturulurken, daha hassas sonuçlar elde edebilmek amacıyla mümkün olduğunca sık ve düzenli bir mesh yapısı oluşturulmaya çalışılmıştır. Ancak geometrik modelimizdeki ısıtıcı duvar kısmındaki dairesellikten dolayı, sadece ısıtıcı duvarın yüzey bölgesine yakın olan yerlerde non-uniform mesh sistemi kullanılmıştır. Bu durum örnek olarak Şekil 3’de görülmektedir.

Çalışmamızda deney akışkanı olarak kullanılan silikon akışkanının fiziksel özellikleri Tablo 1’de ve deneyin yapıldığı çevredeki çevre akışkanı olarak kullanılan havanın fiziksel özellikleri ise Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** 5 cSt viskoziteye sahip Silikon Akışkanının fiziksel özellikleri (Selver, 2005)  
(Physical properties of Silicone Oil with a viscosity of 5 cSt)

Özellik	Birimler	Değer
Yoğunluk ( $\rho$ )	Kg/m <sup>3</sup>	913
Termal Kondüksiyon Katsayısı (k)	W/m.K	0.1088568
Termal Difüzyon Katsayısı ( $\alpha$ )	m <sup>2</sup> /s	7.42x10 <sup>-8</sup>
Dinamik Viskozite ( $\mu$ )	Ns/ m <sup>2</sup>	4.4554x10 <sup>-3</sup>
Kinematik Viskozite ( $\nu$ )	m <sup>2</sup> /s	4.88 x10 <sup>-6</sup>
Yüzey Gerilim ( $\sigma$ )	N/m	19.7x10 <sup>-3</sup>
Yüzey Gerilim Sıcaklık Katsayısı $ \sigma_T $ , $ \partial\sigma/\partial T $	N/m.K	-0.0587x10 <sup>-3</sup>
Özgül Isı Kapasitesi ( $C_p$ )	J/Kg.K	1716.588
Isıl Genleşme Katsayısı ( $\beta$ )	1/K	0.00105
Prandtl Sayısı (Pr)		67
Akışkanın Kinematik Viskozitesinin Değişimi		
$\nu = 8.185 - 0.2T + 3.74 \times 10^{-3}T^2 - 4.865 \times 10^{-5}T^3 + 3.474 \times 10^{-7}T^4 - 9.76 \times 10^{-10}T^5$		

**Tablo 2.** Havanın fiziksel özellikleri (Çırak, 2009) (Physical properties of air)

Özellik	Değer	Birim
$\mu$ Dinamik viskozite	1.789 x 10 <sup>-5</sup>	kg/m.s
$\beta$ Isıl genleşme sabiti	3.43 x 10 <sup>-3</sup>	1/K
$c_p$ Özgül ısı sığası	1006.43	J/kg.K
k Isıl iletkenlik katsayısı	0.0242	W/m.K
$\rho$ Yoğunluk	1.225	kg/m <sup>3</sup>

Yapmış olduğumuz çözümlerlerde, akışkanın akış çesidi laminar seçilmiş olup, Süreklilik Denklemi, N-S Denklemleri ve Enerji denklemi SIMPLE (Semi - Implicit Method for Pressure - Linked Equations) algoritması kullanılmıştır. Çözümlemede, geometrik modeli oluşturan deney kabı içerisindeki akışkanın serbest yüzeyinin tamamen düz ve yatay konumda olduğu, sıvı serbest yüzeyi ile ortam arasında ısı alış-verişinin gerçekleştiği ve iki boyutlu geometrik modelin yüzeyleri ile çevre arasında radyasyon yolu ile ısı alış-verişinin gerçekleşmediği kabulleri yapılmıştır.

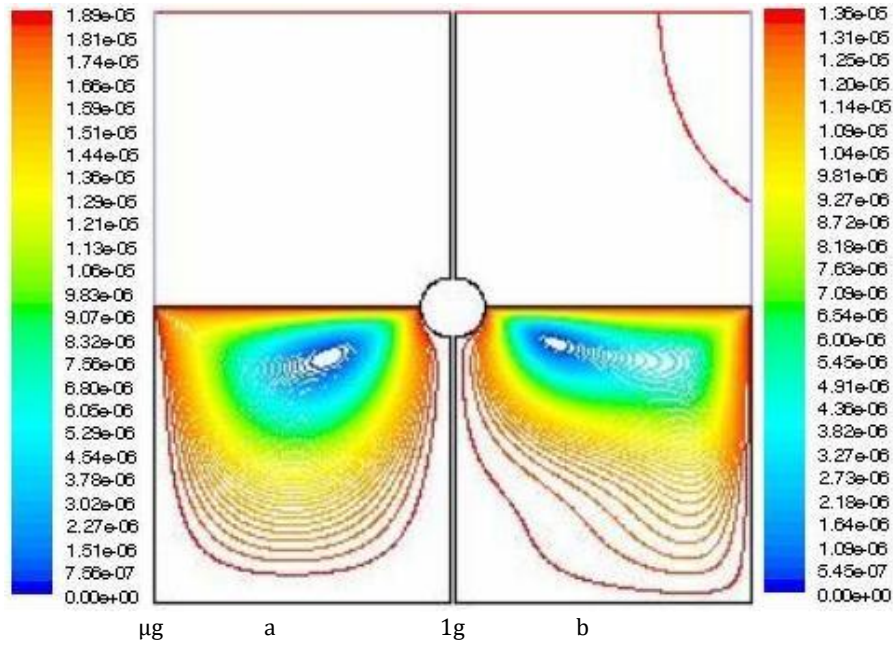
Çalışmamızda, öncelikle yerçekimi vektörünün normal 9.81m/s<sup>2</sup> olduğu durumda soğuk duvar sıcaklığı (T<sub>C</sub>) 15°C, sıcak duvar sıcaklığı (T<sub>H</sub>) 40 °C ve oda sıcaklığı değerleri (T<sub>r</sub>) sırasıyla 285 K ve 330 K seçilerek 2 farklı konfigürasyon oluşturulmuş ve Boussinesq yaklaşımı ile nümerik olarak çözdürülmüştür. Daha sonra aynı işlemler yerçekimi vektörünün 1.0x10<sup>-6</sup> m/s<sup>2</sup> (Micro Yerçekimi) olduğu durum için de tekrarlanmıştır. Böylece akışkanın kararlı yüzey gerilimli konveksiyon hareketi için 4 farklı nümerik çözüm elde edilmiştir.

#### 4. Nümerik Sonuçlar (Numerical Results)

Yapmış olduğumuz çalışmada, zamandan bağımsız (kararlı) yüzey gerilimli konveksiyonunun iyi bir şekilde anlaşılması için farklı nümerik çözümler gerçekleştirilmiştir. Bu çözümler sonucunda; 1g ve mikro g ( $\mu$ g) yerçekimi vektörleri altında, farklı ortam sıcaklıkları kullanılarak nümerik olarak 2 boyutlu halde oluşturulan deney modellemeleri içerisinde zamandan bağımsız (kararlı) olarak yüzey gerilimli konveksiyon hareketi yapan silikon akışkanının ve silikon akışkanı üzerindeki havanın akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmiştir.

Çalışmamızın 2 boyutlu geometrik modelini oluştururken, konfigürasyon içerisindeki akışkan serbest yüzeyi ile atmosfer arasında gerçekleşen ısı transferinin de hesaba katılması planlanmıştır. Bu amaçla akışkan serbest yüzeyi üzerinde kalan, konfigürasyon boyutları kadarlık bir alan da geometrik modele dahil edilmiştir ve bu durum Şekil 4'te gösterilmiştir. Buna göre Şekil 4.a ve 4.b' de; alt tarafta dörtgen prizma şeklindeki kap içerisindeki silikon akışkanı ve üst tarafta yine dörtgen prizma şeklindeki çevre havası birlikte çözdürülmüş olup; bu iki alandaki akım çizgileri birlikte gösterilmiştir.

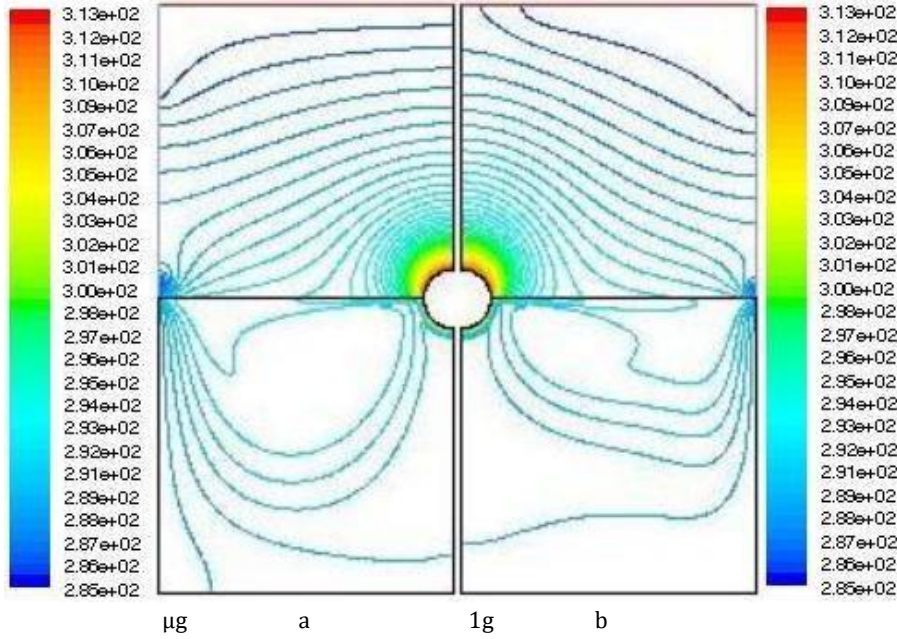




**Şekil 4.**  $Tr=285$  K iken yüzey gerilim konveksiyonu yapan silikon akışkanının ve silikon akışkanı üzerindeki havanın akım çizgileri görüntüsü a- Mikro yerçekimi vektörü altında b-  $1g$  yerçekimi vektörü altında  
(The flow streamlines view of the silicone oil and the air on the silicone oil making surface tension convection when  $Tr=285$  K a- Under micro gravity vector b- Under  $1g$  gravity vector)

Şekil 4.a 'da mikro yerçekimi vektörü altında, boyutsal oranın  $Ar=1$  ( $Ar=H/L=1$ ; H yükseklik, L genişlik) ve ortam sıcaklığının  $Tr=285$  K olduğu durumda yüzey gerilim konveksiyonu yapan akışkanın ve bu akışkan üzerindeki havanın akım çizgileri gösterilmektedir. Şekil 4.b' de ise normal ( $1g$ ) yerçekimi vektörü altında, boyutsal oranın  $Ar=1$  ve ortam sıcaklığının  $Tr=285$  K olduğu şartlarda yüzey gerilim konveksiyonu yapan akışkanın ve bu akışkan ile temaslı olan havanın akım çizgileri gösterilmektedir. Bu şekilde, mikro yerçekimi şartlarındaki hava hareketinin tamamen durgun ve hareketsiz olduğu gözlenmektedir.  $1g$  yerçekimi şartlarında ise akışkan hava ara yüzeyi bölgesindeki hava,  $\tau$  gerilimi etkisiyle akışkanın hareketi yönünde mikron kalınlığı mertebesinde hareket etmektedir. Bu hava hareketi, kalınlığının küçük olması nedeniyle Şekil 4.b' de görülmemektedir. Burada silikon akışkanı üzerindeki hava bölgesinin akım çizgileri, silikon bölgesindeki akım çizgilerinden daha azdır hatta hiç görünmeme durumu gözlemlenmektedir. Bunun nedeni ise silikon akışkanı üzerinden havaya olan ısı transferinin ve doğal konveksiyonun az olmasıdır.

Şekil 5' te boyutsal oranın  $Ar=1$  ve ortam sıcaklığının  $Tr= 285$  K olduğu deney kabında 2 farklı yerçekimi vektöründe yüzey gerilim konveksiyonu yapan silikon akışkanının ve silikon akışkanı üzerindeki havanın çizgisel eş sıcaklık eğrilerinin görüntüsü gösterilmektedir. Hava bölgesinde kondüksiyon yoluyla ısı transferinin etkin olmasından dolayı; düşük ve normal yerçekimi vektörleri altındaki eş sıcaklık eğrilerinde çok fazla farklılık görülmemektedir. Silikon akışkanı bölgesinde ise ortam sıcaklığının düşük yani  $Tr= 285$  K olmasından dolayı atmosfere olan ısı kaybı ile birlikte silikon içerisindeki ısı transferi, konveksiyon ve kondüksiyon yoluyla gerçekleşmektedir. Buradaki doğal konveksiyonun etkisinden dolayı normal ( $1g$ ) yerçekimi vektörü altındaki eş sıcaklık eğrileri ile mikro yerçekimi vektörü altındaki eş sıcaklık eğrileri karşılaştırıldığında çok bariz bir şekilde farklılıklar görülmüştür.

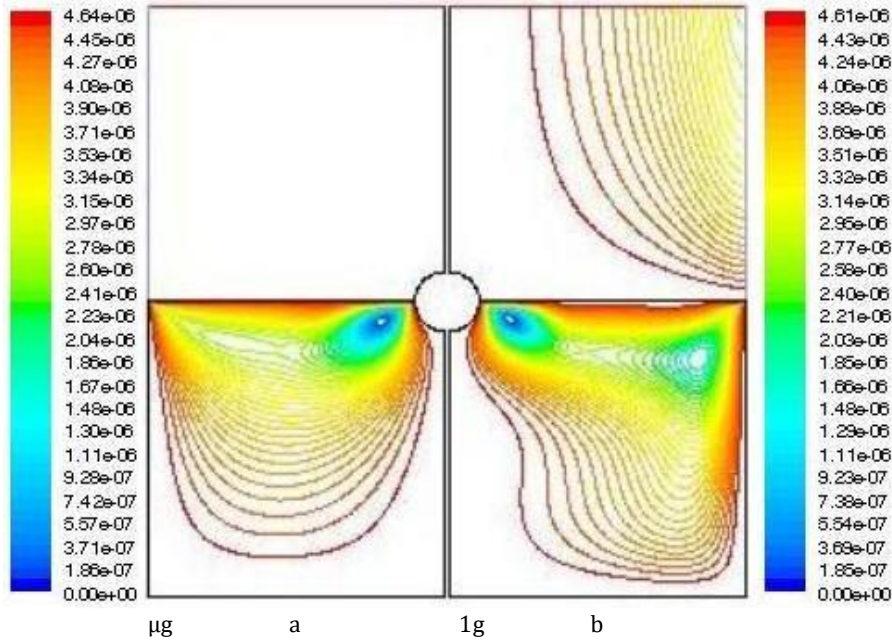


**Şekil 5.**  $T_r=285$  K iken yüzey gerilim konveksiyonu yapan silikon akışkanının ve silikon akışkanı üzerindeki havanın çizgisel eş sıcaklık eğrilerinin görüntüsü a- Mikro yerçekimi vektörü altında b- 1g yerçekimi vektörü altında  
(The shown of the isotherm values of the silicone oil and the air on the silicone oil making surface tension convection when  $T_r=285$  K a- Under micro gravity vector b- Under 1g gravity vector)

Çalışmamızda; ortam sıcaklığının farklı değerleri için yapılan numerik hesaplamalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir. En bariz farklılıklar ortam sıcaklığının  $T_r=330$  K olduğu çalışmalarda gözlemlenmiştir. Bu nedenle ortam sıcaklığının  $T_r=330$  K olduğu durum için yapılan numerik çözümlerden elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanacaktır.

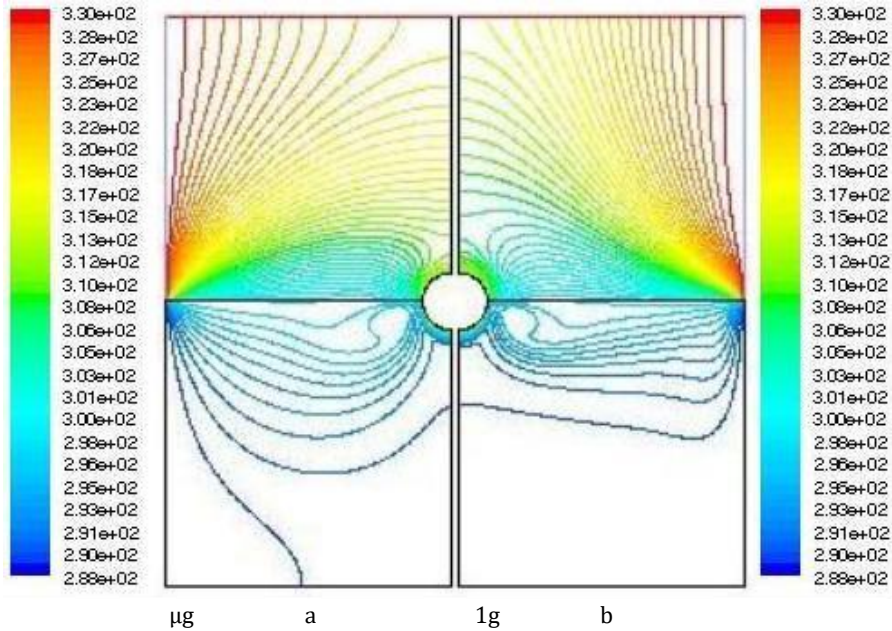
Şekil 6.a 'da mikro g yerçekimi vektörü altında, boyutsal oranın  $Ar=1$  ve ortam sıcaklığının  $T_r=330$  K olduğu şartlarda yüzey gerilim konveksiyonu yapan silikon akışkanının ve silikon akışkanı üzerindeki havanın akım çizgileri görülmektedir. Şekil 6.b' de ise 1g yerçekimi vektörü altında, boyutsal oranın 1 ve ortam sıcaklığının  $T_r=330$  K olduğu durumda yüzey gerilim konveksiyonu yapan silikon akışkanının ve silikon akışkanı üzerindeki havanın akım çizgileri görülmektedir. Şekil 6.a' da görülen mikro yerçekimi vektörü altındaki çözümde, akışkanın serbest yüzeyinden atmosfere olan ısı kaybının mümkün olduğunca az ve sadece kondüksiyon yoluyla olması nedeniyle silikon akışkanı içerisindeki akışkan partiküllerinin hareketi "Yüzey Gerilim Reynolds Sayısına ( $Re_\sigma$ )" bağlıdır. Yüzey Gerilim  $Re_\sigma$  Sayısı, yüzey gerilim atalet kuvvetlerinin, viskoz kuvvetlere oranı olarak bilinmektedir. Burada Yüzey Gerilim  $Re_\sigma$  Sayısındaki viskoz kuvvetlerin sıcaklıkla azalmasından kaynaklanan bir değişim gözlemlenmiştir. Sıcaklık değişiminin oldukça az olmasından dolayı; yüzey gerilim atalet kuvvetleri, sıcak duvarla soğuk duvar sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının ortalama bir fonksiyonu olarak görülmektedir.

Düşük yerçekimi vektörü altındaki akışkanın serbest yüzeyinden ortama olan ısı kaybının az olması nedeniyle soğuk duvarla sıcak duvar arasındaki ortalama akışkan serbest yüzey sıcaklığı; çevre sıcaklığının  $T_r=330$  K olduğu durumda, çevre sıcaklığının  $T_r=285$  K olduğu duruma göre daha yüksektir. Şekil 6' da da görüldüğü gibi çevre sıcaklığının  $T_r=330$  K olduğu durumda; silikon akışkanı içerisindeki vortex hücrenin merkezi, akışkan serbest yüzeyi ile ısıtıcı duvar bölgesine daha yakın bir noktada meydana gelmektedir. Ayrıca Şekil 6.a' daki hava bölgesinde hava hareketi görülmemektedir. Bunun nedeni mikro yerçekimi ( $\mu g$ ) altında havanın batmazlık etkisinin 0'a yakın olmasından kaynaklanmaktadır.



**Şekil 6.**  $Tr=330$  K iken yüzey gerilim konveksiyonu yapan silikon akışkanının ve silikon akışkanı üzerindeki havanın akım çizgileri görüntüsü a- Mikro yerçekimi vektörü altında b- 1g yerçekimi vektörü altında  
(The flow streamlines view of the silicone oil and the air on the silicone oil making surface tension convection when  $Tr=330$  K a- Under micro gravity vector b- Under 1g gravity vector)

Şekil 7.a 'da mikro yerçekimi vektörü altında, boyutsal oranın  $Ar=1$  ve ortam sıcaklığının  $Tr=330$  K olduğu durumda yüzey gerilim konveksiyonu yapan silikon akışkanının ve silikon akışkanı üzerindeki havanın eş sıcaklık eğrileri gösterilmektedir. Şekil 7.b' de ise 1g yerçekimi vektörü altında, boyutsal oranın 1 ve ortam sıcaklığının  $Tr=330$  K olduğu şartlarda yüzey gerilim konveksiyonu yapan silikon akışkanının ve silikon akışkanı üzerindeki havanın eş sıcaklık eğrileri gösterilmektedir.

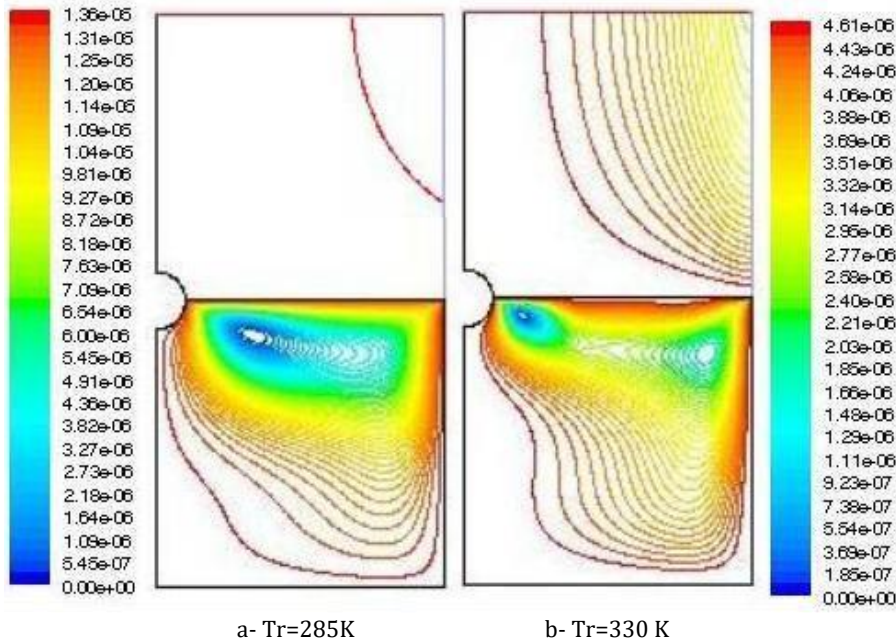


**Şekil 7.**  $Tr=330$  K iken yüzey gerilim konveksiyon hareketi yapan silikon akışkanının ve silikon akışkanı üzerindeki havanın çizgisel eş sıcaklık değerlerinin görüntüsü a-Mikro yerçekimi vektörü altında b- 1g yerçekimi vektörü altında  
(The shown of the isotherm values of the silicone oil and the air on the silicone oil making surface tension convection when  $Tr=330$  K a- Under micro gravity vector b- Under 1g gravity vector)

Şekil 5. a ve Şekil 7. a' da ki eş sıcaklık eğrileri karşılaştırıldığında aralarında hissedilir derecede farklılıklar olduğu görülmektedir. Hava bölgesindeki farklılıklar, kondüksiyon yoluyla oluşan ısı transferinden meydana gelmektedir. Silikon akışkanı bölgesinde ortam sıcaklığının  $Tr=285$  K olduğu durum için akışkan serbest yüzeyinden atmosfere kondüksiyon yoluyla ısı kaybı meydana gelirken, çevre sıcaklığının  $Tr=330$  K olduğu durum için ise atmosferden akışkan serbest yüzeyine ısı kazancı meydana gelmektedir. Bu durum; Şekil 5. a ve Şekil 7. a'

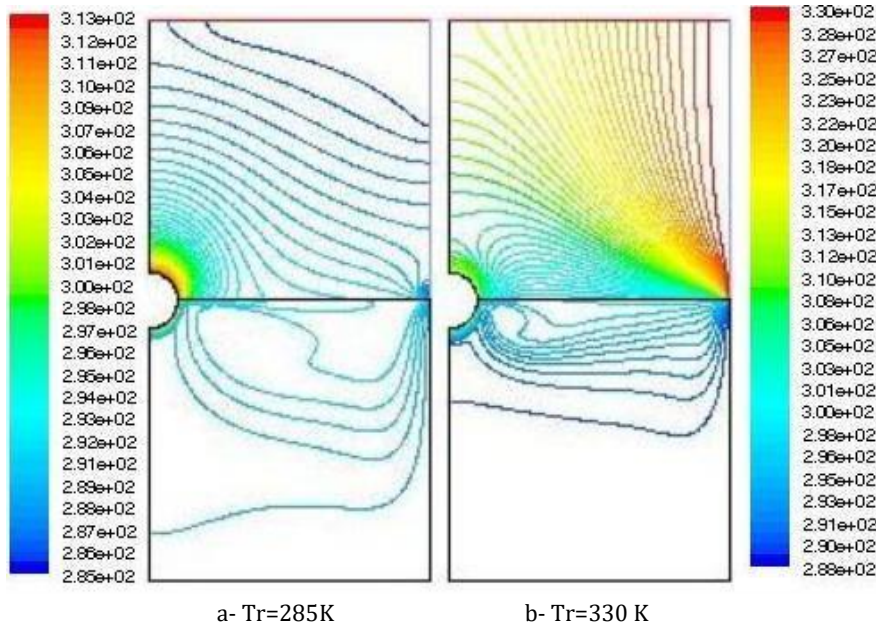
da ki silikon akışkanının eş sıcaklık eğrilerindeki farklılıkları meydana getirmektedir. Çevre sıcaklığının  $Tr=330$  K olması durumundaki eş sıcaklık eğrileri,  $Tr=285$  K olması durumundaki eş sıcaklık eğrilerine göre akışkan serbest yüzeyine daha yakın bölgelerde yoğunlaşmıştır. Akışkan serbest yüzeyi boyunca ortalama sıcaklık farkının yüksek olması, serbest yüzey boyunca akışkanın viskozite değerinin düşük olmasına sebep olmaktadır.

Şekil 8’de, farklı ortam sıcaklıklarındaki ( $Tr=285$  ve  $Tr=330$  K) silikon akışkanı ve havanın 1g yerçekimi vektörü altındaki akım çizgileri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada, çevre sıcaklığının  $Tr=330$  K olduğu durumda hava bölgesindeki ısıl momentumun  $Tr=285$  K olduğu durumdakine göre daha etkin olduğu görülmektedir. Çevre sıcaklığının  $Tr=285$  K olduğu durumda; akışkan serbest yüzeyinden havaya olan ısı transferinin az olması nedeniyle, akışkanın serbest yüzeyi üzerindeki mikron seviyesindeki havada ısıl momentum gerçekleşirken ısıl sınır tabaka kalınlığını oluşturmakta ve akışkan serbest yüzeyi üzerinde zarf etkisi meydana getirmektedir. Bu zarf etkisi, ağırlıklı olarak konveksiyon yoluyla ısı transferinin gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Çevre sıcaklığının  $Tr=330$  K olduğu durumda ise,  $Tr=285$  K olduğu durumun tam tersine havadan, akışkan serbest yüzeyine ısı transferi gerçekleşmektedir. Bu nedenle, akışkan serbest yüzeyi üzerindeki mikron seviyesindeki havada oluşan ısıl momentum; ısıl sınır tabaka kalınlığını oluşturarak akışkan serbest yüzeyi üzerinde zarf etkisi meydana getirmektedir. Burada oluşan zarf etkisi; çevre sıcaklığının  $Tr=285$  K olduğu durumdan farklı olarak; hem konveksiyon yolu ile hem de konveksiyon yoluyla ısı transferinin gerçekleşmesine sebep olmaktadır.



**Şekil 8.** Ortam sıcaklığının  $Tr=285$  K ve  $Tr=330$  K olduğu konfigürasyonlarda yüzey gerilim konveksiyonu yapan silikon akışkanının ve silikon akışkanı üzerindeki havanın akım çizgilerinin 1g yerçekimi vektörü altındaki görüntüsü  
(The view of the streamlines of the silicone oil and the air above the silicone oil under 1g gravity vector, which performs surface tension convection in configurations where the ambient temperature is  $Tr=285$  K and  $Tr=330$  K)

Şekil 8’deki akım çizgilerinin karşılaştırmasında, silikon akışkanı bölgelerindeki akım hareketlerinde de farklılıklar görülmektedir. Ortam sıcaklığının  $Tr=285$  K olduğu durumda, akım hareketini oluşturan vortex hücrenin merkezinin ısıtıcı telden daha uzak noktada gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni ise; akışkan serbest yüzeyinden ortama olan ısı kaybından dolayı, silikon akışkanı konveksiyonunun ve Yüzey Gerilim  $Re_\sigma$  Sayısının ortam sıcaklığının  $Tr=330$  K olduğu durumdakine göre daha düşük olmasıdır. Ortam sıcaklığının  $Tr=330$  K olduğu durum incelendiğinde ise akım çizgilerinin tek hücreli “vorteks”ten çift hücreli “vortek”se ayrılma noktasına geldiği görülmektedir. Bunun nedeni ise Yüzey Gerilim  $Re_\sigma$  Sayısının, ortam sıcaklığının  $Tr=285$  K olduğu durumdakine göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. İki hücreli vortex hareketinin kritik başlangıç noktasına ulaştığı, Şekil 8.b’deki akışkan serbest yüzeyinin almış olduğu şekilden de anlaşılmaktadır.



**Şekil 9.** Ortam sıcaklığının  $Tr=285$  K ve  $Tr=330$  K olduğu konfigürasyonlarda yüzey gerilim konveksiyonu yapan silikon akışkanının ve silikon akışkanı üzerindeki havanın çizgisel eş sıcaklık değerlerinin  $1g$  yerçekimi vektörü altındaki görüntüsü  
(The view of the isotherm values of the silicone oil and the air on the silicone oil under  $1g$  gravity vector, which performs surface tension convection in configurations where the ambient temperature is  $Tr=285$  K and  $Tr=330$  K)

Şekil 9’ da, farklı ortam sıcaklıklarındaki ( $Tr=285$  ve  $Tr=330$  K) silikon akışkanı ve havanın  $1g$  yerçekimi vektörü altındaki eş sıcaklık eğrileri görülmektedir. Ortam sıcaklığının  $Tr=285$  K olduğu durumda, akışkan serbest yüzeyi üzerindeki mikron seviyesindeki sınır tabakadan ortama olan ısı transferi görülürken, ortam sıcaklığının  $Tr=330$  K olduğu durumda ise ortamdan akışkan serbest yüzeyi üzerindeki mikron seviyesindeki sınır tabakaya ısı transferi olduğu görülmektedir. Silikon akışkanı bölgelerinde ise; ortam sıcaklığının  $Tr=330$  K olduğu durumda ortamdan akışkan serbest yüzeyine olan ısı kazancı nedeniyle akışkan serbest yüzeyindeki sıcaklık, ortam sıcaklığının  $Tr=285$  K olduğu durumdakine göre daha yüksektir. Bu nedenle ortam sıcaklığının  $Tr=330$  K olduğu durumdaki eş sıcaklık eğrileri akışkan serbest yüzeyine doğru yoğunlaşmıştır. Ortam sıcaklığının  $Tr=330$  K olduğu durumdaki batmazlık kararlılığı ise ortam sıcaklığının  $Tr=285$  K olduğu durumdakine göre daha yüksektir.

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

Çalışmamızda, dikdörtgenler prizması içerisindeki  $5cSt$ ’luk kinematik viskoziteye sahip silikon akışkanının ve üzerindeki havanın; yüzey gerilim konveksiyon ve doğal konveksiyon hareketleri, akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri, farklı ortam sıcaklıklarında ve iki farklı yerçekimi vektörü değerinde, iki boyutlu olarak incelenmiş ve bir birleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada, yüzey gerilim konveksiyonun doğal konveksiyondan daha etkin (baskın) olduğu görülmüştür. Ayrıca, farklı ortam sıcaklık şartlarında ve farklı yerçekimi vektörü şartlarında meydana gelen kombinasyonlar için düşünülen iki boyutlu konfigürasyonlar içerisinde yüzey gerilim konveksiyonu yapan akışkanların akım çizgileri ve eş sıcaklık çizgilerinde farklılıkların olduğu görülmüştür. Ortam sıcaklığı yükseldikçe tek hücreli vortex konveksiyonundan çift hücreli vortex konveksiyonuna geçişe doğru bir eğilim olduğu görülmüştür.

Yarı iletken ürünlerin üretimindeki kristal kalitenin artırılması için homojen bir yapının var olması şarttır. Homojen kristal yapı, yüzey gerilim konveksiyonu ile gerçekleşeceğinden dolayı, osilasyonlu yüzey gerilim konveksiyonunun başlama noktası ne kadar uzaklara ötelenirse kristal yapının homojenlik aralık değeri de o kadar büyüyerek ötelenmiş olacaktır. Dolayısıyla ilerleyen çalışmalarda, zamandan bağımsız (kararlı) yüzey gerilimli konveksiyondan periyodik osilasyonlu yüzey gerilimli konveksiyona geçiş noktasını etkileyen diğer parametrelerin üzerine yoğunlaşılması bu alandaki gelişmeleri hızlandıracaktır.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

**Kaynaklar (References)**

- Billy-Joe Bobach, Romain Boman, Diego Celentano, Vincent E. Terrapon, Jean-Philippe Ponthot, 2021. Simulation of the Marangoni Effect and Phase Change Using the Particle Finite Element Method. *Applied Science*, 11(24), 11893.
- Çırak, Ç., 2009. Farklı ortam sıcaklıklarında ve farklı soğuk duvar sıcaklık etkileri altındaki sabit sıcaklık konfigürasyonunun, rejim halinden osilasyonlu marangoni konveksiyonuna geçiş üzerine deneyler. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 75, Isparta.
- Hashim, I., Othman, H., Awang Kechil, S., 2009. Stabilization of thermocapillary instability in a fluid layer with internal heat source. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36, 161-165.
- Haiting L., Jiewen D., 2022. Influence of Marangoni Effect on Heat and Mass Transfer during Evaporation of Sessile Microdroplets. *Micromachines*, 13(11), 1968.
- Karabyık, E., 2015. Dikdörtgen kap içerisinde yüzey gerilim hareketi yapan farklı iki akışkan için boyutsal oran etkisinin incelenmesi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 46, Isparta
- Katı, E., 2009. Yarı iletken malzemeler için termokapiler konveksiyon üzerine deneysel bir çalışma. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60, Isparta.
- Katı Sunay, E., 2013. Farklı parametreler altında kararlı ve osilasyonlu yüzey gerilim konveksiyon hareketlerinin incelenmesi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 93, Isparta.
- Lai, C.L., 2004. Multiple-scale analysis of oscillatory thermocapillary convection of high Prandtl number fluids in a rectangular cavity. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 1069-1078.
- Mendis, R. L. A., Sekimoto, A., Okano, Y., Minakuchi, H., and Dost, S., 2021. The relative contribution of solutal marangoni convection to thermal marangoni flow instabilities in a liquid bridge of smaller aspect ratios under zero gravity. *Crystals*, 11, 116-128.
- Mielniczuk, O., Millet, O., Gagneux, G., El Youssoufi, M. S., 2018. Characterisation of pendular capillary bridges derived from experimental data using inverse problem method. *Granular Matter*, 20, 14-23.
- Nguyen, H. N. G., Zhao, C., Millet, O., Gagneux, G., 2020. An original method for measuring liquid surface tension from capillary bridges between two equal-sized spherical particles. *Powder Technology*, Volume 363, Pages 349-359.
- Ostrach, S., 1977. Motion induced by capillarity. *Physico-Chemical Hydrodynamics*, 2, 571-589.
- Ostrach, S., 1979. Convection due to surface tension gradients. *COSPAR Space Research*, 19, 563-570.
- Ostrach, S., 1982. Low-gravity fluid flows. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 14, 313-345.
- Selver, R., 2005. Experiments on the transition from the steady to the oscillatory Marangoni convection of a floating-zone under various cold wall temperatures and various ambient air temperature effects. *Microgravity Science and Technology*, 17, 4, 25-35.
- Selver, R., Katı, E., 2009. Dikdörtgenler prizması içerisinde yüzey gerilim konveksiyon hareketi yapan akışkanın hız vektörlerinin farklı yerçekim vektörleri altında incelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6, 3, 19-33.
- Selver, R., Katı, E., 2009. Dikdörtgenler prizması içerisinde yüzey gerilim konveksiyon hareketi yapan akışkanın serbest yüzeyindeki sıcaklık ve hız profillerinin farklı yerçekimi vektörleri altında incelenmesi. *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21, 37-61.
- Selver, R., Katı, E., Karakuş, M.A., 2010. Akışkanın yüzey gerilim hareketlerinin dikdörtgenler prizması içerisinde incelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7, 1, 83-96.
- Selver, R., Katı, E., 2011. Transition from the steady to the oscillatory thermocapillary convection in a rectangular container under various cold wall temperature effects. *Microgravity Science and Technology*, 23, 277-285.
- Wang, L., Kamoroni, Y., Yoda, S., 2008. Effect of heating orientation on oscillatory thermocapillary flow in liquid bridges. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35, 1249-1252.
- Zeng, Z., Mizuseki, H., Higashino, K., Kawazoe, Y., 1999. Direct numerical simulation of oscillatory Marangoni convection in cylindrical liquid bridges. *Journal of Crystal Growth*, 204, 395-404.
- Zhiyong L., Gang Y., Xiuli H., Shaoxia L., Zhuang S., 2022. Surface Tension-Driven Flow and Its Correlation with Mass Transfer during L-DED of Co-Based Powders. *Metals*, 12(5), 842.



## EVALUATION OF NOISE ON RING SPINNING MACHINES

Murat KODALOGU<sup>1\*</sup>, Feyza AKARSLAN KODALOGU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical Sciences, Occupational Health and Safety Program, Isparta, Turkey

<sup>2</sup> Suleyman Demirel University Engineering Faculty, Textile Engineering, Isparta, Turkey

### Keywords

*Spinning,  
Noise,  
Fuzzy,  
Safety,  
Ring Machine.*

### Abstract

The ring spinning system is a system that continuously spins yarn and winds bobbins. This yarn, after leaving the delivery rollers, takes the twist of the rotating spindle and traveler, and is wound onto the bobbin, which goes as overlapping on the spindle. The degree of weight in the spinning mills increases. On top of that, one of the reasons is working at its higher speeds to improve the production rates in the production process in a competitive environment of development. The evaluation and evaluation of speed balance almost as a whole is increasing, and in the evaluation of more energy in sound. assessment does not qualify as a problem of poor human health and condition in many countries. It is at a level to serve people. "Production rather than production consists of elements freed from the emergence of high-level indicators. Fuzzy logic can be developed by tool from tool pilots with predictive and general applicability to the planning of aircraft by human being difficult to craft. In this model, the appropriate gear wheel on the appropriate type gear wheels.

## RİNG İPLİK MAKİNALARINDAKİ GÜRÜLTÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

### Anahtar Kelimeler

*Büküm,  
Gürültü,  
Bulanık,  
Güvenlik,  
Ring makinası.*

### Öz

Ring iplik eğirme sistemi sürekli olarak ipliği eğiren ve masuralara saran bir sistemdir. Bu sistemde iplik, çıkış silindirlerini terk ettikten sonra dönen iğ ve kopçanın içinden geçerek büküm almakta, iğ üzerine takılı olarak dönmekte olan masuraya sarılmaktadır. İplik fabrikalarındaki gürültü miktarı artmaktadır. Bunun temel nedenlerinden biri, yoğun rekabet karşısında ring iplik makinelerin üretim oranlarını artırmak için her zamankinden daha yüksek hızlarda çalıştırılıyor olmasıdır. Hız artışının doğrudan bir sonucu olarak denge dışı kuvvetler ve titreşim artmakta ve ses olarak daha fazla enerji açığa çıkmaktadır. Gürültü, sanayileşme ve kentleşmenin yoğun olarak yaşandığı pek çok ülkede insan sağlığını ve yaşam kalitesini daha fazla etkileyen önemli bir sorun olma özelliği taşımaktadır. İnsanlar, yaşamın değişik ortamlarda gürültülü alanlarda bulunmaktadır. Bununla birlikte gürültüden en çok etkilenen kesimi, yüksek düzeyde gürültülerin ortaya çıktığı sanayi kuruluşlarında çalışanlar oluşturmaktadır. Bulanık mantık, insan akıl yürütmesinin bilgisayarlaştırılmasını sağladığı için tahmin doğruluğu ve genel olarak başarı uygulanabilirliği ile olağanüstü tahmin doğruluğu ile toplanması zor olan veriler bulanık mantık tabanlı modeller deneyimlerinden yararlanılarak geliştirilebilir. Bu çalışmada, bulanık mantık tabanlı yaklaşım ile ring iplik makinasında farklı devirlerdeki gürültü düzeyi incelenmiştir.

### Alıntı / Cite

Kodaloglu, M., Kodaloglu, F., (2023). Evaluation of Noise On Ring Spinning Machines, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(2), 768-775.

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

M.Kodaloglu, 0000-0001-6644-8068  
F.Kodaloglu, 0000-0002-7855-8616

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	05.10.2022
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	09.03.2023
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	22.03.2023
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: muratkodaloglu@isparta.edu.tr, +90-246-214-6911

## EVALUATION OF NOISE ON RING SPINNING MACHINES

Murat KODALOGLU<sup>1</sup>, Feyza AKARSLAN KODALOGLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical Sciences, Occupational Health and Safety Program, Isparta, Turkey

<sup>2</sup> Suleyman Demirel University Engineering Faculty, Textile Engineering, Isparta, Turkey

---

### Highlights

- Noise generation in spindles of ring spinning machines.
  - Simplicity and applicability of the fuzzy logic system.
  - Excitation forces increase as speeds increase
- 

### Graphical Abstract

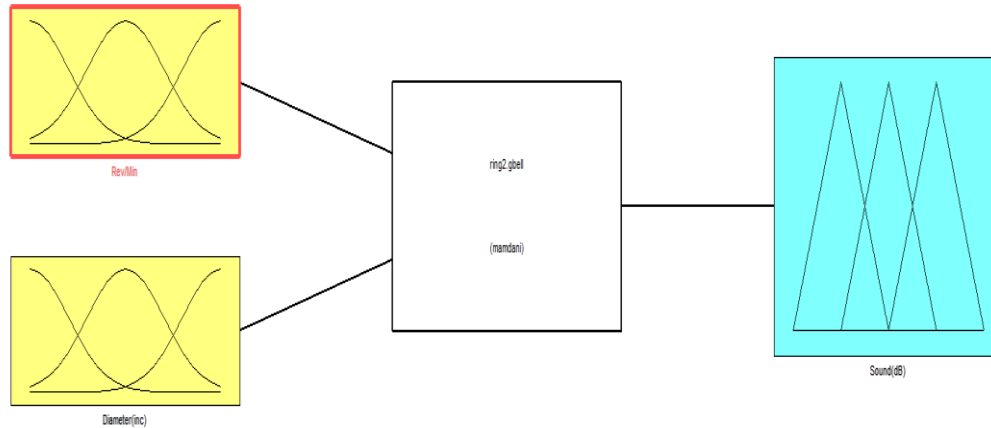


Figure 1. Fuzzy Logic model

---

### Purpose and Scope

It is aimed to reduce the noise by examining the working principles of the mechanisms used in ring spinning machines.

### Design/methodology/approach

Aim; In particular, a basic research support infrastructure will be formed, the stresses of which in yarn production can be minimized and the noise level can be determined.

### Findings

The formation of moving cam levers and blades inside the spinning machine body has been designed in a unique way by examining the relevant studies. A unique system has been developed that can control the noise level of yarn manufacturing processes with the desired quality and precision.

### Originality

With the fuzzy logic method, the noise level of the imported machines with a high price was determined in much wider ranges, and it was possible to evaluate the employee health issues. The design of the system belongs to Murat Kodaloğlu et al.

---

Corresponding author: muratkodaloglu@isparta.edu.tr, +90-246-211-6911



## 1. Introduction

The twist given to the yarn in ring spinning machines is provided with the help of the spindle-ring-traveller trio. After the roving comes out of the delivery cylinder, it passes through the thread guide and the eyelet attached to the collar and is wound on the bobbin as thread. The bobbin rotates on the spindle together with the spindle. As a result of the thread being dragged by the rotation of the bobbin, the traveler starts to rotate on the ring. Thanks to this rotational movement, the fiber bundle starts to twist by twisting around itself as soon as it comes out of the front roller. In order to perform the twisting operation, the thinned roving must be grasped and rotated from the lower end. This process; It is carried out by the spindle, ring and traveler trio. The clasp holds the lower end of the thinned wick; On the other hand, the spindle twists the roving around itself with the help of the ring and traveler. If the friction of the traveler with the ring is not taken into account, it is assumed that each revolution of the spindle or each turn of the traveler around the ring gives a twist to the yarn. As long as the fiber bundle continues to be delivered from the front roller, the yarn both receives twist and continues to be wound on the bobbin. Winding process; It is made with a device consisting of a ring, traveler and spindle trio. The traveler, which rotates freely on the ring, will lose some of its speed due to friction. Since the spindle and thread will force it to rotate continuously, there will be a revolution difference between the spindle and the traveler, and as a result, the winding of the thread on the bobbin will take place. During the winding, there is a ring rail that acts as a way to the yarn, regulates the winding and constantly goes up and down from the top to the bottom. Planga, going up heavier, wraps the main layer of the yarn, descending faster, wraps the intermediate layer on the bobbin. The formation of cones in the bobbin is provided by the device on the machine. This device; consists of latch, fork and chain. The chain shortens a little with each movement of the ring rail, delaying the movement of the ring ring and creating a taper (Usta, 2001 and Atherly, 1964 and Burns, 1965).

To understand the mechanisms of noise generation in the spindles of ring spinning machines, the mechanical properties of the spindles must be known. The bobbin is a metal tube positioned by guide centralizers that sit at the top of the spindle. Noise has two main sources: (a) noise from the surroundings of the coil; (b) noise from bearings



Figure 2. Machine Body



Figure 3. Spindle and Bobbin Assembly

In almost all the areas in the industry the machine operators are exposed to the noise levels throughout the duration of their work period of about 8 h per day. Much work has already been done on the effect of long-term hearing exposure to textile machine noise and other environments with similar noise spectra. Spurred on by the Wilson Committee report attention has been focused on the problem of the reduction of industrial noise in many textile environments in this country. Over-all noise levels throughout the industry where high-speed machinery is operating are in the region of 90 to 105 dB with the main energy peaking around 1000 to 2000 Hz. Recommended deafness risk criteria Burns, Glorig, Ward & Nixon are sometimes exceeded in several octave bands in many processes, supplying the need for a noise- reduction programme.

**Spindles;** They are the elements that enable the winding to take place by moving the bobbin in the ring spinning

machine. The spindles are mounted on the machine from the neck and base. Friction between the traveler and the ring limits the spindles reaching very high speeds. The spindles have a knee-commanded brake assembly. The bobbins must fit on the spindles evenly and engage tightly. The swinging bobbin causes the spindle to vibrate.

The ring is the ring around the spindle in the ring machine and forms the traveler's rotation path. It is subject to high friction. The bracelet is made of hardened quality steel. The surfaces of the bracelets are made harder than the clasp. In order for the traveler to be efficient, it is very important that it is perfectly round and the surface is smooth. The yarn coming out of the front rollers is wound on the bobbin by sliding the traveler, which is formed by the rotation of the spindle, on the ring.

**Buckle;** It is the metallic or plastic part that the thread passes through while winding on the bobbin, which gives tension to the thread and also provides twisting with the spindle. The traveler is attached to the collar and rotates by dragging through the thread. It depends on the fiber properties used, the production speed, etc. Depending on the type of traveler used, the type of traveler may also vary.

**Balloon breaker;** As a result of the great speed of the traveler and the yarn, both are under the influence of a very important central force. This force will press the traveler against the collar, while the force of the thread will want to throw it out. In the meantime, it is seen that the yarn takes a pear-shaped transparent form around the rotating spindle. This is called a balloon. As a result of ballooning in the ring spinning machine, the threads wound on the bobbins can become wrapped around each other and thread breakage may occur. Preventing this is with the help of balloon collars that define the ballooning limit.

**Separator plates (separator);** The separators are mainly intended to prevent the yarn balloons rotating side to side from hitting each other and the stationary or moving machine parts and getting stuck (MEB, 2011).

All components on this machine cause various noise levels depending on the machine speed. In this study, a fuzzy logic-based approach has been applied to examine the effect of the number of revolutions on the noise level of the ring spinning machine. The fuzzy-based approach was chosen because fuzzy logic provides the computerization of human reasoning and the ability to handle control problems when there is uncertainty attributable to the complex dynamics of an environment. The advantage of using fuzzy logic lies in the key features that define the simplicity and applicability of the fuzzy logic system. Fuzzy logic is easy to understand and the mathematical concepts behind fuzzy reasoning are simple. It is tolerant of imprecise data and any set of input-output data can be created as a fuzzy system. Fuzzy logic is a method that interprets the values in the input vector and assigns values to the output vector based on a set of rules. It is a rule-based approach that is particularly suitable for a complex system where accurate mathematical models cannot provide satisfactory performance (Yilmaz,2005 and Zadeh,1965).

In almost all areas of industry, machine operators are exposed to noise levels while they work approximately 8 hours a day. many textile mills have focused on the problem of reducing industrial noise.

In twisting areas, machines do not necessarily have to produce the same noise levels. It is produced at different speeds according to the yarn types and the noise levels vary according to the machine speeds. Excitation forces increase as speeds increase and there are slight variations in the vibration response of machine elements, and the resulting noise levels vary from machine to machine (Crawford, 2022 and Dionova ,2020).

Operators of machines operating under different production conditions require close proximity to their machines throughout the working time. The noise spectrum of the ring spinning machine consists of spindle and bobbin set.

## 2. Material and Method

The fuzzy logic tables created in this study were described by the MATLAB program, and the resulting data were examined. With the fuzzy logic module of the MATLAB program, the Mamdani model with two inputs and one output has been established. In this model, the method of obtaining the results with the center of gravity method is based (Gloring, 1961 and Kodaloğlu, 2022 and Nixon, 1961 and Rice,1966 and Taylor,1965). Input Rev/Min. to the first of the membership function sets. As seen in Figure 4 below, the values are processed into the fuzzy logic module of the MATLAB program.

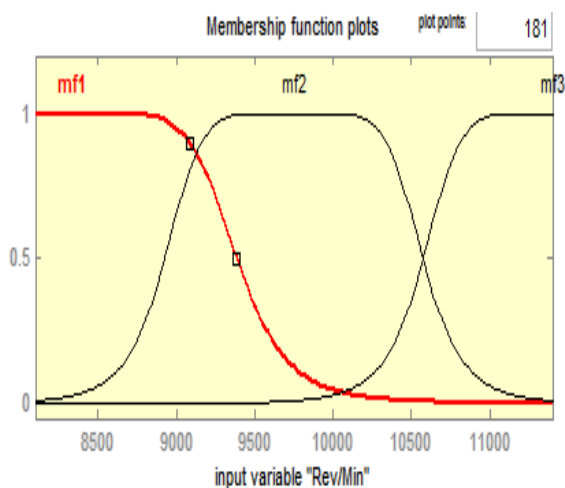


Figure 4. The First Set of Inputs, Rev/Min. Membership Functions

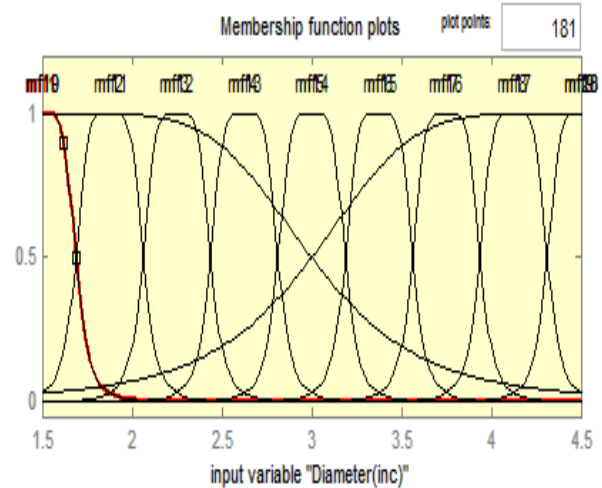


Figure 5. Diameter Membership Functions, The Second Set of Inputs

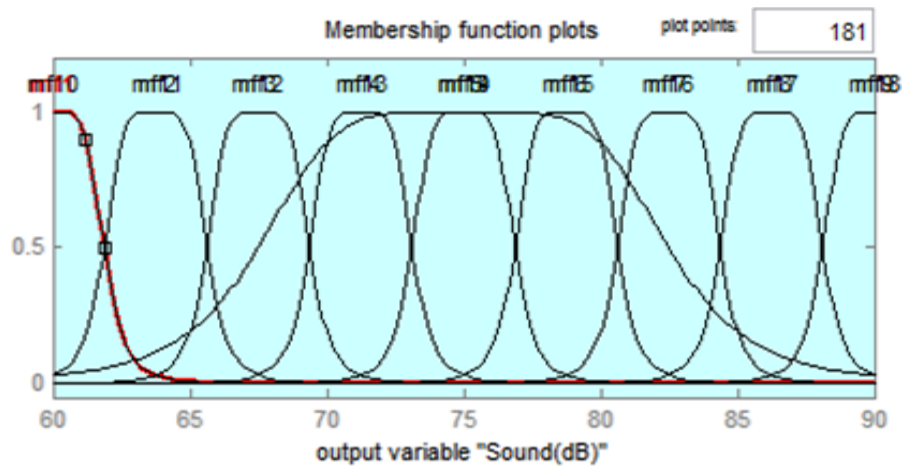
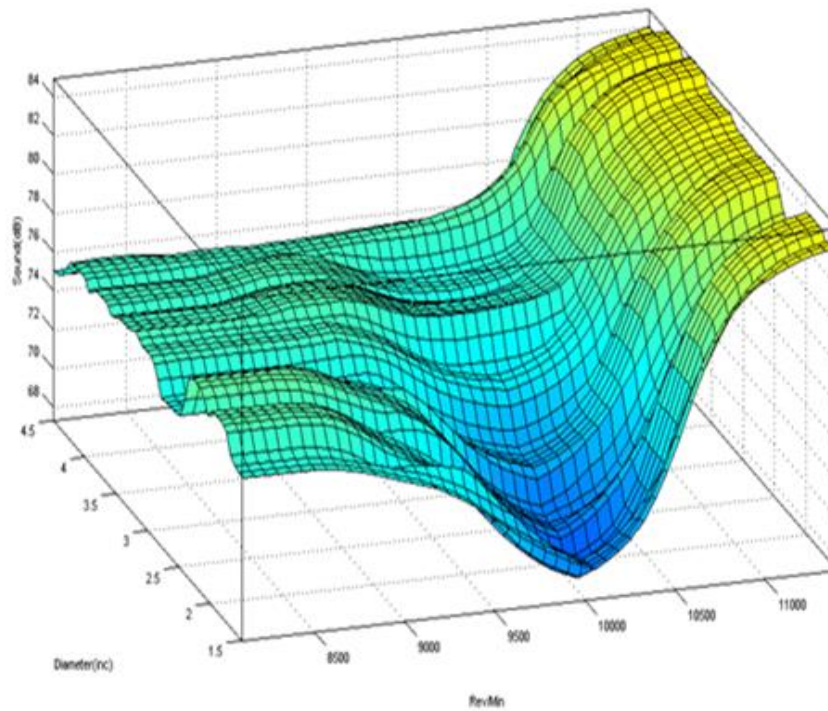


Figure 6. Sound Membership Functions with Output Set

The second of the Input Membership function sets is diameter. As seen in Figure 5 below, the values are processed into the fuzzy logic module of the MATLAB program. Output Sound is given as a set of membership functions. As seen in Figure 6 below, the values are processed into the fuzzy logic module of the MATLAB program.

In the study, the gbellmf method was chosen in the type of membership functions used in the input and output sets. Thus, a trapezoidal shape, which is a geometric shape, was obtained. In this way, approximate values are obtained within the framework of fuzzy logic rules. A total of sixty fuzzy rules were created and these were used for output graphics.

After the membership functions are entered in the MATLAB fuzzy logic editor, the values of the membership function are also entered in the rule editor. After the rule entries were completed, the results were monitored with the rule viewer. During the creation of the results, the center of gravity method was chosen as the clarification method. After processing all the data, the system described with the MATLAB program gave the following results.



**Figure 7.** Data Obtained With The MATLAB Program

As shown in Figure 7, a noise reduction of about 9 dB is seen at the initial low speed compared to the high speed. In ring spinning machines, a fairly constant circumferential speed and yarn line tension occur, where the spindle speed is high at the start and as the radius increases when the yarn accumulates, the rotation speed is reduced. Noise levels in the low-frequency octave bands increase very significantly when the coils are full, the spindle harmonic noise. The greater the roundness of the coil, the higher the coil noise will be if the machine has many lobes.

### 3. Results and Discussion

In this study, the Mamdani method was used to evaluate the change in noise in ring spinning according to machine speed using fuzzy logic method. In the given literature that we have done; effect of long-life machine exposure to textile animals and other environments with similar noise spectra Taylor, Pearson, Ma & Burns 1965; Burns, Hinchcliffe & Littler 1964; Nixon and Glorig 1961; similar results have been obtained by Atherley 1964 in numerous studies. Industries in which high-speed machines are engaged generally have overall noise levels in the 90 to 105 dB range, with a main energy peak of around 1000 to 2000 Hz. The noise level in spinning industry ranges between 8 and 90 dBA, where the blow room is the lowest noise generator and ring frame is the highest. In studies conducted by Talukdar 2001, it has been determined that sound levels exceeding 85 dBA have many negative health effects such as hearing loss, earache. In addition, high noise levels reduce performance, ability to concentrate, lack of sleep, and annoyance to the workers. Unlike the measurements made in the literature with the fuzzy logic method, the noise values occurring at wider engine speeds were determined. As stated in the Noise Control Regulation; choosing other working methods with less exposure to noise selecting suitable work equipment that emits the lowest possible noise level, proper design and arrangement of working places, work equipment correctly and safely providing necessary and training to employees to use should be reduced by.

It has been shown that fuzzy set theory can give more accurate results in terms of determining the noise level. Therefore, the obtained results confirm that fuzzy logic reasoning can be applied especially in controlling the effect of noise parameters. As the analysis and results shown here confirm that the fuzzy-based system can be used for noise level evaluation, the subject needs to be further explored with detailed analyzes of the fuzzy logic rule structure. The results obtained are directly affected by the shape of the chosen membership function, so in the low noise range where the deviations of the results are more emphasized, this membership function should be as narrow as possible. Comparing the spindle-noise spectra of empty spindles and full bobbin spindles shows that bobbin noise is harmonic with the frequency noise corresponding to the spindle rotation speed.

In order to reduce the noise level, the following Maintenances must be Performed on the Machine

- Spindle rotation belts are opened and cleaned with absorber.
- Feet of belts are checked. Spindles are cleaned.
- Gear lubrication pump is checked.
- Main motor bearings are lubricated.
- Prepress rollers are grinded.
- Front thrust roller bearings are lubricated.
- Clips are removed and cleaned with air.
- Lower aprons are dismantled and cleaned.
- Upper aprons are checked.
- The draft rollers are cleaned.
- Guides are checked.
- Balloon control beds are cleaned.
- Separators are cleaned with compressed air.
- Back pressure rollers are grinded
- Pulleys are greased and Ring settings checked.
- Balloon control slot settings are checked and Guide settings are checked.
- The traveler cleaner settings are checked.
- Coil holders are cleaned and checked.
- The drafting roller gauge distance is checked.
- Pressure guns are checked

An overall noise level reduction of 9 dB and a 20 dB reduction in the ringing noise at gears as subjectively, the drawbox is quiet because the reductions have been effected mostly in the sensitive region of the ear. As is often the case in a noise reduction programme, some of the noise reduction may be sacrificed for a speed increase, the speed increase depending on the noise level that can be tolerated.

### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

### References

- Atherley, G. R. C. 1964. Monday Morning Auditory Threshold In Weavers. *Br. J. Industr. Med.* 21, 150-153.
- Burns, W., 1965. Noise As An Environmental Factor In Industry. *Trans. Ass. Med. Off.* 15, 2-11.
- Burns, W., Hinchcliffe, R. & Littler, T. S., 1964. An Exploratory Study Of Hearing And Noise Exposure In Textile Workers. *Ann. Occup. Hyg.* 7, 323-333.
- Crawford, R., 2022. Noise Control On Textile Machinery. The Royal Society Publishing, Vol. 263A, Issue 1, Pages 347-367.
- Crawford, R., 1967. Noise Of Rotating Spindles And Bobbins In A Textile Machine. *J. Sound Vibr.* 5, 317- 329.
- Dionova, B. W., Mohammed, M. N., Al-Zubaidi, S., Yusuf, E., 2020. Environment Indoor Air Quality Assessment Using Fuzzy Inference System, *Ict Express*, Vol. 6, Issue 3, Pages 185-194.
- Glorig, A., Ward, W. D. & Nixon, J., 1961. Damage Risk Criteria And Noise Induced Hearing Loss. *Arch. Otolaryngol.* 74, 413.
- Kodaloğlu, M., Akarslan Kodaloğlu, F., 2022. Evaluation Of Thermal Comfort In Terms Of Occupational Safety In Weaving Facilities By Fuzzy Logic, *Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi*. Vol. 6, Issue 2, Pages 273-279.
- Kodaloğlu, M., 2020. Yalvaç Oto Tamir Esnafının Sorunları Ve İş Güvenliği Açısından Bazı Öneriler, *Yalvaç Kent Araştırmaları, Çizgi Kitabevi Yayınları*, Pages 379-384, Konya.
- Kodaloğlu, M., Delikanlı, K., 2021. Battaniye İşletmesinde Maruz Kalınan Gürültünün İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi, *Teknik Bilimler Dergisi*, Vol. 11, Issue 1, Pages 33-38.
- Kodaloğlu, M., Günaydın Karakan, G., 2021. Evaluation Of Dust Exposure Measurements Regarding To Occupational Health And Safety In A Warp Knitting Facility, *International Journal of Engineering and Innovative Research*, Vol. 3, Issue 1, Pages 1-11.
- Kodaloğlu M., 2022. Evaluation Of Particular Material And Exposure Measurements In Terms Of Occupational Health And Safety In A Yarn And Weaving Factory In Denizli Organized Industry Region, *Teknik Bilimler Dergisi*, Vol. 12, Issue 1, Pages 43-50.
- Kodaloğlu, M., 2021. Gül/Lavanta Uygulanması İle Aromaterapi Sağlayan Koruyucu Maske Tasarımı, *YEKARUM dergisi*. Vol.6, Issue 1, Pages 1-5.
- Kodaloğlu, M., Akarslan Kodaloğlu, F., Kodaloğlu, A. I., 2022. Problems Faced In Cotton Export By The Ginner Role, Cost Analysis And Assessments In Terms Of Occupational Safety, *International Journal of Engineering and Innovative Research*, Vol. 4, Issue 1, Pages 23-32.
- Kodaloğlu, M., Akarslan Kodaloğlu, F., 2021. Felt Cloak Manufacturing And Some Evaluations In Terms Of Occupational Safety, *YEKARUM dergisi*. Vol. 6, Issue 2, Pages 12-20.
- Kodaloğlu, M., 2021. Evaluation Of Noise From Jacquard And Dobby In The Weaving Facility The In Terms Of Occupational Health And Safety, *International Journal of Engineering and Innovative Research*, Vol. 3, Issue 3, Pages 222-235.
- Nixon, J. C. & Glorig, A., 1961. Noise-Induced Permanent Threshold Shift at 2000 c.p.s. and 4000 c.p.s. *J. Acoust. Soc. Am.* 33, 904-908.
- Rice, C. G. & Coles, R. R. A., 1966. Design Factors And Use Of Ear Protection. *Br. J. Industr. Med.* 23, 194-203.

- Talukdar, M.K., 2001. Noise pollution and its control in textile industry Indian J. Fiber Text. Res., 26 (March-June), pp. 44-49
- Taylor, W., Pearson, J., Mair, A. & Burns, W., 1965. Study Of Noise And Hearing İn Jute Weaving. J. Acoust. Soc. Am. 38, 113-120.
- Tekstil teknolojsi., 2011. Ring İplik Makinesi, 1-82, Milli Eğitim Bakanlığı yayınları, Ankara
- Usta, İ., 2000/2001. Temel İplik Bilgisi, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tekstil Eğitimi Bölümü, 263, İstanbul.
- Wierman, M. J., 2010. An Introduction To The Mathematics Of Uncertainty Including Set Theory, Logic, Probability, Fuzzy Sets, Rough Sets, And Evidence Theory, Creighton University, Pages 105- 118.
- Yılmaz, M., Arslan, E., 2005. Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Pages 512-522, İstanbul.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy Sets, Information and Control, Vol.8, Issue 3, Pages 338-353.



## GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF BOLKARDAĞI BAUXITE DEPOSITS, THE TAURUS MOUNTAIN, AYRANCI, TURKEY

Mustafa Gurhan YALCIN<sup>1\*</sup>, Ibrahim COPUROGLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Akdeniz University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, , 07058, Antalya, Türkiye  
<sup>2</sup> Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Niğde, Türkiye

### Keywords

*Diaspore,  
Bauxite,  
Bolkardağı,  
Torosdağı,  
Ayrancı.*

### Abstract

The aim of this study is to determine the stratigraphic position of the bauxite deposits in the Ayrancı region, where the most important bauxite mineralization of the Bolkardağı region is located. In this context, the age of bauxite will be determined by determining the erosion surface associated with stratigraphic features during the formation of bauxite and the age of bauxite according to its side rocks. In the region, there are Permian-Cretaceous aged rocks belonging to the Bolkardağı Union, one of the main tectonic units forming the Central Taurus Mountains. Miocene units overlying these rocks have been surfaced in the study area. Miocene aged Mazı and Divlek Formations uncomfortably cover Karamanoğlu ophiolite and older units. Bauxite deposits are clearly seen in the Upper Permian aged Dedeköy Formation. According to the field studies, the bauxites were formed in the Late Triassic - Early Jurassic interval, on the Upper Permian aged carbonate rocks and Lower Triassic aged shale - sandstone - limestone units and then deposited in caves and dolines within the carbonate rocks. The fact that bauxites are located above dolomites and below, within and above limestones are thought to be due to the different behavior of carbonate rocks.

## BOLKARDAĞI BOKSİT ÇÖKELLERİ'NİN JEOLJİK KARAKTERİSTİKLERİ, TOROS DAĞLARI, AYRANCI, TÜRKİYE

### Anahtar Kelimeler

*Diyaspor,  
Boksit,  
Bolkardağı,  
Torosdağı,  
Ayrancı.*

### Öz

Bu çalışmanın amacı, Bolkardağı bölgesinin en önemli boksit cevherleşmesinin bulunduğu Ayrancı yöresindeki boksit yataklarının stratigrafik konumunu belirlemektir. Bu kapsamda boksitin oluşumu sırasında stratigrafik özelliklerle ilişkili aşınım yüzeyi ve yan kayalarına göre boksitin yaşı belirlenecektir. Bölgede Orta Torosları oluşturan ana tektonik birimlerden biri olan Bolkardağı Birliğine ait Permian-Kretase yaşlı kayalar bulunmaktadır. Bu kayaları örten Miyosen birimleri çalışma alanında yüzeylenmektedir. Karamanoğlu ofiyoliti ve daha yaşlı birimler Miyosen yaşlı Mazı ve Divlek Formasyonları tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Boksit yatakları Üst Permian yaşlı Dedeköy Formasyonu'nda açıkça görülmektedir. Saha çalışmalarına göre, boksitler Geç Triyas - Erken Jura aralığında, Üst Permian yaşlı karbonat kayaları ve Alt Triyas yaşlı şeyl - kumtaşı - kireçtaşı birimleri üzerinde oluşmuş ve daha sonra karbonat kayaları içindeki mağara ve dolinlerde çökelmiştir. Boksitlerin dolomitlerin üzerinde ve altında, kireçtaşlarının içinde ve üzerinde yer almasının karbonat kayalarının farklı davranışlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

### Alıntı / Cite

Yalcin, M.G., Copuroglu, I., (2023). Geological Characteristics of Bolkardağı Bauxite Deposits, The Taurus Mountain, Ayrancı, Turkey, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 776-793.

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

M.G. Yalcin, 0000-0002-8011-5371  
I. Copuroglu, 0000-0000-0000-0002

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	12.01.2023
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	22.03.2023
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	22.03.2023
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: gurhanyalcin@akdeniz.edu.tr, +90-242-310-6381

## GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF BOLKARDAGI BAUXITE DEPOSITS, THE TAURUS MOUNTAIN, AYRANCI, TURKEY

Mustafa Gurhan YALCIN<sup>1†</sup>, Ibrahim COPUROGLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Akdeniz University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, , 07058, Antalya, Türkiye

<sup>2</sup> Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Niğde, Türkiye

---

### Highlights

- The age of the bauxite can be determined according to the erosion surface and subordinate rocks associated with the stratigraphic features during the formation of the bauxite.
- In the study area, Permian-Cretaceous rocks belonging to the Bolkardagi Union, one of the main tectonic units forming the Central Taurus Mountains, and Miocene units overlying these rocks are surfaced. Karamanoglu ophiolite and older units are unconformably overlain by Miocene aged units. Bauxite deposits are observed in Upper Permian aged units.
- Bauxite was formed during the Late Triassic - Early Jurassic period and then deposited in caves and dolines within carbonate rocks.

---

### Purpose and Scope

The aim of this study is to determine the age of bauxite by determining the geologic, stratigraphic and tectonic characteristics of bauxite surfaced in Ayrancı region of Bolkar Mountains.

### Design/methodology/approach

In order to achieve the aim of the study, the geology and tectonic features of the region were investigated by utilizing previous studies. Then, detailed field studies were carried out in the study area and laboratory studies were carried out on the samples taken. All information was brought together and a conclusion was reached.

### Findings

The geological features of the study area and the geological levels of bauxite ore were determined.

### Research limitations/implications

The information obtained from the study area can be compared with other regions.

### Practical implications

With this study, the formation of bauxite, geological and tectonic features have been clarified. Important data have been obtained in the search for new bauxite areas.

### Social Implications

Economically, important data were obtained for the exploration of new bauxite fields. Scientific contribution to the geology of the region.

### Originality

The data obtained for the geological properties of bauxite in this study conducted within the scope of the project are original and new information.

---

---

<sup>†</sup> İlgili yazar / Corresponding author: gurhanyalcin@akdeniz.edu.tr, +90-242-310-6381



## 1. Introduction

The area is located 15 km southeast of the Ayrancı district (Karaman) and covers an area of about 300 km<sup>2</sup> (Fig. 1). The Bolkardağı deposit is one of the largest bauxite deposits in Turkey, comprising a significant share of the world's bauxite reserves. Except for a few prospecting studies, there has been no detailed investigation on the stratigraphic setting and origin of these deposits. Based on 1/25000, scale geological maps made by previous workers (Blumenthal, 1956; Demirtaşlı et al., 1973; Selim and Demirtaşlı, 1984; Pampal, 1987; Murat and Temur, 1995), formation borders and tectonic structures were determined in the field. Since the paleontology, petrography and stratigraphy of younger units are outside the scope of the present work, most of the findings described in previous studies were accepted. Considering the age of host rocks, erosional characteristics of the area and the degree of metamorphism of surrounding rocks, the stratigraphic setting of bauxites is discussed.

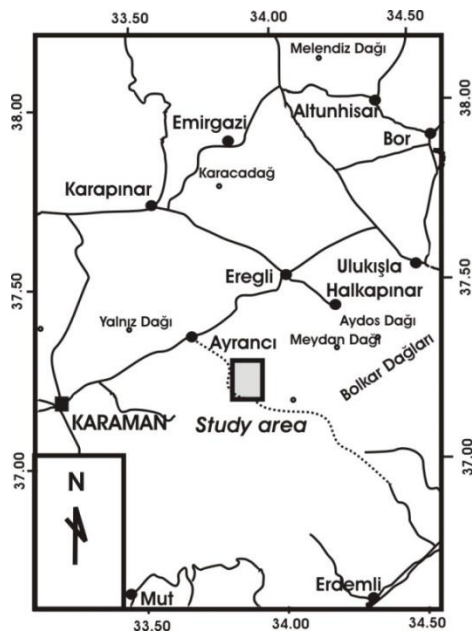


Figure 1 Location map of the study area.

Bolkar Mountain, one of the most important peaks in the central Taurides, is in the territories of Konya, Karaman, Mersin, Adana and Niğde cities. The NE-SW extending Bolkar Mountain, covering an area of about 9000 km<sup>2</sup>, is 60 km wide and 150 km long. In this respect, the stratigraphical sequence comprising the Bolkar Mountain displays some differences within its own and neighboring basins. The mountain is surrounded by the Ulukışla basin in the northwest, Ereğli-Ayrancı basin in the west, the Mut basin to the south, Adana basin to the east and southeast, and Niğde massive to the north. The first study on stratigraphy and tectonic evolution of the Bolkar Mountain was carried out by Blumenthal (1956), who states that the Bolkardağı Mass forms an E-W extending anticline in which Horoz granite is emplaced. Thereafter, the geology of the Bolkar Mountain was studied by Demirtaşlı et al. (1973), Şişman and Şenocak (1982); Selim and Demirtaşlı (1984); Demirtaşlı et al. (1983, 1986) and the lithostratigraphic units described by several formations. Bolkar Mountain consists of Permian - Upper Cretaceous carbonates, which have undergone different degrees of metamorphism, and siliciclastic and volcanic alternations, which show deformation in the elevated carbonate platform (Demirtaşlı et al., 1973; Demirtaşlı et al., 1986). Demirtaşlı et al. (1983) divided the Bolkardağı unit into 3 formations, from bottom to top, as Upper Permian aged Dedeköy Formation, Upper Triassic aged Saraycık Formation and Jurassic-Cretaceous aged Berendi limestone. Şişman and Şenocak (1981) investigated the gold and silver-containing Pb-Zn deposits in Bolkardağ and its region. They divided the Bolkardağ mineralization into Bolkardağ I field Pb-Zn-Au-Ag mineralization and Bolkardağ II field mineralization.

Özgül (1971, 1976), who first described the rock units in the central Taurides, called the Devonian-Paleocene formations as the Bolkardağı Unit. Özgül indicates that the Bolkardağı Unit forms the cover of the Menderes massif and possibly the Kırşehir massif and mostly includes metamorphites with green schist facies. The oldest fossil-containing unit of the Unit is Devonian schists and marbles (Özgül, 1971). The Carboniferous is represented by schist, quartzite and limestone, the Permian consists of recrystallized limestone with quartzite. Triassic includes shale, quartzite, limestone and dolostone, and in metamorphic regions, it includes chlorite and sericite schists. Liassic starts with base conglomerate. Jurassic and Cretaceous includes carbonate rocks. Upper Cretaceous (Cenomanian - Turonian) contains rudist limestone, Maastrichtian is represented by pelagic limestone. Maastrichtian and/or Paleocene aged the rocks at olistostrome facies constitute the uppermost unit of the the Unit (Özgül, 1976). Rock units of the Bolkardağı Unit of allochthonous character are been exposed at different regions

of the central Taurides. Pampal (1987, 1988), who studied the stratigraphy of the western sector of the Bolkar Mountain, states that Karamanoğlu Ophiolite was thrust over the Bolkardağı Unit in the late Cretaceous. Using microtectonic analyses, İşgüden (1970) determined the relationship between folding and mineralization.

The aim of this study is to determine the geological and especially stratigraphic characteristics of Bolkardağı bauxites, one of the most important bauxite formations in different regions of the Taurus Mountains. Stratigraphic features and tectonic processes of bauxite mineralization surfaced in Ayrancı region of Bolkar Mountains were determined. Within the scope of the study, the geological, stratigraphic and tectonic features during the formation and formation of bauxite were determined, the erosion surface was explained and the age of the bauxite was determined by explaining the side rock properties.

## 2. Literature Survey

The first studies on the Bolkardağı bauxites were been carried out by Wipperf (1961) and Boroviczeny (1962). Different scientists have shown interest in the region (Nicolas and Özlu 1976; Özlu 1977; Karadağ et al., 2003; Temur et al., 2003; Yalçın et al., 2005; Karadağ et al., 2006; Yalçın and İlhan 2008; Karadağ et al., 2009; Zedef and Doyen 2009; Kansun et al., 2010; Yalçın et al., 2010; Yalçın et al., 2012; Hanılçı 2013; Yalçın and İlhan 2013; Köse et al., 2021; Şimşek et al.; 2021; Atakoğlu et al., 2021; Atakoğlu and Yalçın 2021a; Atakoğlu and Yalçın 2021b). These researchers claimed that the diasporitic bauxites were formed on a discordance surface between Permian (?) aged dolomite- dolomitic limestone-limestone and Mesozoic aged sericite chlorite schist-phyllite-limestone and, subsequently, filled the karstic voids and cavities of the basement rock. Hanılçı (2013) stated that Bolkardağ bauxites are of lateritic and karstic types in large numbers within the Bolkardağ Unit. He states that gradual transition from protolite to saprolite and finally bauxite is been observed in lateritic type deposits, and states that karstic type deposits are composed of diasporite, hematite, pyrophyllite, chlorite, chamosite and anatase. Yalçın and İlhan (2013) state that Küçükkoras diasporic bauxite deposits are composed of three types of ores in NW-SE direction during the Upper Cretaceous period. These are lenses, karst fillings (sinkhole fillings) and veins. These researchers say that the bauxite in this region was been formed because of the limestone turning into terra rossa and later of the terra rossa turning into bauxite. Atakoğlu and Yalçın (2021a) stated that Sütleğen bauxites (Kaş, Antalya) were been formed in an acidic environment and that bauxites were enriched with rare earth elements in these acidic conditions. Atakoğlu and Yalçın (2021b) revealed that Sütleğen bauxites undergo moderate and strong laterization because of deferruginization in the environment and are been divided into four groups as lateritic, ferritic, kaolintic and bauxite. Şimşek et al. (2021) state that most of the poljes in the Taurus Karst Belt are located in the Isparta Angle in the Western and Central Taurus Mountains, and 65% of these poljes do not exceed 10 km<sup>2</sup>. The researcher say that these macrokarstic shapes have increased circularity index values up to 28 and elongation ratio values up to nine because of hydrological and tectonic controls.

## 3. Material and Method

A literature review was been conducted on the study area and its immediate surroundings. After the preliminary information, field studies were been carried out. The data obtained were been drawn with computer drawing programs. Thin sections were been made from the samples taken from the rocks and microscope examinations were made.

## 4. Result and Discussion

### 4.1 Stratigraphy

Permian-Cretaceous rock units of the Bolkardağı Unit (Özgül, 1976) and Miocene cover units are been exposed in the study area (Figs. 2 and 3). In the Bozkır-Akseki region, the Devonian Hocalar Formation (Özgül, 1997; Temur et al., 2005), consisting of marble, sandstone and schist is not observed in the Bolkardağı. The sequence in the study area begins with the Upper Permian Dedeköy Formation (Fig. 4). Lower and upper levels of this formation are been dominated by dolostone and limestone, respectively. It is conformably overlies by the Lower Triassic Saraycık Formation, consisting of schist, phyllite, metasandstone and marble alternation. Vein rocks (Kasır Diabase) intercut the Saraycık formation with a maximum diameter of 50-60 m. These dykes were been probably intruded in the Middle Triassic. The Upper Triassic carbonate rocks (upper marbles), forming a thick sequence at northern part of Bolkar Mountains, are observed in the western and southern sections of the region. In the study area, the Saraycık Formation and other older units are unconformably set above the Jurassic-Cretaceous Berendi Formation. The Upper Cretaceous Karamanoğlu Ophiolite is been thrust over the Berendi Formation, observed as a thick carbonate sequence.

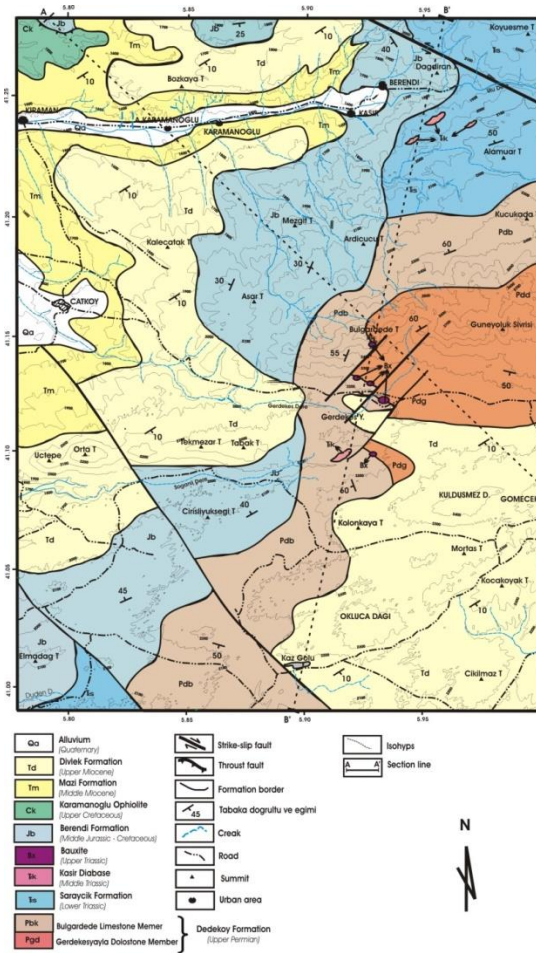


Figure 2 Geological map of the study area.

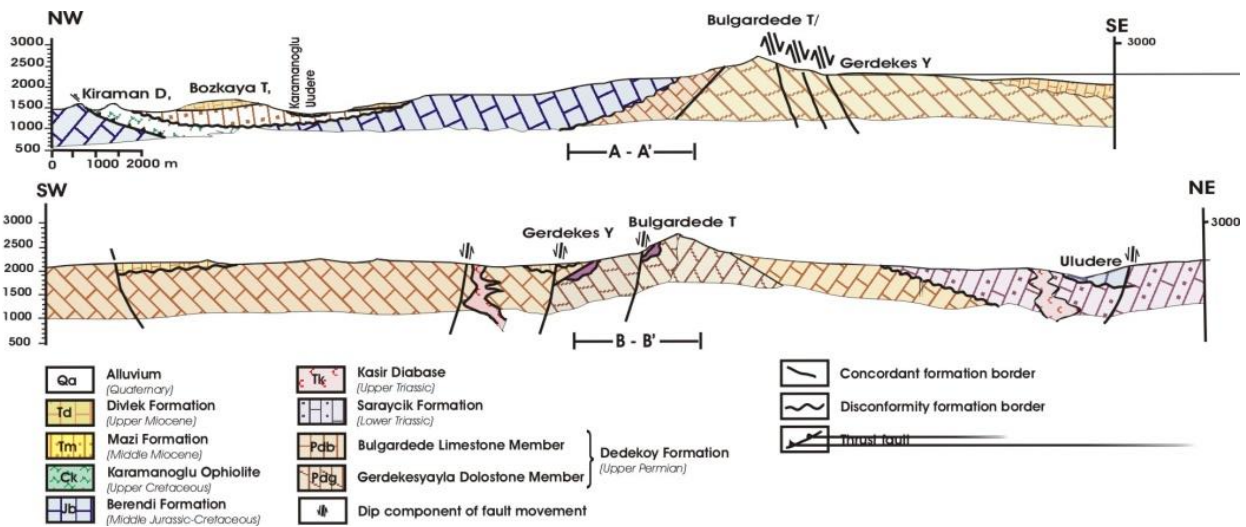


Figure 3. Geological sections of the study area.

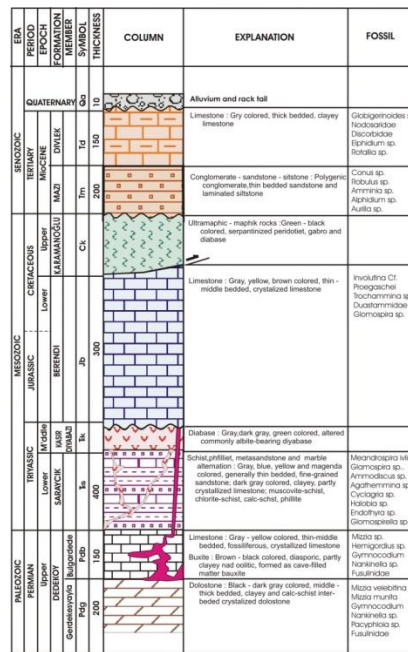


Figure 4. Stratigraphical section for rocks exposed in the study area.

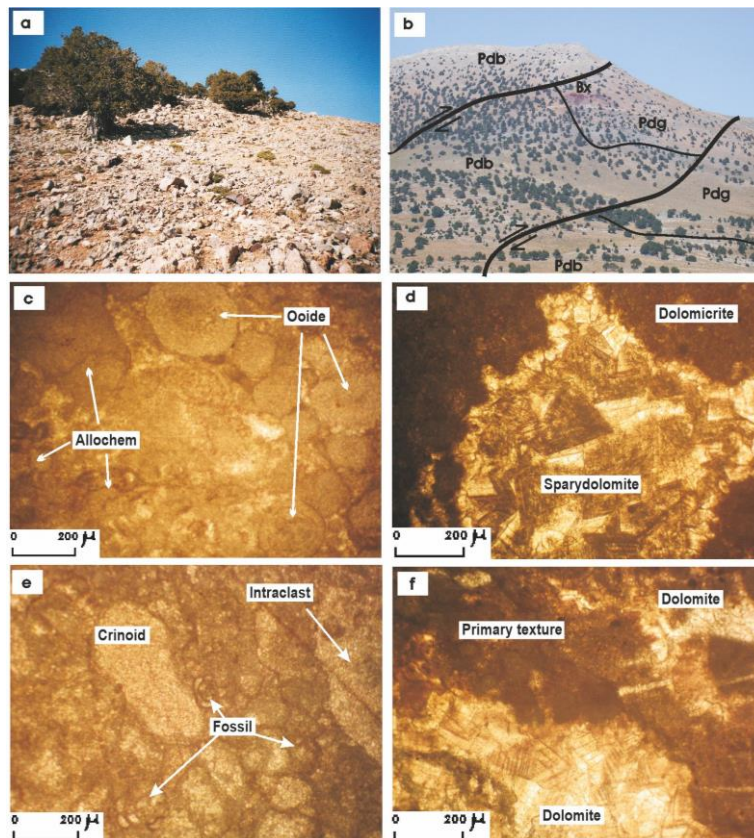
At a northern part of the Bolkar Mountains, there is a thick sequence consisting of a sandstone–shale–limestone alternation developed in Paleocene volcano-sedimentary rocks and Eocene turbidite facies, but it is not been observed in the western and southern part of Bolkardağı. In the western part of the study area, Miocene Mazı and Divlek formations are unconformably set above the ophiolites. Of these two concordant formations, the Mazı Formation is composed of conglomerate and sandstone, while the Divlek Formation is of clayey limestone. Bauxite deposits in the region are found within the Upper Permian Dedeköy formation, between the Gerdekesyayla Dolostone and Bulgardede Limestone members, and also in the limestone. Geological setting and metamorphism degree of these diasporitic bauxites reveal that they were formed during the Late Triassic–Early Jurassic (?) within the Upper Permian carbonate rocks and above the Lower Triassic shale–sandstone–limestone alternation and then transported into the doline and caves of carbonate rocks.

4.1.1. Dedeköy Formation (Pd)

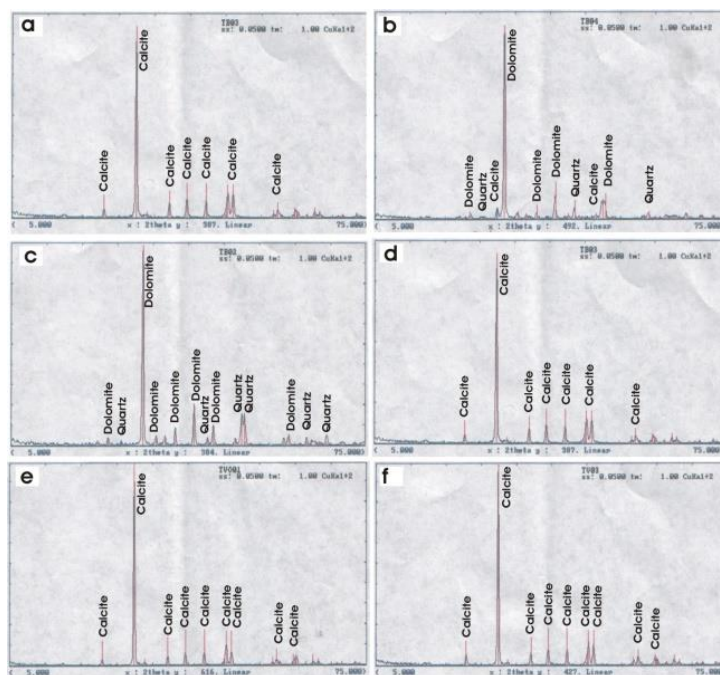
The lower levels of this formation are composed of black, crystalline, medium-to-thick bedded, local schist-alternated dolostones, while the upper sections are of gray/beige-colored, thin-to-medium bedded, crystalline limestones. The name of the formation comes from Dedeköy to the east of Ereğli (Demirtaşlı et al., 1983). Dolostone and limestones of the Dedeköy Formation are divided into two distinct levels by means of color and appearance, which can be detected as dolomitic interlayers. The bauxite deposits are always above the dolomitic level and at the basement, within or above the limestone (Yalçın et al., 2005). In this respect, dolostone and limestone levels of the formation were been differentiated as members, namely the Gerdekesyayla Dolostone Member and the Bulgardede Limestone Member.

4.1.1.1. Gerdekesyayla Dolostone Member (Pdg)

In general, this member consists of gray/black-colored, medium-to-thick bedded, dolomitic marbles. Because of the varying clayey material content, the unit changes to marl and schists over short distances. The bedding is disturbed and exposures are blocky in appearance (Fig. 5a), and lamination is very common. Gray, blue and locally green schists alternate with dolostones. The schists are composed of chlorite-schist, albite-schist and quartz-schist, or in some cases, chalk-schist. In addition, they also contain epidote, muscovite and lesser amounts of opaque minerals. XRD analyses indicate that carbonates are generally composed of dolomite and rarely calcite, and contain quartz and less calcite (Figs. 5d and 6).



**Figure 5.** Field and thin section views of the Dedeköy Formation: **(a)** Dark-gray, black colored, peculiar bedded dolostones of the Gerdekesyayla Dolostone Member, SW of Gerdekes Plateau; **(b)** Discordant and faulted contact at the southern slope of Bulgardeade Hill between dark-gray, black colored Gerdekesyayla Dolostone Member (Pdb) and Bulgardeade Limestone Member (Pdb), consisting of gray marbles and bauxite deposits (Bx) developed on the contact line; **(c)** Sparydolomite filling the voids of dolomicrites (painted with alizarine red, //N); **(d)** Ooide and allochems preserved in the dolostone (painted with alizarine red, //N); **(e)** Crinoid, intraclast and fossil shells preserved in the dolostone (painted with alizarine red, //N); **(f)** Partly preserved primary texture in dolostone and completely dolomitized parts (//N).



**Figure 6.** XRD diffractograms for the Dedeköy Formation, **(a)** Gerdekesyayla Dolostone Member: calcite; **(b)** Gerdekesyayla Dolostone Member: dolomite, calcite and quartz; **(c)** Gerdekesyayla Dolostone Member: dolomite and quartz; **(d)** Gerdekesyayla Dolostone Member: calcite; **(e and f)** Bulgardeade Limestone Member: calcite.

Dolostone has generally been fractured and filled with white calcite bands. Karstic structures are rarely or never developed. Primary texture in the dolostone is partly preserved. In some cases, rhombohedral dolomite crystals fill the wedge-shaped dolomicrites (Fig. 5c). Some components, such as intraclast, fossil, pellet, ooide and allochems, are partly preserved and dolomitized (Fig. 5d and e). The most common allochem types are echinoid and crinoid fragments. In some parts, the primary texture is partly (Fig. 5f) or completely damaged, and dirty and clear dolomite crystals are randomly scattered. As a result, non-mimetic dolomite crystals are been formed.

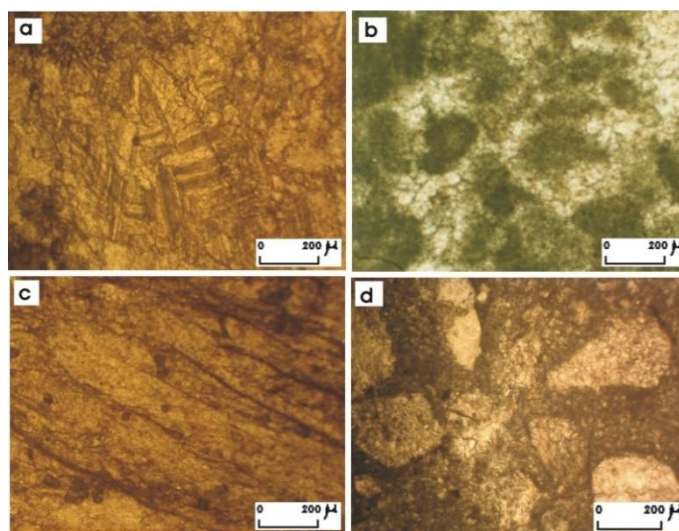
The dolostone basements, which are widely exposed at eastern parts of the Gerdekes Plateau, are not been observed approximately the study area. In the Hadim-Bozkır-Akseki region, the Hocalar Formation (Özgül 1997; Temur et al., 2005), consisting of Devonian marble, metasandstone and schists, is found at the bottom of the Bolkardağı Unit. The Bulgardede Limestone Member of the same formation conformably overlies it. The younger bauxites (Fig. 5b), developed along the contact of these two units, are found as fills in karstic spaces of older units. Since its basement is not seen, the thickness of Gerdekesyayla Dolostone Member could not be determined. However, visible thickness is more than 200 m. Selim and Demirtaşlı (1984) proposed a thickness of 600 m for the formation around Büyükdede village (Ereğli, Konya), which is the typical site of the unit. In the Horoz village (Ulukışla, Niğde), the thickness of the Lower Marbles unit, which is a continuation of the same formation, is given as 1000 m by Şişman and Şenocak (1982) and 200–250 m by Temur (1989).

On the basis of *Mizzia velebitina* Schub, *Mizzia munita*, *Gymnocodium* sp., *Nankinella* sp., *Pacyphloia* sp. and *Fuzulinidae* fossil assemblages (Demirtaşlı et al., 1973; Selim and Demirtaşlı, 1984; Sevgil, 1984), the age of the member is suggested as Upper Permian – this age was adopted in the present study.

Due to metamorphism, primary texture of the units was largely been damaged. Considering its general features, it can be assumed that the unit was deposited in a shallow carbonate platform where terrestrial material input was high. Dolomitization probably took place following diagenesis via Mg-rich solutions derived from clays and/or Kasır Diabase.

#### 4.1.1.2. Bulgardede Limestone Member (Pdb)

The unit is generally composed of gray/beige-colored, thin-to-medium bedded, locally laminated crystalline limestones (marble). Dolomitization is rarely been developed, while limestone is mostly fractured. Several karstic structures, such as rillenkarren, channel, cut and fill, are been developed on the surface. Recrystallization greatly damaged the primary texture of the rock. XRD data indicate that rock is completely composed of calcite (Fig. 7a). In areas where primary features are partly preserved, rock is been observed as biosparite (Fig. 7b) or as calc-schist (Fig. 7c) or chlorite-schist if the clay ratio is increased. In fault and crushed parts, clays, filling the spaces between the dolostone breccias, give rise to the development of a mylonitic texture (Fig. 7d).



**Figure 7.** Thin section views for the Bulgardede Limestone Member: **(a)** Sugar textured, coarse crystalline marble (painted with alizarine red, //N); **(b)** Biosparite preserved among the marbles (//N); **(c)** Calc-schist developed between the limestone beds due to increasing clay ratio (//N); **(d)** Mylonitic marble (painted with alizarine red, //N).

Limestone, exposed around the Kaz Lake to the south of the study area, extends to the Gerdekes Plateau, Bulgardede and Küçükada Hills. The Gerdekesyayla Dolostone Member of the same formation is found at the base of the unit. Bauxites developed along the contact between these two units are younger and found in karstic voids of older units. Limestone is unconformably overlain by the Saraycık formation. The Kasır Diabase veins cut the dolostone and schist.

On the basis of field observations and geologic sections, thickness of limestone is more than 150 m. Since previous workers did not differentiate the units in members, there are no data on unit thickness. Considering the fossil assemblage of *Mizzia velebitina* Schub, *Mizzia munita*, *Gymnocodium* sp., *Nankinella* sp., *Pacyphloia* sp. and *Fuzulinidae* found by Demirtaşlı et al. (1973), Selim and Demirtaşlı (1984) and Sevgil (1984) and also *Mizzia* sp., *Hemigordius* sp. and *Stafella* sp. determined in the present study, the unit age is accepted as upper Permian. This date is also consistent with the stratigraphic setting of the unit.

Due to metamorphism, primary structure and texture of the unit have largely damaged. Considering its general features, the unit was been deposited in a carbonate platform deeper than Gerdekesyayla Dolostone Member.

#### 4.1.2. Saraycık Formation (TRs)

The formation is been composed of phyllite, slate, metasandstone and marble alternations. It was been first differentiated by Blumenthal (1956) and called the Gerdekes formation. Demirtaşlı et al. (1973), Selim and Demirtaşlı (1984) and Demirtaşlı et al. (1983, 1986) have also used the same name. However, in those studies, limestone at the top of the unit was included in the same formation or evaluated together with the formation. Selim and Demirtaşlı (1984) stated that the typical site of the formation is 4 km west of the Bulgardede Hill (Gerdekes Plateau), where the Triassic units are not exposed. In another work including some part of the study area, Pampal (1987) described the unit in detail and called it the Saraycık Formation – this name is also used in the present study.

Schist, phyllite, slate, metasandstone and marble, comprising the Saraycık Formation, alternate with each other in varying thicknesses from the bottom to the top of the formation. These units generally display gradual lateral and vertical transitions. Therefore, it is very difficult to map the general stratigraphic sequence. However, pelitic levels dominate the upper parts of the formation and thickness of carbonates increased upward. This is been more pronounced around the Korkuyu Plateau to the NE of the area. A 30–40 m limestone–dolomitic limestone level is been always found at the top of the formation.

Schist and phyllite that are generally beige, gray, red and brown colored and colors are changeable over short distances, depending on mineral types. This lithology has a distinct foliation and is been irregularly folded. The unit that underwent a green-schist metamorphism is composed of chalk-schist, sericite-chlorite schist, quartz-albite-schist and phyllite, while, mineralogical, it is composed of calcite, chlorite, sericite, muscovite, tremolite, quartz, albite, leucoxene and opaque minerals. Considering the mineralogical composition of these rocks, they are been believed to be composed primarily of pelitic material of mudstone, siltstone and claystone. Other slate characteristics are gray-black color, thin-to-medium bedded, foliated and oily brilliant. Among them, there are white-gray colored quartzite lenses and bands of a maximum thickness of 1 m. As the grain size increases, slates gradually change to metasandstone and schists.

Gray colored metasandstone is thin (1–5 m), alternating with schist and slates, and is cemented with a clayey material. More than 60% of grains are composed of quartz, relict carbonate and other rock fragments. The unit is been fine grained, well sorted and grains are well rounded. Quartz generally shows a wavy extinction. Plagioclase, chlorite, muscovite, biotite and calcite are been found in the matrix. The continuity of the unit can be traced for a few hundred meters. Metasandstone is been believed to be composed primarily of litarenite and calkarenite.

Carbonate rocks within the formation are always clayey and the clay ratio is 10–20%. Nodular limestone is been observed in pelitic parts in the transition to schist. Dark gray, thick-bedded parts are generally dolomitic in character. Limestone is yellowish to brownish colored and contains abundant fossils. Chert nodules are very common. Intrasparite, biosparite and intrapelsparite are very distinct, if crystallization is weakly developed.

Total thickness of units in the formation is been reported as 700 m by Demirtaşlı et al. (1973), 750 m by Selim and Demirtaşlı (1984), 600 m by Pampal (1987) and 200–250 m by Temur (1989). Since the top of the formation is unconformable and foldings are very common, the thickness is unclear. Based on geological sections, thickness is been estimated as 500 m. The Saraycık formation, covering a small area, is exposed in the SW and NE parts of the region.

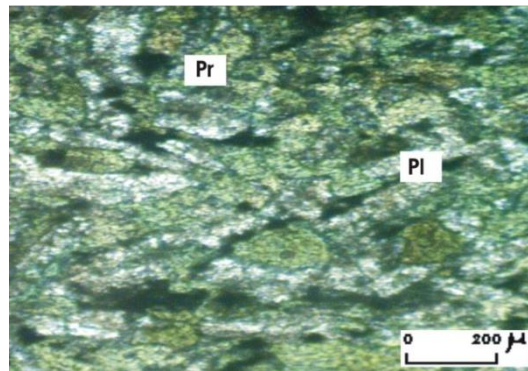
The Saraycık Formation conformably covers the Permian carbonates and is easily distinguished with its abundant pelitic rocks. The limestone of the Jurassic–Cretaceous Berendi Formation unconformably overlies it (Fig. 4). Middle Triassic diabase dykes cuts the units of this formation. In addition, bauxite in the region were formed under terrestrial conditions during the Late Triassic–Early Jurassic (?) and was transported into the carbonate rocks under the sequence, filling the karstic spaces.

Based on fossil assemblage of *Meandrosira ivlina*, *Glomospira* sp., *Ammodiscus* sp., *Agathemmina* sp., *Cyclagria* sp., *Trochammina* sp., *Endothyra* sp., *Glomospirella* sp., *Halobia superbu* MOSSISOVICS, *Halobia sydriaca*, *Halobia* sp., *Miyophoria micrasitica* determined by Demirtaşlı et al. (1973), Selim and Demirtaşlı (1984) and Pampal

(1988), the age of formation is Lower–Middle Triassic. According to Selim and Demirtaşlı (1984), formation units were deposited in a marine shelf close to the carbonate platform. Çalapkulu (1980) describes the unit as the southwest continuation of the Bolkardağı schists, which are exposed approximately Horoz village to the NE of the Bolkar Mountain. The degree of metamorphism decreases from northeast to southwest. Around the Yüglük Mountain, southeast of Karaman, gray oolitic limestones of the Lower–Middle Triassic Kurucan Formation are exposed (Bilgiç and Gökten, 2005) and these units are thought to be southern continuation of the Saraycık formation.

#### 4.1.3. Kasır Diabase (TRk)

The vein rocks, composed of albite-diabase, were first described by Selim and Demirtaşlı (1984), but they were not named. The magmatic rock is exposed around Berendi and, since this name was used for another formation, these rocks were named as Kasır Diabase. Diabase in dark gray, black and greenish colors is extremely altered. Considering its petrographic features, they show ophitic and subophitic texture. Its mineralogical composition is albite, pyroxene and altered mafic minerals (Fig. 8). Schistosity structure and mineral orientations are very common. Sericitization, chloritization silicification, epidotization and calcite formation are frequently observed.



**Figure 8.** Distribution of pyroxene (Pr) and plagioclase (Pl) grains in the Kasır Diabase (XN).

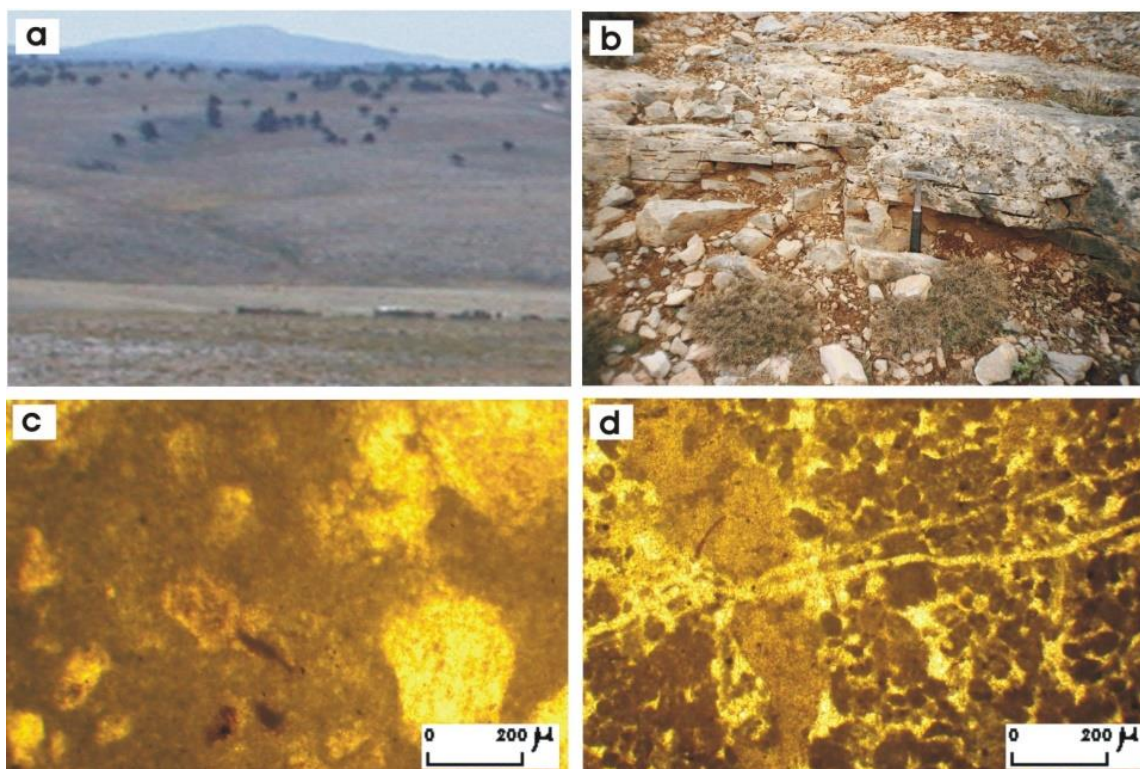
In the study area, diabase has a limited distribution. Areas comprised of diabase are southwest of Berendi, Gerdekes Plateau. Since veins of the Kasır Diabase cut the carbonate rocks of the Upper Permian Dedeköy Formation and schist, slate and metasandstones of the Lower Triassic Saraycık formation, the age of diabase might be Middle Triassic or younger. Their relationship to other units in the area could not be determined. Dolostone and limestone of the Middle–Upper Triassic Elmadağ Formation and turbiditic sandstone and limestone of the Düden Formation were exposed around the Yüglük Mountain, southwest of Karaman, 80 km south of the area (Bilgiç and Gökten, 2005). This may indicate that Bolkardağı in the eastern end of the area were uplifted during the Late Triassic, while deposition at the south was continued in carbonate and turbiditic facies. The Kasır Diabase might have developed as the first magmatic products of the ocean, which was opened at the western Bolkar Mountain.

#### 4.1.4. Berendi Formation (Jb)

This formation is generally composed of gray-, yellow-, beige-colored, thick bedded and well crystallized limestone. The carbonate rocks in the region were first named as the Berendi Formation by Demirtaşlı et al. (1973) and the same name was also used by Selim and Demirtaşlı (1984) and Demirtaşlı et al. (1983; 1986). However, some of the Upper Triassic carbonates were included in the Saraycık Formation by some workers (Pampal 1988, Murat 1992, Murat and Temur 1995). Limestone, comprising the thickest part of the formation and exposed on the Medetsiz, Aydos and Meydan peaks of the Bolkar Mountain, were determined to be in the Jurassic–Cretaceous age. In this respect, the name of the Berendi Formation was used by these workers for Jurassic–Cretaceous carbonate rocks and this name was also adopted in the present study.

Carbonate rocks of the Berendi Formation that comprise a thick sequence at the Bolkar Mountain are generally unique in appearance. However, color, layer thickness, clay content, dolomitization and degree of metamorphism may change from the bottom to the top and from southwest to northeast. In general, limestone of the Berendi Formation is gray colored (Fig. 9a) and thick (40–100 cm) bedded. As the clay content increases, it can be observed in yellow, beige and cream colors, and layer thickness may be less than 20 cm in some places (Fig. 9b). Chert bands, parallel to bedding are very common. Bedding is generally regular and distinct. Intense fractures are filled with white calcite of 1–2 mm thickness. The limestone is compact, resistant and fragile. Lower levels are composed of marble and their primary structural–textural characteristics are almost disturbed. Upper level is made of sparite, biosparite, pelsparite, packed biosparite (Fig. 9c) or packed pelsparite (Fig. 9d). Black-colored bituminous layers are also observed locally. Clay content of marl–chalk schist levels is up to 20%.

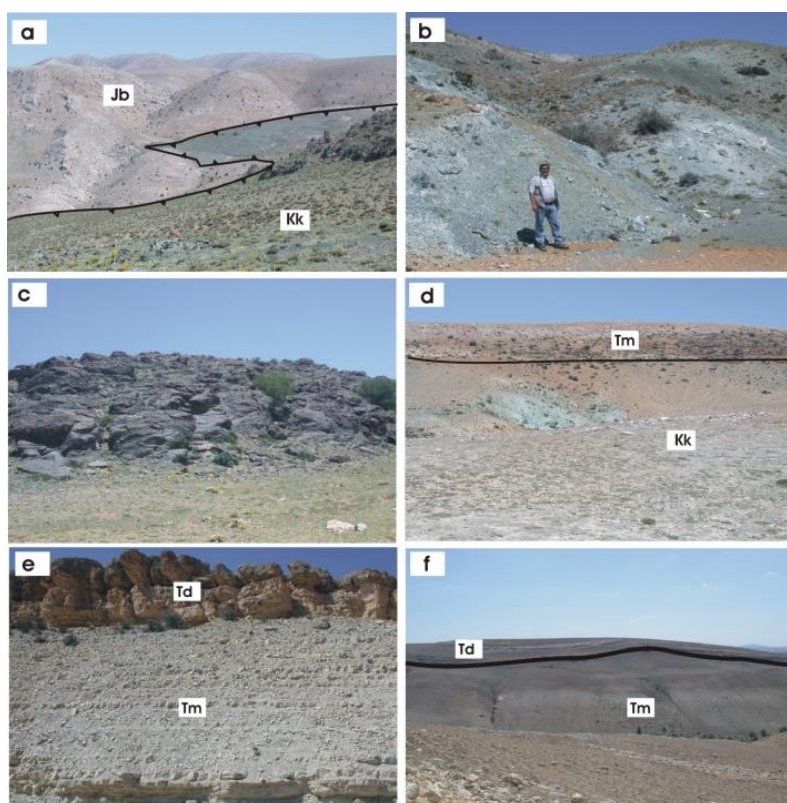




**Figure 9.** Field and thin section views for the Berendi Formation. **(a)** View of gray limestones of the Berendi Formation, SW of the Gerdekes Plateau; **(b)** thin-bedded, clayey limestone (south of Elemadağ) of the Berendi Formation; **(c)** packed biosparite (/N); **(d)** packed pelsparite (/N).

Based on results of mineral counts on 10 thin sections from the thick-bedded limestone of the formation, 0–5% of the rock is composed of calcite, 2–5% is dolomite and 2–5% is quartz. In general, sugar texture is dominant and the length of calcite crystals does not exceed one (1) mm. Sericite and opaque minerals are rarely observed. According to Demirtaşlı et al. (1973), there is a thick dolostone level, particularly at the bottom part of the formation. In places of high clay content, rock contains 30% muscovite, sericite and quartz.

Thickness of formation is been given as 500 m by Demirtaşlı et al. (1973), 700 m by Pampal (1987) and 1500 m by Çalapkulu (1980) and Temur (1989). A 250–300 m bottom layer of the unit is been exposed in the study area. Limestone of the Berendi Formation is set above the Lower Triassic Saraycık Formation and other older units with an angular unconformity. It is been overlain by the Karamanoğlu Ophiolite (Fig. 10a) and it is also unconformably covered with Tertiary Mazı and Divlek formations.



**Figure 10.** Views of contact relations between the Berendi, Mazi, Divlek formations and Karamanoğlu Ophiolite. **(a)** Upper Cretaceous Karamanoğlu Ophiolite (Ck) thrusting over the Jurassic–Cretaceous Berendi Formation (Jb). **(b)** Serpentinized ultrabasic rocks of the Karamanoğlu Ophiolite. **(c)** Dark green-black colored diabase and gabbros from the Karamanoğlu Ophiolite. **(d)** Detrital sedimentary rocks of the Middle Miocene Mazi Formation (Tm) that unconformably cover the serpentinites of the Karamanoğlu Ophiolite (Ck). **(e and f)** Concordant contact relations between Miocene Mazi (Tm) and Divlek (Td) formations and low-angle folding structure.

The Berendi formation, exposed along a line from southwest to northeast in the area, comprises Elmadağ, Cirisliyükseği Hill, Asar Hill, Ardıçucu Hill, Mezgit Hill and Berendi. Based on *Involutina Cf.*, *Praegaschei*, *Trochammina sp.*, *Duastammidae*, *Glomospira sp.* fossil assemblages determined by Demirtaşlı et al. (1973), the age of the Berendi Formation is Middle Jurassic–Cretaceous and formation was deposited in a shallow, stable carbonate platform.

#### 4.1.5. Karamanoğlu Ophiolite (Ck)

The unit is composed of green-colored, grained ultrabasic and basic rocks. Demirtaşlı et al. (1973) included the unit in the Alihoca Ophiolite at northern Bolkar Mountain. Pampal (1987) renamed the formation as Karamanoğlu Ophiolitic Mélange. However, since ophiolites exposed in the area do not show a mélangé character, the unit was been named Karamanoğlu Ophiolite.

It is composed mainly of serpentinite, diabase, gabbro, pyroxenite and peridotite. Peridotite is green-, brown-, black-colored and it is always serpentinitized (Fig. 10b). Peridotite is made of dunite and changes to harzburgite over short distances. Dunite is red-brown colored and is been coated with iron, depending on alteration. Pyroxenite is commonly serpentinitized and chloritized. Clinopyroxenes are mostly in augite composition. Uralitization occurs in places where pyroxenes are been changed to amphiboles. In serpentinitized area, the unit is dark green-olive green in color. Coarse pyroxene grains are been easily identified by the naked eye. In general, olivine is composed of pyroxene. Hornblende and opaque minerals are also been found. Gabbro are blackish green colored (Fig. 10c), containing coarse hornblende grains. Hornblende is locally chloritized. Diabase is composed of plagioclase, clinopyroxene and hornblende, as well as abundant epidote. In diabase, the spaces between phenocrystals are been filled with serpentine and iron oxides.

Depending on alteration, kaolinization, talcization, chloritization, serpentinitization and asbestos formation are very common within the Karamanoğlu Ophiolite. Talcization at the north of Karaman gave rise to exploration of talc occurrences and deposits in this area (Murat and Temur, 1995). Perfect chrysotile asbestos occurrences of 10 cm in length are been found within the serpentinite fractures. Olivines, observed particularly in peridotites, are extremely altered and serpentinitized. Diabase dykes cut the other units. Their fresh surfaces are dark green-black colored and the alteration surfaces are brown.

The Karamanoğlu Ophiolite is been exposed over a narrow part in northeastern section of the area. It is been thrust over the Middle Jurassic–Cretaceous Berendi Formation. It is been unconformably overlain by the Miocene Mazı Formation (Fig. 10d). The Karamanoğlu Ophiolite is the southern continuation of the so-called Alihoca Ophiolite unit (Demirtaşlı et al., 1973; Çalapkulu, 1980; Temur, 1991; Baş and Temur, 1991), exposed around Pozantı, north of the Bolkar Mountain. Demirtaşlı et al. (1983) found Late Campanian fossils in limestone blocks within the ophiolites around Berendi. Therefore, ophiolites have emplaced following Campanian. Emplacement age of ophiolites is given as Upper Cretaceous–Lower Paleocene by Pampal (1987) and as Campanian by Murat (1992). In this study, emplacement age of ophiolites is been accepted as Late Cretaceous (Maastrichtian). Ophiolitic complex, known as the Eğriçayır Mélange, exposed around the Yüğük Mountain, southeast of Karaman, was been also reported to have an emplacement age of Upper Maastrichtian (Bilgiç and Gökten, 2005).

#### 4.1.6. Mazı Formation (Tm)

It is composed of conglomerate, sandstone, siltstone and mudstone. The same unit was been named and described as the Ortaköy Formation, around Mut, by Sezer (1970), the Derinçay Formation by Gedik et al. (1979), the Kıraman Formation by Pampal (1987) and the Mazı Formation by Murat (1992). In this study, the name, Mazı Formation, was been used due to its suitability to the lithology.

There is a regular grading from bottom to top of the formation and the unit starts with conglomerate at the bottom and gradually changes to sandstone, siltstone and mudstone to the top. The conglomerate grains are composed mostly of limestone and ophiolite fragments of the older formations. It is generally coarse-grained, angular and poorly sorted. The conglomerate level is red colored. Grains are been bounded with carbonaceous and clayey cement. The sandstone level is gray–beige in color, thin medium bedded and in transition to conglomerate. The siltstone and mudstone levels are brown-, pink-, and yellow-colored, thin bedded and laminated. They have soft and fragile in structure.

Thickness of the Mazı Formation is been given as 400 m by Demirtaşlı et al. (1973) and Pampal (1987) and 150 m by Murat (1992). Formation attains a thickness of 200 m around Çatköy. It is been exposed around the Çatköy, Kıraman and Karamanoğlu villages in the western part of the study area. Units of the Mazı Formation, starting with a basement conglomerate, cover the Upper Cretaceous Karamanoğlu Ophiolite and other older units with an angular unconformity. Formation is been conformably overlain by clayey limestones of the Upper Miocene Divlek Formation (Fig. 10e, f). On the basis of *Conus* sp., *Flabellipecten solarium* LAMARCK, *Cylypeaster altus* KLEIN, *Robulus* sp., *Ammonia* sp., *Alphidium* sp., *Aurilla* sp., *Cancris auriculus* FICHTEL, *Helicosphaera kumptneri*, *Cocolithus pelagcus*, *Globigerinidae*, *Discorbidae*, *Textularidae* fossil assemblages determined in detrital sediments of the formation (Pampal, 1987 and Özdoğan, 2004), the age of the unit is Middle Miocene.

Units of the Mazı Formation were been deposited in a bowl-shaped marine basin during the Middle Miocene. By a deepening and filling of marginal parts of the basin with conglomerates, sandstones and siltstones were been deposited, which gradually changed to clayey limestone with increasing carbonate accumulation. According to Köksoy (2004), conglomerates mostly reflect fluvial conditions and gradually change to an open marine environment.

#### 4.1.7. Divlek Formation (Td)

The Divlek Formation is composed of gray-beige colored, thick-bedded, oolitic limestones. The name of the formation was been given by Murat (1992) after the village, northwest of the area.

The limestone of the formation is gray/yellow/beige colored and the color tone changes over short vertical and horizontal distances. Bedding is generally thick (70–100 cm) and massive in appearance. In some places, thin-bedded clayey limestone and marl levels are been observed. Oolites are very distinctive and common. Limestone is generally soft and fragile. It contains vast amounts of macro algae, foraminiferans, gastropods, lamellibranches and coral fossils. Limestone is of oolite-biomicrite, pelmicrite and biosparite character. Oolites comprise more than 20% of the rock and they been also contain 1–2% quartz fragments (Pampal, 1987).

Limestone of the Divlek Formation is conformably set above the Mazı Formation (Fig. 10e, f). The limestone, which is the youngest unit of the area, is been overlain by Quaternary alluvium.

Thickness of formation is been given as 600–800 m by Selim and Demirtaşlı (1984), 50 m by Pampal (1987) and 100 m by Murat (1992). Since there are numerous lenticular inclusions in limestones, thickness change over short distances. Thickness was been calculated as 150 m from the topographic position around Kirman where the unit is well exposed. The Divlek Formation covers large areas around Çatköy, Kıraman, Karamanoğlu, Berendi, the eastern part of the Gerdekes Plateau, Küldüşmez, Gömecek and Okluca Mountain (Fig. 2).

On the basis of *Globigerine paebollidae*, *Globigerinoides* sp., *Globirotalia*, *Globigerinoita*, *Nodosaridae*,

Discorbidae, *Orbulina universa*, *Amphistegina* sp., *Meterostegina* sp., *Elphidium* sp., *Lithotamnium* sp., *Flabellipecten fagicus*, *Ostrea creasisima*, *Clyseaster* sp., *Spirolina* sp., *Archias* sp., *Rotallia* sp., *Cymbeloporetta* sp. and *Catapysdyrax* fossils obtained from limestones, the age of formation is been accepted as Upper Miocene (Selim and Demirtaşlı, 1984; Pampal, 1987; Köksoy, 2004; Özdoğan, 2004).

Oolitic and clayey limestone of the Divlek Formation might have deposited on a shallow and high-energy sea floor where coarse-grained materials cannot transported. The fossiliferous limestone is of reef character (Gedik et al., 1979). According to Köksoy (2004) – open marine environment at the beginning changed to a shallow marine facies over time. The Divlek Formation can be lithologically and chronologically correlated with the Mut Formation (Sezer, 1970; Gedik et al., 1979) and the Karaisalı Formation (Schmit, 1961; Pampal, 1988), which is widely exposed within the southern part of the study area.

#### 4.2. Tectonic Structures

Units exposed in the study area are located on the central Taurid Belt and included the Bolkardağı Unit, which is one of the tectonic units described by Özgül (1976). The Bolkar Mountain is a SW–NE extending mountain chain with a width of 60 km and length of 150 km. It corresponds to a major anticline that developed in the same direction (Blumenthal, 1956). The study area is located at the western edge of the northwest wing of this anticline. The anticline was been folded during the Early Paleocene–Middle Eocene (Çalapkulu, 1980; Temur 1989). Based on this structure, Paleozoic and Mesozoic units in the study area are supposed to strike to NE–SW and dip to the NW. However, these orientations have been largely disturbed due to local foldings.

There are two main discordant surfaces in the study area. One of them is been found at the basement of the Jurassic–Cretaceous Berendi Formation and reflects the Late Triassic terrestrial period. Paleozoic and Triassic units that formed prior to this transgression are generally in a NE–SW direction and dip to the NW at 50–60°. The second discordance is at the basement of the Miocene units. The Berendi Formation limestone that was been deposited between the two discordances is also in a NE–SW direction and dips to the NW at 50–60°. The Miocene units above the second discordance are in a NE–SW direction and dip to the SE at 10–15°.

There is a major thrust fold in the area. This fault, probably from the Maastrichtian age, gave rise to overriding of mafic-ultramafic rocks of the Karamanoğlu Ophiolite on the Bolkardağı Units. There are also several strike-slip faults that was been developed in parallel to the general tectonic orientation in the region. Although some of them have already been mapped (Fig. 2), there are still unmapped faults of similar trend.

#### 4.3. Metamorphism

Dolostone and limestone of the Upper Permian Dedeköy formation, sandstone, shale and carbonates of the Lower Triassic Saraycık Formation and Late Triassic bauxites were been metamorphosed into green schist facies, and changed to schist, phyllite, slate, metasandstone, marble and diasporite. The limestone of the Jurassic–Cretaceous Berendi Formation reflects a metamorphism degree, decreasing from bottom to the top. The Upper Cretaceous Karamanoğlu Ophiolites above these units show low-degree metamorphism. Because of this metamorphism, foliation structures developed in serpentinites and these rocks became serpentine-schist. In this respect, the age of metamorphism could be Cretaceous–Paleocene.

By the Early Cretaceous, metamorphism was advancing in the units buried under the thick Mesozoic sediments and, due to compression by the Late Cretaceous; these units were been thrust by the ophiolites, resulting in folding. Thus, with the thickening and compression of the crust in the Paleocene, metamorphism in underlying units advanced to green schist facies. Since burial and folding processes were more effective in north and eastern parts of the Bolkar Mountains, the degree of metamorphism increased and S-type Horoz Granodiorite that was intruded during the Late Paleocene–Early Eocene (Çalapkulu, 1980; Temur 1989).

#### 4.4. Geological Development

Metasediments of the Devonian Hocalar Formation, not exposed in the study but in a wide zone between Seydişehir (Konya) and Akseki (Antalya), is the oldest lithology of the Bolkardağı Units (Özçelik, 1984; Özgül 1997; Temur et al., 2005). Özçelik (1984) mentions that units of the Hocalar Formation were deposited in a neritic environment and Özgül (1997) states that the unit was deposited in a low-energy shelf environment under the wave base, where terrestrial material input is high and patch reefs developed (Fig. 11a). With the initiation of uplift activities in the basin where the Bolkardağı Unit was deposited, terrestrial conditions prevailed and during the Carboniferous–Early Permian period, erosion–transportation processes were dominant (Fig. 11b).

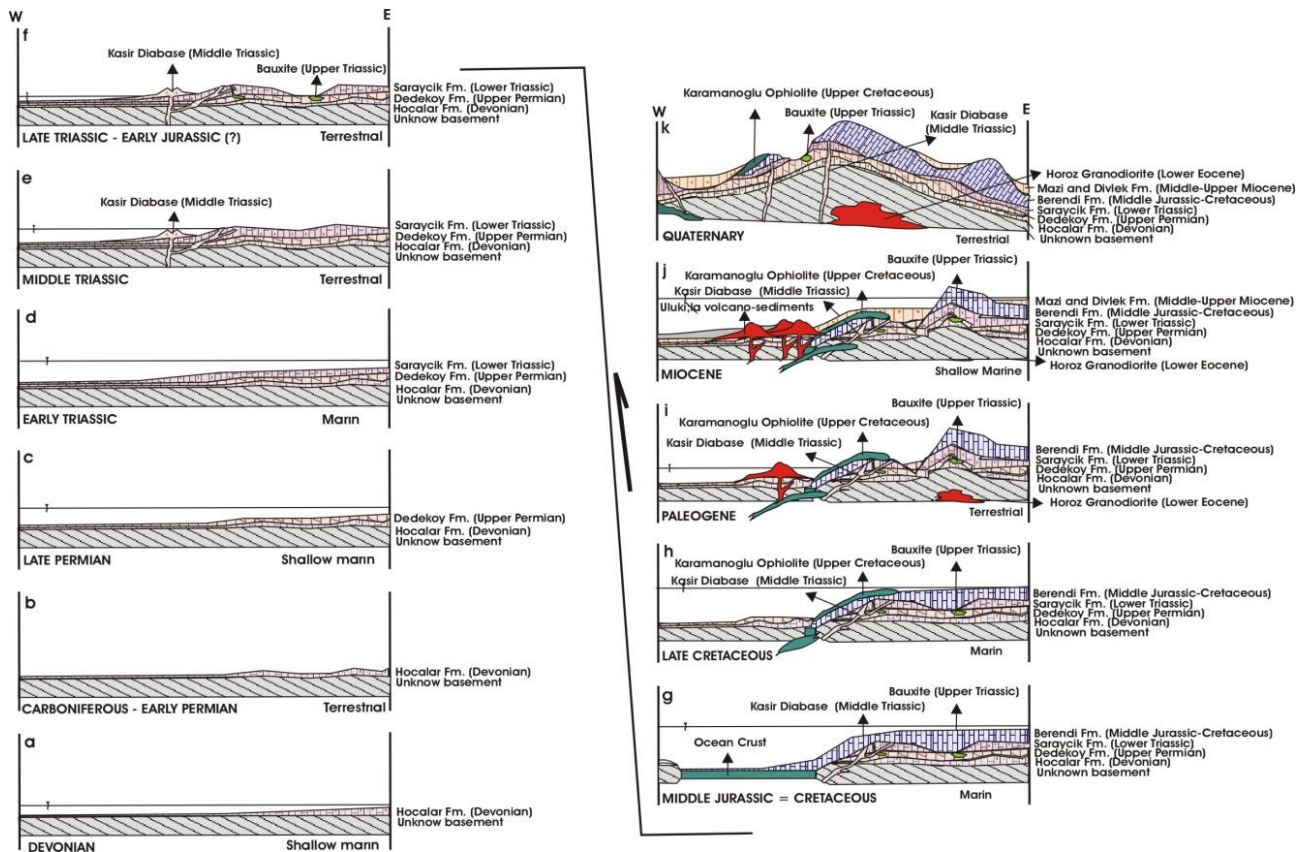


Figure 11. Schematic sections showing the geologic evolution scenario of the Bolkar Mountains.

With the Late Permian transgression, carbonate rocks of the Dedeköy Formation were deposited (Fig. 11c). Dolostone at the base that comprise the Dedeköy Formation (Gerdekesyayla Dolostone Member) belongs to a shallow carbonate platform, while limestone (Bulgardede Limestone Member) belongs to a deeper one. As in the study area, Permian–Triassic contact is also concordant in other parts of the Bolkar Mountains (İşgüden, 1970; Demirtaşlı et al., 1973; Çalapkulu, 1980; Pampal, 1987; Temur, 1989). According to Selim and Demirtaşlı (1984), sandstone, siltstone and carbonate of the Lower Triassic Saraycık Formation overlying the Dedeköy Formation were deposited in a marine shelf close to the carbonate platform (Fig. 11d). The first magmatic products (Kasır Diabase) of the oceanic crust that started to form in Middle Triassic were uplifted and intercut Lower Triassic and other older units (Fig. 11e). This oceanic crust corresponds to the northern Taurid depression that opened in the Early Triassic and closed in the Paleocene–Early Eocene (Poisson, 1986). Meanwhile, with a second folding, the units inclined 10–20°. Thus, terrestrial conditions prevailed and chemical alteration, erosion and transportation processes started. With the erosion initiated in Late Triassic, Upper Permian units were exposed and karstified. At the same time, vein rocks of the Kasır Diabase, together with pelitic rocks of the Lower Triassic Saraycık formation, and terra rossa soils, resulting from alteration of carbonates, filled the karstic spaces and transformed to bauxite (Fig. 11f).

By the Early Jurassic, the oceanic crust was developed and the Tethys Ocean was opened. In addition, the basin in which the Bolkar Mountains was deposited was covered with water after a new transgression. Thick carbonate sequence of the Berendi Formation was deposited in a shallow and stable carbonate platform, which lasted until the Late Cretaceous (Fig. 11g). Oceanic crust at the base of Tethys, which started to close due to NW–SE compressional forces during the Late Cretaceous, was broken and pushed over the Bolkar Mountains (Fig. 11h). In areas where limestone of the Berendi Formation is found above the rocks of the oceanic crust, limestone is observed as olistoliths in a complex appearance (Pampal, 1987; Baş and Temur, 1992; Murat and Temur 1995). By thrusting of the rocks of the oceanic crust over the Bolkar Mountains in the Late Cretaceous (Maastrichtian), the Karamanoğlu and Alihoca Ophiolites were emplaced at the south and north, respectively (Demirtaşlı et al., 1973; Pampal, 1988; Temur and Baş, 1991; Murat, 1992).

Due to compressional forces operating until the Early Eocene, units were folded and, as a result of folding of the Berendi Formation units by as much as 40–50°, the Bolkar Mountains Anticline was formed (Blumenthal, 1956).

Due to piling of 700-m thick carbonate of the Berendi Formation and intense thickening of the crust by folding, units were subjected to metamorphism and lost their primary structure, texture and mineralogical composition. The gradual increase in degree of metamorphism with depth resulted in significant effects on rocks

of varying ages. In addition, metamorphism was more intense in the northern and eastern parts of the Bolkar Mountain, where fold-wings are steeper and crustal thickening is higher. In the east, metamorphism in the core of the Bolkardağı Anticline was at anatexis level and probably resulted in partial melting of rocks of the Devonian Hocalar Formation and other older units. Thus, the magma of granitoid composition (Horoz Granodiorite) intruded into the Paleozoic and Mesozoic units (Fig. 11i). In the Ulukışla basin, north of the Bolkar Mountain, a syenitic-type magma developed by the partial melting of the subducted oceanic crust, and trachyte, andesite, basalt and dacite-type volcanic rocks were deposited, together with sedimentary rocks, forming the Paleocene–Eocene volcano-sedimentary rocks (Fig. 11j) (Baş and Temur 1992). These rocks of typical island arc volcanism are not observable at the south and eastern sections of the Bolkar Mountain.

By a new transgression at the beginning of the Neogene, the Middle Miocene Mazı formation, which consists of conglomerate, sandstone, siltstone and mudstone, was been deposited in marginal parts of the bowl-like marine basin (Fig. 11j). On the shallow and wavy sea floor within the same basin, in places where coarse-grained material is not observed, oolitic clayey limestone of the Divlek Formation of partly reef character were deposited (Gedik et al., 1979). According to Köksoy (2004), the offshore environment, which was dominant at the beginning, changed to shallow facies over time. Due to the NW–SE trend in the compressional regime developed in the Late Miocene, units were been folded and a regression occurred (Fig. 11k). Because of alteration and transportation processes continuously operating in terrestrial conditions, the Bolkar Mountains gained their present topographic shape. Common karstification in carbonate rocks, thick terrace sediments in deep valleys and alluvium in riverbeds are the results of later geological processes.

## 5. Conclusion

Based on geological studies conducted around the Bolkardağı diasporitic bauxite deposits, the following results were obtained. The sequence in the study area starts with the Upper Permian Dedeköy Formation. Dolostone at the lower levels and limestones at the upper levels represent the Dedeköy Formation, which comprises the country rocks of bauxites. Considering the degree of dolomitization, it is been divided into two parts: the Gerdekesyayla Dolostone Member and the Bulgardede Limestone Member.

The Dedeköy Formation is been conformably overlain by the Lower Triassic Saraycık Formation, which is composed of schist, phyllite, metasandstone and marble alternation. Vein rocks of diabase composition (Kasır Diabase) with a few meters in diameter divide all these units.

Bauxite deposits in the region are been found within the Upper Permian Dedeköy Formation and between the Gerdekesyayla Dolostone and Bulgardede Limestone members and limestone. Topographic positions, wall rock relations and metamorphism degree of the diasporitic bauxites indicate that they were developed during the Late Triassic–Early Jurassic (?) above the Upper Permian carbonate rocks and Lower Triassic shale–sandstone–limestone interbedding and then transported into the doline and caves of carbonate rocks. The fact that bauxites are been found above the dolostone, as well as within and at the base of limestones, indicates that these low carbonate rocks responded differently to karstification.

The Saraycık Formation and other older units are been unconformably overlain by the Jurassic–Cretaceous Berendi formation. The Karamanoğlu Ophiolite is been thrust over the Berendi Formation, which is observed as a thick carbonate sequence. This ophiolite was been emplaced during the Late Cretaceous. Miocene Mazı and Divlek formations are unconformably set above the ophiolites. The Mazı formation is been characterized by conglomerate and sandstone, while the Divlek Formation is represented by clayey limestone.

## Acknowledgement

This paper is prepared benefit from the inventions of the project which supported by Nigde University Scientific Investigation Project coordination (FEB 2004/06). I would like to express my sincere thanks to the late Prof. Dr. Sedat Temur for his valuable contributions and insights. I would like to thank Dr. Gürsel Kansun for his suggestions, help and support during the fieldwork and office work.

## Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

## References

Atakoglu, O. O., Yalcin, M. G., 2021a. Explanation of the Sutlegen bauxites to some REE contents by statistical approach and inequality expressions. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 391-401.

- Atakoglu, O. O., Yalcin, M. G., 2021b. Geochemical characterization of the Sutlegen bauxite deposit, SW Antalya. *Mining of Mineral Deposits*, 15(3), 108-121.
- Atakoglu, O. O., Yalcin, M. G., Ozmen, S. F., 2021. Determination of radiological hazard parameters and radioactivity concentrations in bauxite samples: the case of the Sutlegen Mine Region (Antalya, Turkey). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 329(2), 701-715.
- Baş, H., Temur, S., 1991. Geology of the Çiftehane - Koçak - Elmalı (Ulukışla, Niğde) district. *Geosound*, 19, 69 – 86 (In Turkish)
- Baş, H., Temur, S., 1992. The Çiftehane - Koçak - Elmalı (Ulukışla, Niğde) district iron, barite and copper occurrences. *Turkish Sci. Technical Research Society Project, No TBAG - 707 (YBAG - 007)*, 99 pp (In Turkish)
- Bilgiç, T., Gökten, E., 2005. Geology of the southern Bolkar Mountain. 58. *Turkish Geology Symp., Proceedings*, 268-270 (In Turkish)
- Blumenthal, M. M., 1956. Geology of the high altitude Bolkardağı and its northern region. *Mineral Res. Expl. Inst. of Turkey Publ*, D, 7, 179 pp (In Turkish)
- Boroviczeny, F., 1962. A report on Bolkardağı district diasporite about sheer and map study in 1962. *Mineral Res. Expl. Inst. of Turkey Report, No 1124*, 67 pp (In Turkish)
- Çalapkulu, F., 1980. Geological investigation of the Horoz granitoite. *Bull. Turkish Geol. Society*, 23, 59-68 (In Turkish)
- Demirtaşlı, E., Bilgin, A. Z., Erenler, F., Işıklar, S., Sanlı, D. Y., Selim, M., Turhan, N., 1973. Geology of Bolkar Mountains. *Bull. Mineral Res. Expl. Inst. of Turkey*, 72, 42-67 (In Turkish)
- Demirtaşlı, E., Bilgin, A. Z., Selim, M., Turhan, N., 1983. Geology of the Bolkar Mountains; Geology of Taurus Belt Symp., *Mineral Res. Expl. Inst. of Turkey, Ankara, Proceedings*, 125-143
- Demirtaşlı, E., Bilgin, A. Z., Turhan, N., 1986. Geology of the Bolkar Mountain and Ereğli – Ulukışla basin. *Mineral Res. Expl. Inst. of Turkey Report, No 8097*, 133 pp (In Turkish)
- Gedik, A., Birgül, Ş., Yılmaz, H., Yoldaş, R., 1979. Geology of the Mut – Ermenek – Silike district and possibility of petroleum. *Bull. Turkish Geol. Society*, 22, 7-26 (In Turkish)
- Hanilçı, N., 2013. Geological and geochemical evolution of the Bolkardağı bauxite deposits, Karaman, Turkey: transformation from shale to bauxite. *Journal of Geochemical Exploration*, 133, 118-137.
- İşgüden, O., 1970. Tectonic resource of the Bolkardağı mine district. *Etibank Report, No 463*, 125 pp (In Turkish)
- Kansun, G., Yalcin, M. G., Copuroglu, I., 2010. Bolkardağı bauxite deposits at Ayrancı, Karaman, central Turkey. Part 2. Mineralogical and petrographical studies. XIX Congress of The Carpathian-Balkan Geological Association, *Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Γεωλογίας (ΑΠΘ)*, 39(1/2), 177.
- Karadağ, M. M., Küpeli, Ş., Arik, F., Ayhan, A., Zedef, V., Döyen, A., 2009. Rare earth element (REE) geochemistry and genetic implications of the Mortaş bauxite deposit (Seydişehir/Konya–Southern Turkey). *Geochemistry*, 69(2), 143-159.
- Karadağ, M. M., Fetullah, A. R. I. K., Öztürk, A., 2006. Çatmakaya (Seydişehir-Türkiye) boksit yatağının kökenine jeostatistiksel ve jeokimyasal bir yaklaşım. *Yerbilimleri*, 27(2), 63-85.
- Karadağ, M. M., Temur, S., Arik, F., Öztürk, A., 2003. Çatmakaya (Seydişehir-Konya) boksit yatağının jeolojik ve petrografik özellikleri. *Yerbilimleri*, 24(28), 109-122.
- Köksoy, T. Ö., 2004. Biostratigraphy and systematic paleontology of the Catapsydrax, Globorotalia, Globigerinoida (planctic foraminifera) in Mut basin marinal Miyosen sequence. *Geoscience*, 29, 11-27 (In Turkish)
- Köse, O., Sarıkaya, M. A., Çiner, A., Yıldırım, C., 2021. Glacial geomorphology of the Aladağlar, central Taurus Mountains, Turkey. *Journal of Maps*, 17(2), 101-113.
- Murat, A., 1992. Geology and talc deposit of the northern Kiraman (Ayrancı, Karaman). *Selçuk Univ. Sci. Inst. Masters Thesis*, 36 pp (In Turkish)
- Murat, A., Temur, S., 1995. Geology and talc deposit of the northern Kiraman (Ayrancı, Karaman). *Bull. Turkish Geol. Society*, 38, 1, 38, 1, 95-102
- Nicolas, J., Özlü, N., 1976. Contribution To Study Of Kiziltas Bauxite Deposit In Western Taurides (Southern Turkey). *Comptes Rendus Hebdomadaires Des Seances De L Academie Des Sciences Serie D*, 282(13), 1253-1255.
- Özçelik, O., 1984. Geology, tectonic evolution and petroleum potential of Bozkir district in Taurus Belt; Seljuk Univ. PhD. Thesis, 221 pp (In Turkish)
- Özdoğan, M., 2004. An example of repetitive sequence: Miocene stratigraphy of the Mur basin, its relation with the Adana basin, and paleogeographic evolution. *Geoscience*, 29, 77-95 (In Turkish)
- Özgül, N., 1971. Importance of the block movements on evolution of the northern Central Taurus Belt. *Bull. Turkish Geol. Society*, 14, 1, 85-101 (In Turkish)
- Özgül, N., 1976. Some basic geological features of the Taurus Mountain. *Bull. Turkish Geol. Society* 19, 65-78 (In Turkish)
- Özgül, N., 1997. The stratigraphy of the lithology located in Bozkir – Hadim – Taskent (Northern Central Taurides); *Bull. Mineral Res. Expl. Inst. of Turkey*, 119, 113-174 (In Turkish)
- Özlü, N., 1977. Different modes of formation of bauxite Breccia in Bauxite deposits of Western Taurides (Southern Turkey). *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances De L Academie des Sciences Serie D*, 284(12), 1021-1023.
- Pampal, S., 1987. Metamorphic Bolkar Group and Tertiary formations in the Ayrancı basin. *Bull. Gazi Univ. Engin. And Arch. Faculty*, 2, 2, 99-115 (In Turkish)
- Pampal, S., 1988. Stratigraphy of the Ambar-Ayrancı-Hüyükülü (Ereğli) area (Northwest Bolkar Mountains); *Gazi Üniv. Inst. Sci. Techno.*, 1, 1, 9-15
- Poisson, A., 1986. The Anatolian micro-continental of the Eastern Mediterranean context: The Neo-Tethysian oceanic troughs; *Sci. De la Terre, Memoire*, 47, 311-328
- Schmit, G. C., 1961. The stratigraphic homoclator of the VII petroleum district. *Mineral Res. Expl. Inst. of Turkey, Publ*, Ankara, 6, 17 pp (In Turkish)
- Selim, M., Demirtaşlı, E., 1984. Geology of the Bolkardağı. *Mineral Res. Expl. Inst. of Turkey Report, No R-060*, 129 pp (In Turkish)
- Sevgil, B., 1984. Resource report of the Küçükçoraş (Ereğli, Konya) bauxite occurrence. *Mineral Res. Expl. Inst. of Turkey Report, No R-514*, 7 pp (In Turkish)

- Sezer, S., 1970. The Mioce stratigraphy of Mut region, Southern Turkey; London Univ., Birkbeck Collage PhD Thesis, 183 pp.
- Şimşek, M., Ozturk, M., Doğan, U., Utlü, M., 2021. Morphometric Properties Of Poljes In The Taurus Mountains, Southern Turkey. *Journal Of Geography-Cografya Dergisi*, (42).
- Şişman, N., Şenocak, M. H., Dilek, S., Yazgaç, M., 1981. Bolkardağ yöresinin jeolojisi ve maden yatakları. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor, (7202).
- Şişman, N., Şenocak, O., 1982. Bolkardağı zinc-lead deposits. Mineral Res. Expl. Inst. of Turkey Report, No 1463, 58 pp (In Turkish)
- Temur, S., 1989. Study of the Bolkardağı (Ulukışla, Niğde) district zinc-lead deposits. Selçuk Univ. Sci. Found., Project, No 659, 120 pp (In Turkish)
- Temur, S., 1991. Genetic features of the Bolkardağı (Ulukışla, Niğde) district zinc-lead deposits. Ahmet Acar Geol. Symp., Çukurova Univ., Adana, Proceedings, 191-198 (In Turkish)
- Temur, S., Baş, H., 1991. The iron, barite and copper occurrences in Çiftehan - Elmalı - Koçak (Ulukışla, Niğde) district. Suat Erk Geol. Symp., Ankara Univ., Ankara, Proceedings, 377-382 (In Turkish)
- Temur, S., Orhan, H., Deli, A., Karadağ, M. M., 2005. The soil chemistry in Tinaztepe Cave (Seydisehir - Konya) and its environ and the relations of similar soils with bauxites; Selçuk Univ. Sci. Found.. Project, 2002 / 114, 102 pp (In Turkish)
- Temur, S., Kansun, G., Karadağ, M., Arik, F., Öztürk, A., 2003. Maşatdağı (Alanya-Antalya) diyasporitik boksitlerinin stratigrafik konumu. *Geosound*, (42), 109-122.
- Wippen, J. (1961). 1961 prospections of the Kaş, Beyşehir and Bolkardağı bauxite districts. Mineral Res. Expl. Inst. of Turkey Report, No 281, 5 pp (In Turkish)
- Yalcin, M.G., Temur, S., and Copuroglu, I., (2005). Bolkardağı (Ayrancı-Karaman) boksit yatağının petrografik, jeokimyasal ve mineralojik incelenmesi; Niğde Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi, FEB2004/06, 130 p.
- Yalcin, M. G., İlhan, S., 2008. Major and trace element geochemistry of Terra Rossa soil in the Kucukkoras region, Karaman, Turkey. *Geochemistry International*, 46(10), 1038.
- Yalcin, M. G., Kansun, G., Copuroglu, I., Temur S., 2010. Bolkardağı bauxite deposits at Ayrancı, Karaman, Central Turkey. Part I. Geological setting. XIX Congress of The Carpathian-Balkan Geological Association, Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Γεωλογίας (ΑΠΘ), 39(1/2), 414.
- Yalcin, M. G., Karaman, M. E., Alagöz, Z., 2012. Origin Of The Red Soils In The Bolkardag Region: Pinarkaya-Kayaonu Case, (Karaman, Turkey). *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 4, 149.
- Yalcin, M., İlhan, S., 2013. Major and trace element geochemistry of bauxites of Ayrancı, Karaman, central Bolkardag, Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 25(5).
- Zedef, V., Doyen, A., 2009. Rare earth element (REE) geochemistry and genetic implications of the Mortas-bauxite deposit (Seydisehir/Konya-Southern Turkey). *Chemie der Erde*, 69, 143-159.





## ELVERİŞSİZ YÜKLEME DURUMLARINDA TEKİL TEMELLERDE MEYDANA GELEN FARKLI OTURMALARIN ÜST YAPIYA ETKİLERİ

Burak KAYMAK<sup>1\*</sup>, Mehtap ÖĞE<sup>1</sup>, Uğur DAĞDEVİREN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Eğilme Momenti,  
Elverişsiz Yükleme,  
Farklı Oturma,  
Tekil Temel.*

### Öz

Mühendislik yapılarında, üst yapıdan gelen yükler temeller aracılığıyla zemine aktarılmaktadır. Diğer mühendislik yapılarında olduğu gibi temellerin tasarımında da güvenlik ve ekonomi en önemli tasarım kriterleridir. Günümüzde özellikle sanayi tipi yapıların temel sistemi olarak tekil temeller tercih edilebilmektedir. Tekil temellerin en önemli dezavantajı olan farklı oturmalar, üst yapıda ilave zorlamalara neden olmaktadır. Üst yapı tasarımlarının en elverişsiz yükleme koşullarına göre yapıyor olmasına rağmen, uygulamada kullanılan yük birleşimlerinde farklı oturmalarından kaynaklanan yük etkilerinin genellikle dikkate alınmadığı gözlenmektedir. Bu çalışmada, iki örnek sanayi yapısı modeli oluşturulmuş ve kirişler üzerindeki elverişsiz hareketli yükleme durumları için tekil temellerde oluşan en büyük ve farklı oturmalar belirlenmiştir. Farklı yük birleşimlerine ilave olarak bu farklı oturmaların da kirişlerde kritik eğilme momentlerine etkisi deplasman metodu kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonunda, farklı oturmaların üst yapıda ihmal edilemeyecek büyüklükte eğilme momentlerine sebep olabileceği tespit edilmiştir. Tekil temeller gibi farklı oturmaları kendi içinde tolere edemeyen yapıların tasarımında, oluşacak farklı oturmaların da yük birleşimlerinde mutlaka dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

## THE EFFECTS OF DIFFERENTIAL SETTLEMENTS OCCURRING ON SINGLE FOUNDATIONS UNDER UNFAVORABLE LOADING CONDITIONS ON THE SUPERSTRUCTURE

### Keywords

*Bending Moment,  
Unfavorable Loading,  
Differential Settlement,  
Single Foundation.*

### Abstract

In engineering structures, superstructure loads are transferred to the ground through foundations. Like in other engineering structures, safety and economy are the most important design criteria in the design of foundations. Today, single foundations can be preferred, especially as the foundation system of industrial-type structures. Differential settlements, the most significant disadvantage of single foundations, cause additional stresses on the superstructure. Although the superstructure designs are made according to the most unfavorable loading conditions, it is observed that the load effects caused by differential settlements are generally not taken into account in the load combinations used in practice. In this study, two sample industrial structure models were created, and maximum and differential settlements in single foundations were determined for unfavorable live loading conditions on beams. In addition to different load combinations, the effect of these differential settlements on the critical bending moments in beams was investigated using the displacement method. At the end of the study, it has been determined that differential settlements can cause bending moments in the superstructure that cannot be neglected. It is understood that in designing structures that cannot tolerate differential settlements, such as single foundations, differential settlements must also be considered in load combinations.

\* İlgili yazar / Corresponding author: burak.kaymak@dpu.edu.tr, +90-274-443-4144

**Alıntı / Cite**

Kaymak, B., Öge, M., Dağdeviren, U., (2023). Elverişsiz Yükleme Durumlarında Tekil Temellerde Meydana Gelen Farklı Oturmaların Üst Yapıya Etkileri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 794-806.

<b>Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)</b>	<b>Makale Süreci / Article Process</b>	
B. Kaymak, 0000-0002-1318-0456	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	02.11.2022
M. Öge, 0000-0003-0820-238X	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	23.02.2023
U. Dağdeviren, 0000-0002-4760-6574	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	23.03.2023
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

# ELVERİŞSİZ YÜKLEME DURUMLARINDA TEKİL TEMELLERDE MEYDANA GELEN FARKLI OTURMALARIN ÜST YAPIYA ETKİLERİ

Burak KAYMAK<sup>1†</sup>, Mehtap ÖĞE<sup>1</sup>, Uğur DAĞDEVİREN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

## Highlights

- Single foundation settlements for unfavorable live loading conditions on beams
- Effect of differential settlements in single foundations on bending moments in beams
- Consideration of load effects due to differential settlements in load combinations

## Graphical Abstract

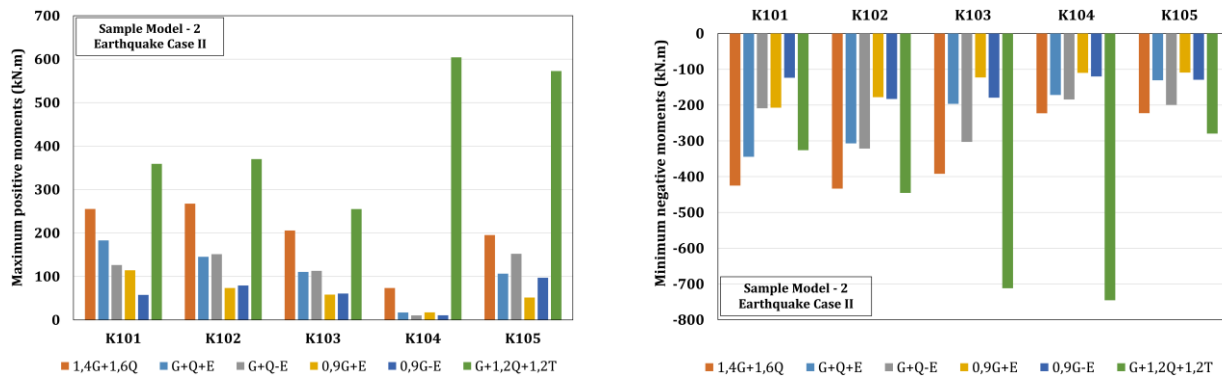


Figure. Critical Bending Moments in Beams for Different Load Combinations in Non-Symmetrical Structure

## Purpose and Scope

This study aims to determine the maximum and differential settlements in single foundations due to unfavorable live loading combinations on beams and to investigate the variation of critical bending moments in beams considering the load effects due to differential settlements.

## Design/methodology/approach

To determine the effect of differential settlements on the superstructure, the effects of support settlements were added to the nodal equilibrium equations, and structural analyses were carried out by the displacement method. The settlements were calculated based on the theory of elasticity. The beams' maximum and minimum design moments were determined by considering dead, live, earthquake and differential settlement load combinations.

## Findings

The results show that although the differential settlements in the foundations remain within the allowable limits, the design bending moments in load combinations including support settlements in the single foundation can be up to 8 times higher than the moments in dead and live load combinations. It is understood that the T-loading effect should be considered in structures with a single foundation.

## Research limitations/implications

The effects of differential settlements on the superstructure of single-story and multi-span industrial buildings having single foundations are discussed. The study should be developed for structures that can tolerate settlements within themselves.

## Practical implications

It is thought that the T-loading effect will not be dominant in the load combinations in the structures whose differential settlement values are within the allowable limits. However, it is seen that this load combination must also be considered, especially in the design of single-foundation structures.

## Originality

The importance of considering differential settlements in the design of single-foundation structures is concretely demonstrated.

<sup>†</sup> İlgili yazar / Corresponding author: burak.kaymak@dpu.edu.tr, +90-274-443-4144

## 1. Giriş (Introduction)

Temeller, üst yapıdan gelen yüklerin emniyetli olarak zemine aktarılmasını sağlayan yapı elemanlarıdır. Temellerin tasarımı genel olarak iki temel esas göz önüne alınarak gerçekleştirilmektedir. Bunlardan ilki, üst yapıdan zemine aktarılan gerilmelerin zeminde taşıma gücü yenilmelerine sebep olmaması, diğeri ise temel altında oluşacak oturmaların yapı için tolere edilebilir sınırlar içerisinde kalmasıdır. Burada ifade edilen oturma kavramı, yapı altındaki en büyük toplam oturma, farklı oturma, açısız çarpılma, eğilme, kolon eksenlerinde dönme gibi birçok durumu kapsamaktadır (EN 1997-1, 2004; Önalp ve Sert, 2010). Özellikle toplam oturma, farklı oturma ve açısız çarpılma için farklı zemin koşulları ve yapı türlerine ait izin verilebilir oturma sınırlarının sunulduğu çok sayıda ulusal ve uluslararası referanslara ulaşmak mümkündür (Bowles, 1997; Uzuner, 2006; Yıldırım, 2009). Bu sınırlar incelendiğinde, genel olarak tekil ve şerit temellerde toplam oturmanın kil zeminlerde 65 mm, kumlarda ise 40 mm ile sınırlı kalması istenmektedir. Radye temeller için bu sınırlar sırasıyla 100 mm ve 65 mm'ye kadar artırılabilir. Farklı oturmaların kil ve kum zeminlerde sırasıyla 40 mm ve 25 mm'den düşük olması önerilmektedir. İzin verilebilir oturma değerlerinin kil zeminlerde daha büyük olmasının nedeni, bu zeminlerde oturmanın zamana bağlı olarak gerçekleşmesi sebebiyle yapının oturmaları daha iyi uyum sağlaması şeklinde açıklanmaktadır (Uzuner, 2006). Açısız çarpılma için izin verilebilir sınır değer 1/300 olarak kabul edilmektedir (Skempton ve MacDonald, 1956; Grant vd., 1974). Çerçevesiz yapılar için açısız çarpılmanın 1/150'ye ulaşılması halinde kolon ve kirişlerde ağır hasarların oluşmasının muhtemel olduğu bildirilmektedir (Akbaş, 2008).

Yapı elemanlarının tasarımları gerçekleştirilirken, üst yapıda farklı yükleme durumlarının oluşturduğu çeşitli yük birleşimleri ile elde edilen tasarım yük etkileri kullanılır. Bunlar; sabit yük (G), hareketli yük (Q), deprem yükü (E), rüzgâr yükü (W), farklı oturma, sıcaklık değişimi, büzülme gibi şekil ve yer değiştirmelerden kaynaklanan yük (T) etkileridir. Uygulamada sabit, hareketli, deprem ve rüzgâr yükleri gibi etkilerin tüm kombinasyonları ile yük birleşimlerinde kullanılıyor olmasına rağmen, farklı oturmalarından kaynaklanan yük etkilerinin genellikle dikkate alınmadığı gözlenmektedir. Özellikle tekil temel sistemine sahip ve geniş açıklıklı yapılarda, zemin koşullarındaki değişkenlikler, üst yapıdan temele aktarılan yüklerin değişkenliği, temellerin yük-deformasyon tepkisi ve yapının rijitliği gibi faktörler (Shibiru, 2019) yapı altında uniform olmayan oturmaların oluşmasına neden olmaktadır. Temellerde gerçekleşen farklı oturmalar yapıda önemli eğilmeler, temel ve iç duvarlarda çatlaklar, kapı ve pencerelerde düzensiz oturmalar, bacalarda çökmeler, duvarlarda ise kabarmalar gibi olumsuz etkiler oluşturabilmektedir (Lahri ve Garg, 2015). Ancak, üst yapı analizleri genellikle temellerin rijit bir tabakaya oturduğu kabulüne göre yapıldığı için, yapıda gerçekleşen farklı oturmalar taşıyıcı yapı elemanlarında hesaba katılmamış olan ilave zorlamaların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, farklı oturmalarından kaynaklanan yük etkilerinin ihmal edilemeyecek düzeylerde olması halinde, bu etkilerin de yük birleşimlerinde dikkate alınması gerekmektedir (TS 500, 2000; Ersoy ve Özcebe, 2015; Lahri ve Garg, 2015).

Son yıllarda, yağma yapıların ve tarihi yapıların hasar ve göçme davranışı üzerinde farklı oturmaların etkileri (Alessandri vd., 2015; Portioli vd., 2016; Giardina vd., 2020; Pepe vd., 2020; Chen vd., 2021; Ou vd., 2022) ile çerçevesiz yapılarda farklı oturmaların kolon ve kirişlerde oluşturduğu ilave kesit tesirlerini etkileyen parametreler (Lahri ve Garg, 2015; Lin vd., 2015; Shibiru, 2019; Huang, 2021) üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Lahri ve Garg (2015), sabit olarak alınan 10 mm'lik farklı oturmaları maruz kalan çerçevelerde gelişen iç kuvvetler üzerinde kiriş uzunluğu, kolon yüksekliği, kirişin ve kolonun atalet momenti, kat sayısı ve açıklık sayısı gibi parametrelerin etkilerini incelemişlerdir. Bulgular, kiriş uzunlukları ve kolon yükseklikleri azaldıkça çerçevelerde farklı oturmanın etkisinin daha belirgin hale geldiğini göstermektedir. Benzer bir çalışma, Shibiru (2019) tarafından 75 mm'lik mesnet çökmesi için gerçekleştirilmiş ve benzer bulgular ortaya konulmuştur. Lin vd. (2015), 10 katlı bir bina için yapının köşe, kenar ve orta kolonları altındaki temeller 25 mm'lik oturmaları maruz bırakılarak, kolonlarda düşey yer değiştirme ve eksenel kuvvet, kirişlerde ise kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri üzerinde oluşan etkileri incelemişlerdir. Çalışmada, oturmaya maruz bırakılan kolonun bitişik kirişlerinde önemli eğilme momentleri oluşurken, nispeten daha küçük kesme kuvvetleri gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu durum, farklı oturmaların, eğilme momenti üzerindeki etkisinin kesme kuvvetine göre daha önemli olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalar sabit oturma değerlerinin tanımlanarak üst yapıdaki etkilerin incelenmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak üst yapıdaki yük birleşimleri etkisi altında her bir temelde oluşacak oturmaların hesaplanmadığı ve bu oturmaları dayalı olarak üst yapıdaki etkilerin incelenmediği görülmektedir. Öte yandan, yapı elemanlarının kesit tasarımının, kirişler üzerinde farklı konumlarda bulunabilen hareketli yüklerin en elverişsiz durumda oluşturacağı kritik eğilme momentlerine göre yapılması gerekmektedir. Kritik eğilme momentleri, her zaman tüm kirişlerin yüklü olduğu durumda oluşmadığı için her bir hareketli yükleme kombinasyonu ayrı ayrı ele alınmalıdır. Elverişsiz kesit tesirlerini ortaya koymak amacıyla literatürde hareketli yük düzenlemesi ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Furlong, 1981; Ersoy, 1992; Arslan vd., 1996; Döven vd., 2011; Celik ve Sakar, 2022). Ancak, bu çalışmalar kirişlerdeki hareketli yük düzenlemeleri üzerine olup, temellerde oluşacak elverişsiz yükleme durumlarını ve farklı oturmaları dikkate almamaktadırlar.

Ekonomik temel tasarımları açısından düşünüldüğünde, yüzeysel temellerin en basit hali olan tekil temeller günümüzde uygulama kolaylığının da etkisi ile büyük açıklıklı, az katlı ve özellikle sanayi tipi yapılarda tercih edilebilmektedir. Bu çalışmada, iki örnek sanayi yapısı için kirişler üzerindeki elverişsiz hareketli yüklem kombinasyonları göz önüne alınarak her bir yapı temelinde en elverişsiz normal kuvvetleri meydana getirecek olan yüklem kombinasyonları belirlenmiş ve tanımlanmış olan örnek bir zemin profili için her bir mesnet altında oluşacak en büyük oturmalar elastisite teorisine dayalı oturma analizleri ile hesaplanmıştır. Her bir tekil temel altında oluşan oturmaların etkisinin de hesaba katıldığı T yüklemesi ile birlikte, kirişlerde kritik eğilme momentlerini oluşturacak yük birleşimleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bulgular neticesinde, temeller altında ortaya çıkan oturma değerlerinin literatürde tanımlanmış olan izin verilebilir farklı oturma sınırları içerisinde kalmasına rağmen, T yüklemesinin etkisiyle üst yapıda ihmal edilemeyecek büyüklükte eğilme momentlerinin meydana gelebileceği saptanmıştır. Bu tespit, üst yapı tasarımında mesnetlerde meydana gelen farklı oturmaların dikkate alınmaması halinde, yapılan boyutlandırmaların güvensiz bölgede kalabileceği anlamına gelmektedir. Hâlbuki, tasarımcıların zihnindeki yaygın kanı, oturma değerlerinin izin verilen sınırlar içinde kalması halinde, T yüklemesi etkisinin yük birleşimlerinde baskın olmayacağı yönündedir. Bu durum, T yüklemesinin dikkate alındığı yük birleşiminin genellikle göz ardı edilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, özellikle tekil temeller gibi farklı oturmaları kendi içinde tolere edemeyen yapıların tasarımında, üst yapıdan gelen en elverişsiz yüklem koşullarına göre yapı analizlerinin gerçekleştirilmesi, bu yüklem durumunda gerçekleşecek oturmaların da yük birleşimlerinde hesaba katılması gerektiği anlaşılmaktadır.

## 2. Yapı Analizinde Mesnet Çökmelerinin Hesabı (Calculation of Support Settlements in Structural Analysis)

Mesnet çökmelerinin (temel oturmalarının) üst yapı üzerindeki etkilerinin incelendiği bu çalışmada gerçekleştirilen yapı analizlerinde deplasman metodu kullanılmıştır. Deplasman metoduna mesnet çökmelerinin eklenmesi Eşitlik (1)'de tanımlandığı üzere, düğüm noktası denge denklemlerinin deplasmanlar cinsinden yazılması ile mümkündür.

$$(S)\tilde{x} = \tilde{P} - \tilde{Q} - \tilde{Q}^m \quad (1)$$

Burada; (S), düğüm serbestlikleri doğrultusunda yazılan denge denklemlerinin katsayılar matrisi, başka bir ifade ile yapı rijitlik matrisidir.  $\tilde{x}$ , düğüm serbestlikleri doğrultusundaki deplasmanları;  $\tilde{P}$ , düğüm serbestlikleri doğrultusunda yapıya etki eden kuvvetleri göstermektedir.  $\tilde{Q}$ , çubuk üstündeki yüklerden kaynaklanan düğüm kuvvetleridir. Mesnet çökmelerinin düğüm noktası başlangıç deplasmanları olarak tanımlanması sonucunda ortaya çıkan düğüm kuvvetleri ise  $\tilde{Q}^m$  ile ifade edilmektedir.

Yapıda yer alan çubukların her biri iki ucu ankastre çubuk olarak modellenebilir. Bu modelin uç kuvvetleri deplasmanlar ve çubuk üzerindeki yükler cinsinden Eşitlik (2)'de verilen ifade ile hesaplanır.

$$\tilde{q}_j = (S_j)\tilde{d}_j + \tilde{q}_j \quad (2)$$

Burada;  $\tilde{q}_j$ , j çubuğunun düğüm eksen takımına göre uç kuvvetleri;  $(S_j)$ , j çubuğunun rijitlik matrisidir.  $\tilde{d}_j$ , ise j çubuğunun düğüm eksen takımına göre uç deplasmanları,  $\tilde{q}_j$ , çubuk üzerindeki yüklerden kaynaklanan uç kuvvetleridir. Bu deplasmanlar doğrusal denklem takımının çözümünden elde edilen düğüm deplasmanlarının çubuk ucundaki karşılıkları ( $\tilde{d}_j^f$ ) ile düğüm noktalarındaki başlangıç deplasmanlarının ( $\tilde{d}_j^m$ ) toplanmasıyla elde edilir. Bu durumda uç kuvvetlerinin tarifi Eşitlik (3)'teki gibi olacaktır.

$$\tilde{q}_j = (S_j)[\tilde{d}_j^f + \tilde{d}_j^m] + \tilde{q}_j \quad (3)$$

Eşitlik (3)'de yer alan ifade açılacak olursa;  $\tilde{q}_j = (S_j)\tilde{d}_j^f + (S_j)\tilde{d}_j^m + \tilde{q}_j$  uç kuvvetleri,  $\tilde{q}_j = \tilde{q}_j^f + \tilde{q}_j^m + \tilde{q}_j$  olarak tarif edilir. Çubuk ucu deplasmanlarından kaynaklanan uç kuvvetleri  $\tilde{q}_j^f$ , çubuk ucu başlangıç deplasmanlarından kaynaklanan uç kuvvetleri  $\tilde{q}_j^m$  olarak ifade edilmiştir.  $\tilde{q}_j^m$  ve  $\tilde{q}_j$  vektörlerinin toplama metodu ile birleştirilmesinden de sırasıyla  $\tilde{Q}^m$  ve  $\tilde{Q}$  yük vektörleri elde edilir. Çubuk rijitlik matrislerinin ( $S_j$ ) toplama metodu ile bir araya getirilmesinden yapı rijitlik matrisi (S) oluşturulur.

Eşitlik (1)'de yer alan doğrusal denklem takımının çözümünden düğüm deplasmanları elde edilir. Bu deplasmanlar cinsinden çubuk eksen takımına göre uç kuvvetlerinin tarifi Eşitlik (4)'te verilmiştir.

$$\tilde{q}_j^f = (S_j)\tilde{d}_j^f \quad (4)$$

Başlangıç deplasmanlarından kaynaklanan uç kuvvetlerinin tarifi ise Eşitlik (5)'te verildiği gibidir.

$$\widetilde{q}_j^m = (\overline{S}_j) \widetilde{q}_j^m \quad (5)$$

Çubuk eksen takımına göre toplam çubuk ucu kuvvetlerinin tarifi ise Eşitlik (6)'daki gibi olur.

$$\widetilde{q}_j = \widetilde{q}_j^f + \widetilde{q}_j^c + \widetilde{q}_j^m \quad (6)$$

Burada tanımlanan yapı analizi sonunda, mesnetlerde elde edilen normal kuvvetler kullanılarak temel altındaki zeminde meydana gelecek oturma analizleri Bölüm 3'te açıklanan geoteknik mühendisliği esaslarına dayalı olarak gerçekleştirilmektedir.

### 3. Elastisite Teorisine Dayalı Oturma Analizi (Settlement Analysis based on the Theory of Elasticity)

Üst yapıdan aktarılan yüklerin etkisiyle zeminlerde oluşacak oturmalar, elastik (anı) oturma ve konsolidasyon (zamana bağlı) oturması olmak üzere iki şekilde gerçekleşebilmektedir. Geçirimsizliği yüksek granüler zeminlerde, ani oturmalar hâkim olup konsolidasyon oturmaları ihmal edilebilir düzeydedir. İnce daneli ve geçirimsizliği düşük suya doygun zeminlerde ise ani oturmalar ilave olarak önemli ölçüde konsolidasyon oturmaları da devreye girmektedir.

Çalışma kapsamında, kum zemin üzerinde inşa edilecek yapı modellerinde farklı oturmaların etkisinin incelenmesi hedeflendiğinden, temel zemininde sadece ani oturmaların gerçekleşeceği kabul edilmiştir. Ortalama net taban basıncı için esnek bir temel altında gerçekleşecek elastik oturma değeri, elastisite teorisine dayalı olarak Eşitlik (7)'de verilen ifade ile hesaplanabilmektedir (Bowles, 1997). Ancak, yapı temelinin rijit olması halinde, temel altında oluşacak oturmalar esnek temel için hesaplanan oturmalarından daha az olacaktır. Bunun için, rijit bir temel altındaki elastik oturma değeri belirlenirken, öncelikle Eşitlik (7)'ye göre esnek temelin merkezi altındaki oturma değerinin ( $s_{e,merkez}$ ) hesaplanması ve daha sonra bu değer %7 oranında azaltılması ( $s_{e,rijit} = 0,93s_{e,merkez}$ ) önerilmektedir (Bowles, 1997).

$$s_e = q_0(\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f \quad (7)$$

Burada;  $s_e$ , elastik oturma miktarı;  $q_0$ , net taban basıncı;  $\alpha$  ve  $B'$  sırasıyla temeldeki oturmanın hesaplandığı konuma bağlı bir faktör ve temel genişliğidir. Temelin köşe noktası altında hesaplanacak oturmalar için  $\alpha = 1$  ve  $B' = B$ ; temelin merkezi altında hesaplanacak oturmalar için  $\alpha = 4$  ve  $B' = B/2$ 'dir.  $\mu_s$ , zeminin poisson oranını;  $E_s$ , temel tabanı altındaki zeminin Eşitlik (8)'de tanımlandığı üzere ortalama elastisite modülünü;  $I_s$  ve  $I_f$  ise sırasıyla şekil ve derinlik faktörünü ifade etmektedir (Bowles, 1997).

$$E_s = \frac{\sum E_{s(i)} \cdot \Delta z_i}{\bar{z}} \quad (8)$$

Burada,  $E_{s(i)}$ , temel seviyesi altındaki  $\Delta z_i$  kalınlığındaki "i" numaralı zemin tabakasına ait elastisite modülünü göstermektedir.  $\bar{z}$  ise temel tabanı altındaki etkili derinliği tarif etmektedir. Etkili derinlik, temel genişliğinin beş katı (5B) olarak veya temel alt kotundan itibaren 5B'den daha yakın derinlikte rijit bir zemin tabakasının olması halinde ise rijit tabakaya kadar olan mesafe olarak tanımlanmaktadır.

### 4. Elverişsiz Kesit Tesirlerinin Belirlenmesi İçin Hesap Yöntemi (Calculation Method for Determination of Unfavorable Internal Forces)

Deprem titreşim hareketini yansıtan yük birleşimleri dışındaki yük birleşimlerinde, hareketli yük düzenlemelerinin yapı elemanlarında en elverişsiz kesit zorlamalarını meydana getirecek biçimde oluşturulması gerekmektedir (TS 500, 2000). Elverişsiz kesit tesirlerinin belirlenmesi iki ana aşamada yapılır. Birinci aşamada yapı üzerinde yalnızca sabit yük bulunması durumunda yapı analizi gerçekleştirilir. Buradan elde edilen kritik eğilme momentleri  $M^G$  olarak gösterilmiştir. İkinci aşamada ise her seferinde yalnızca bir giriş üzerinde hareketli yük olması halinde giriş sayısı kadar yapı analizi yapılır. Buradan elde edilen kritik eğilme momentleri ise  $M^{Qi}$  olarak gösterilmiştir. Burada i indisi, hareketli yük durumları için kombinasyon sayısını ifade etmektedir.

Daha sonrasında, elverişsiz yükleme koşullarının farklı oturmalarla etkisinin incelenmesi hedeflendiği için, her mesnette  $1,4G + 1,6Q$  yük birleşiminden elde edilen en büyük normal kuvveti veren hareketli yük kombinasyonları belirlenmiştir. Buradan elde edilen kombinasyon desenine göre her bir tekil temelde ortaya çıkan en elverişsiz eksenel yük değerine göre oturma analizleri ayrı ayrı gerçekleştirilir. Oturma analizi sonunda ortaya çıkan deplasmanlar Bölüm 2'de değinildiği üzere, ilgili mesnetlerde düğüm noktası başlangıç deplasmanları olarak verilerek yapı analizi gerçekleştirilmiştir. Buradan elde edilen kritik eğilme momentleri  $M^{Ti}$  olarak temsil edilmiştir.

Deprem yükleri TBDY-2018'de verilen kısıtlamalar içinde kaldığından dolayı eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanmıştır. Elde edilen yük değerlerine dayalı olarak gerçekleştirilen yapı analizleri sonunda ortaya çıkan kritik eğilme momentleri  $M^E$  olarak gösterilmiştir.

Ele alınan örneklerde yapı yüksekliği oldukça az olduğundan rüzgâr yükünün deprem yüküne baskın olmayacağı kabul edilmiştir. Bu nedenle, rüzgâr yükü yük birleşimlerinde dikkate alınmamıştır. TS 500-2000'de "Tasarımda, yapıya etkimesi olasılığı bulunan tüm yük birleşimlerinin dikkate alınması" gerektiği ifade edilmekte olup, bu çalışmada aşağıda belirtilen altı yük birleşimi kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} M_d &= 1,4M^G + 1,6M^Q & (9.a) \\ M_d &= M^G + M^Q + M^E & (9.b) \\ M_d &= M^G + M^Q - M^E & (9.c) \\ M_d &= 0,9M^G + M^E & (9.d) \\ M_d &= 0,9M^G - M^E & (9.e) \\ M_d &= M^G + 1,2M^Q + 1,2M^T & (9.f) \end{aligned}$$

Karakteristik yük durumlarına (G, Qi, E, Ti) göre gerçekleştirilen yapı analizleri sonunda elde edilen çubuk ucu kuvvetleri kullanılarak, kiriş boyunca oluşacak olan eğilme momenti değerleri aşağıda tarif edildiği şekliyle hesaplanmıştır. İlk olarak, her kiriş 100 eş parçaya bölünerek i ve k ucu dahil olmak üzere toplam 101 istasyon (nokta) (istasyon numarası,  $j = 1, 2, \dots, 101$ ) oluşturulmuştur. Sabit yükten kaynaklanan eğilme momentleri ( $M_j^G$ ) her istasyon için elde edilmiştir. Hareketli yük kombinasyonlarının her bir kiriş üzerinde oluşturacağı eğilme momentleri yine kirişler üzerindeki istasyonlarda ayrı ayrı ( $M_j^{Qi}$ ) hesaplanmıştır. Hareketli yük kombinasyonlarına dayalı analizler sonunda, her bir istasyonda oluşabilecek en büyük ( $M_j^{Qmaks}$ ) ve en küçük ( $M_j^{Qmin}$ ) eğilme momentleri belirlenmiştir. Deprem yükünden kaynaklanan eğilme momentleri ( $M_j^E$ ) de kirişler üzerindeki her istasyon için hesaplanmıştır. Mesnetlerde en büyük oturma değerlerini veren yükleme koşulları neticesinde, mesnet sayısı kadar gerçekleştirilen yapı analizleriyle eğilme momentleri ( $M_j^{Ti}$ ) her istasyon için hesaplanmıştır. Hareketli yük kombinasyonlarında olduğu gibi mesnet çökmesinden kaynaklanan yükleme durumu için de istasyonlardaki en büyük ( $M_j^{Tmaks}$ ) ve en küçük ( $M_j^{Tmin}$ ) eğilme momentleri saptanmıştır. Böylelikle, Denklem 9'da verilen altı farklı yük birleşimlerinde oluşacak olan tasarım eğilme momentleri ( $M_{d,j}$ ) her bir istasyon için bulunmuştur. Buradan belirlenmiş olan ilgili yük birleşimindeki tasarım eğilme momentlerinin kiriş boyunca pozitif momentlerin en büyük ( $M_d^{maks}$ ) ve negatif momentlerin en küçük ( $M_d^{min}$ ) değerleri belirlenerek, çalışma kapsamındaki değerlendirmeler bu büyüklükler üzerinden yapılmıştır.

Çalışmada ihtiyaç duyulan deplasman metoduna dayalı yapı analizleri, eşdeğer deprem yükü hesapları, oturma analizleri ve temel kontrolleri için GNU Octave (Eaton vd., 2021) ortamında yazarlar tarafından geliştirilen program kodları kullanılmıştır. Elverişsiz kesit tesirlerinin belirlenmesi için kullanılan algoritmanın adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Adım: Sabit yük (G) için yapının analizi. Kirişler üzerinde belirlenen istasyonlardaki eğilme momentlerinin ( $M_j^G$ ) hesaplanması.
2. Adım: Yalnızca bir kiriş üzerinde hareketli yük (Qi) olması durumları için yapının kiriş sayısı kadar ayrı ayrı analizi. Kirişler üzerinde belirlenen istasyonlardaki eğilme momentlerinin ( $M_j^{Qi}$ ) hesaplanması.
3. Adım: Her bir mesnette en büyük normal kuvveti veren hareketli yük kombinasyonunun belirlenmesi.
4. Adım: İlgili mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu için temeller altında meydana gelen oturmaların (Ti) hesabı.
5. Adım: Hesaplanan oturmaların başlangıç deplasmanları olarak verilmesi durumu için yapının analizi. Kirişler üzerinde belirlenen istasyonlardaki eğilme momentlerinin ( $M_j^{Ti}$ ) hesaplanması.

6. Adım: Eşdeğer deprem yükünün hesabı. Yalnızca deprem yükü için yapının analiz edilmesi. Kirişler üzerinde belirlenen istasyonlardaki eğilme momentlerinin ( $M_j^E$ ) hesaplanması.
7. Adım: Eşitlik 9'daki her bir yük birleşimi için kirişler üzerinde belirlenen istasyonlardaki tasarım eğilme momentlerinin ( $M_d$ ) hesaplanması.
- i) Her bir j istasyonu için o noktadaki sabit yükten kaynaklanan momente ilave olarak ilgili yük birleşiminde yer alan diğer yük etkilerinden gelen pozitif değerdeki momentlerin toplanması.
- ii) Her bir j istasyonu için o noktadaki sabit yükten kaynaklanan momente ilave olarak ilgili yük birleşiminde yer alan diğer yük etkilerinden gelen negatif değerdeki momentlerin toplanması.
8. Adım: İlgili kirişte hesaplanan en büyük tasarım momentinin ( $M_d^{maks}$ ) ve en küçük tasarım momentinin ( $M_d^{min}$ ) belirlenmesi.

## 5. Örnek Modeller ve Analiz Sonuçları (Sample Models and Analysis Results)

Çalışma kapsamında, biri simetrik diğeri simetrik olmayan iki sanayi yapısı örneği ele alınmıştır. İncelenen yapıların kolonları  $0,5 \times 0,5$  m, kirişleri  $0,4 \times 0,8$  m olup, temel boyutları taşıma gücü ve temel altı eksantrisine açısından sorun oluşturmadığı tespit edilen boyutlar olan  $2,0 \times 3,5$  m olarak seçilmiştir. Betonun elastisite modülü 30000 MPa olarak alınmıştır. Yapı temelleri altındaki zemin profili (Şekil 1 ve 2), tabakalanmaya bağlı elastisite modülü değişimini de göz önüne alabilmek için üç tabakalı gevşek kum zemin olarak modellenmiştir. Zemin tabakaları için elastisite modülleri, gevşek kumlar için literatürde tanımlanmış olan aralıklar içerisinde kalacak şekilde belirlenmiş, ortalama poisson oranı 0,35, içsel sürtünme açısı ise  $30^\circ$  olarak seçilmiştir (Bowles, 1997). Temel zemini birim hacim ağırlığı tüm tabakalarda ortalama  $18 \text{ kN/m}^3$  olarak alınmıştır. Oturma analizinde, temel altındaki kum zeminde sadece elastik oturmaların gerçekleştiği ve temelin rijit temel olduğu kabul edilmiştir. Çalışmada ele alınan yapılardan ilkinde (Şekil 1), dört açıklıklı tek katlı simetrik bir sanayi yapısı modeli kurulmuştur. Bu yapıda kolon açıklıkları 8 m, kat yüksekliği ise 5 m olarak tanımlanmıştır. Bu yapının titreşim periyodu Rayleigh yöntemi kullanılarak  $0,323$  s olarak hesaplanmıştır. Şekil 2'deki ikinci örnek modelde ise, kolon açıklıkları 4 m ile 7 m arasında değişen beş açıklıklı tek katlı simetrik olmayan bir sanayi yapısı örneklenmiştir. Bu yapının da kat yüksekliği 5 m olarak seçilmiştir. Bu yapının titreşim periyodu ise  $0,274$  s olarak hesaplanmıştır. Her iki yapıda da şekil düzlemine dik yöndeki döşeme genişliği 6 m olarak alınmış ve yapı analizleri orta aks üzerinde yapılmıştır.

Her iki örnek için de kolonlarda eksene paralel, kirişlerde eksene dik doğrultuda kendi ağırlıklarından kaynaklanan yükler sırasıyla  $6,25 \text{ kN/m}$  ve  $8,0 \text{ kN/m}$ 'dir. Kiriş öz yüklerine ek olarak düzleme dik boyutu 6 m genişliğinde olan döşemeden kirişe aktarılan sabit yük değeri ise kiriş eksenine dik doğrultuda  $30 \text{ kN/m}$ 'dir. Böylece kiriş üzerindeki sabit yük değeri  $38,0 \text{ kN/m}$  olarak alınmıştır. Döşeme üzerindeki hareketli yük büyüklüğü  $5 \text{ kN/m}^2$  olup kirişlere aktarılan yayılı hareketli yük değeri  $30,0 \text{ kN/m}$  olarak uygulanmıştır.

Ele alınan konuya ilişkin olarak oturmaların önemli hale gelebileceği gevşek kum zemin koşulları üzerine inşası modellenen sanayi yapılarında, deprem parametrelerindeki değişimlerin de yük birleşimlerindeki etkilerinin ortaya konulabilmesi için, sismik tehlike haritası üzerinde iki farklı konuma ait deprem parametreleri seçilmiştir. Bu konulardan ilki, Kırşehir Organize Sanayi Bölgesi olarak seçilmiş ve Deprem Durumu I olarak ifade edilmiştir. Harita konumu ve seçilen gevşek kum zemin profili için kabul edilen zemin grubuna (ZD) bağlı olarak tasarım spektral ivme katsayıları,  $S_{DS} = 0,304$ ,  $S_{D1} = 0,156$  olarak belirlenmiştir. İkinci konum olarak, yine sanayi yapısının inşa yerini modelleyebilmek için sismik açıdan daha aktif bir bölge olan Kütahya Organize Sanayi Bölgesinde bir konum seçilmiştir. Deprem Durumu II olarak ifade edilen bu konum ve seçilen örnek zemin profiline ait zemin grubu (ZD) için tasarım spektral ivme katsayıları,  $S_{DS} = 0,983$ ,  $S_{D1} = 0,465$  olarak belirlenmiştir.

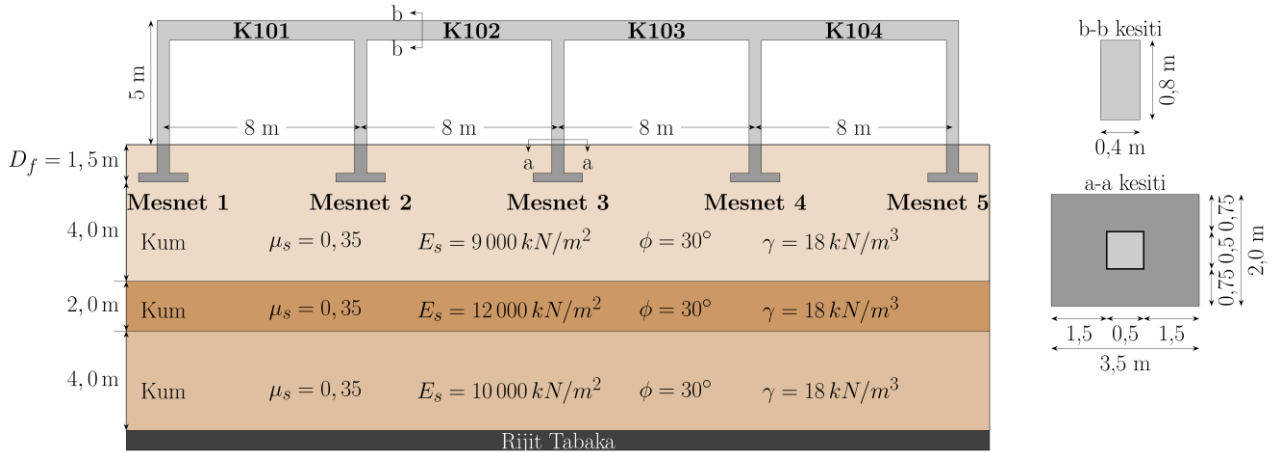
Deprem yükü değerleri TBDY-2018'e göre eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Örnek - 1'de ele alınan eşit açıklıklı sanayi yapısı modelinde sol kolonun üst düğüm noktasında Deprem Durumu I için pozitif x yönünde  $82,2 \text{ kN}$ , Deprem Durumu II için ise aynı düğüm ve doğrultuda  $254,7 \text{ kN}$ 'luk deprem kuvvetleri etki ettirilmiştir. Örnek - 2'de açıklık uzunlukları farklı olan sanayi yapısı modelinde ise Deprem Durumu I ve Deprem Durumu II için pozitif x yönünde sırasıyla  $80,7 \text{ kN}$  ve  $250,8 \text{ kN}$ 'luk deprem kuvvetleri etki ettirilmiştir. Sabit yükleme (G), hareketli yükleme kombinasyonları ( $Q_i$ ) ve bunlar neticesinde oluşan oturmaların ( $T_i$ ) da hesaba katıldığı koşullara ilave olarak iki deprem durumu (E) için de yapı analizleri gerçekleştirilmiş ve bu yüklemelerin kirişlerde ortaya çıkaracağı kritik eğilme momenti değerlerinin çeşitli yük birleşimlerine göre kıyaslaması yapılmıştır.

### Örnek Model - 1: Dört Açıklıklı Tek Katlı Simetrik Sanayi Yapısı Modeli

Tek katlı dört açıklıklı bu simetrik sanayi yapısı (Şekil 1), altı farklı yükleme durumu için analiz edilmiştir. İlk grup analizler, sabit ve hareketli yük kombinasyonlarından oluşmaktadır. Bu yük birleşimi ( $1,4G + 1,6Q$ ) ve yük kombinasyonları kullanılarak mesnetlerde oluşan en büyük normal kuvvetler sırasıyla  $408,1 \text{ kN}$ ,  $946,0 \text{ kN}$ ,  $879,0 \text{ kN}$ ,  $946,0 \text{ kN}$  ve  $408,1 \text{ kN}$  olarak hesaplanmıştır ve bu eksenel yük değerleri kullanılarak elde edilen oturma



değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’de yükleme kombinasyonları sütunlarında yer alan 1 değerleri ilgili kirişin hareketli yük ile yüklü olduğunu, 0 değerleri ise kiriş üzerinde hareketli yük bulunmadığını ifade etmektedir.



Şekil 1. Dört Açıklıklı Tek Katlı Yapı Modeli ve Zemin Profili (Four Span Single-Storey Building Model and Soil Profile)

Tablo 1’de ilgili mesnet altında en büyük oturma oluşturan hareketli yük kombinasyonları ve bu durumda tüm mesnetlerde meydana gelen oturma değerleri mm cinsinden verilmiştir. İlgili mesnette en büyük oturma oluşturan hareketli yük düzenlemesi gerçekleştiğinde mesnette ortaya çıkan oturma miktarı koyu renkli olarak gösterilmiştir. Örneğin; Mesnet 1’de oluşabilecek en büyük oturma değerinin (4,93 mm) tüm kirişlerin sabit yük ile ve ikinci kiriş dışındaki diğer kirişlerin hareketli yük ile yüklenmesi durumunda gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Diğer hareketli yükleme kombinasyonlarının tamamında, Mesnet 1’de oluşacak olan oturma değerleri, Tablo 1’de verilmiş olan 4,93 mm değerinden daha düşük olacaktır. Benzer şekilde, hareketli yük kombinasyonları diğer mesnetler için de gerçekleştirilmiş ve her bir mesnette oluşması muhtemel en büyük oturma değerlerini veren kombinasyonlar Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Simetrik yapı için mesnetlerde en büyük oturmaya veren hareketli yük kombinasyonları (Combinations of live loads giving the maximum settlement at supports for symmetrical structure)

	Hareketli Yük Kombinasyonları				Oturma Miktarları (mm)				
	K101	K102	K103	K104	1. Mesnet	2. Mesnet	3. Mesnet	4. Mesnet	5. Mesnet
1. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar	1	0	1	1	<b>4,93</b>	11,84	9,59	17,03	4,49
2. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar	1	1	0	1	4,49	<b>17,03</b>	9,59	11,84	4,93
3. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar	0	1	1	0	0,54	11,32	<b>15,52</b>	11,32	0,54
4. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar	1	0	1	1	4,93	11,84	9,59	<b>17,03</b>	4,49
5. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar	1	1	0	1	4,49	17,03	9,59	11,84	<b>4,93</b>

NOT: Yükleme kombinasyonlarındaki 1 ve 0 sırasıyla ilgili kirişte hareketli yük bulunduğunu ve bulunmadığını ifade eder.

Tablo 2. Simetrik yapıda farklı yük birleşimleri için kirişlerdeki kritik eğilme momentleri (Critical bending moments in beams for different load combinations in symmetrical structure)

Yük birleşimi: 1,4G+1,6Q				
	K101	K102	K103	K104
P	446,4	340,6	340,6	446,4
N	-670,0	-647,2	-647,2	-670,0
Deprem Durumu I			Deprem Durumu II	
Yük birleşimi: G+Q+E				

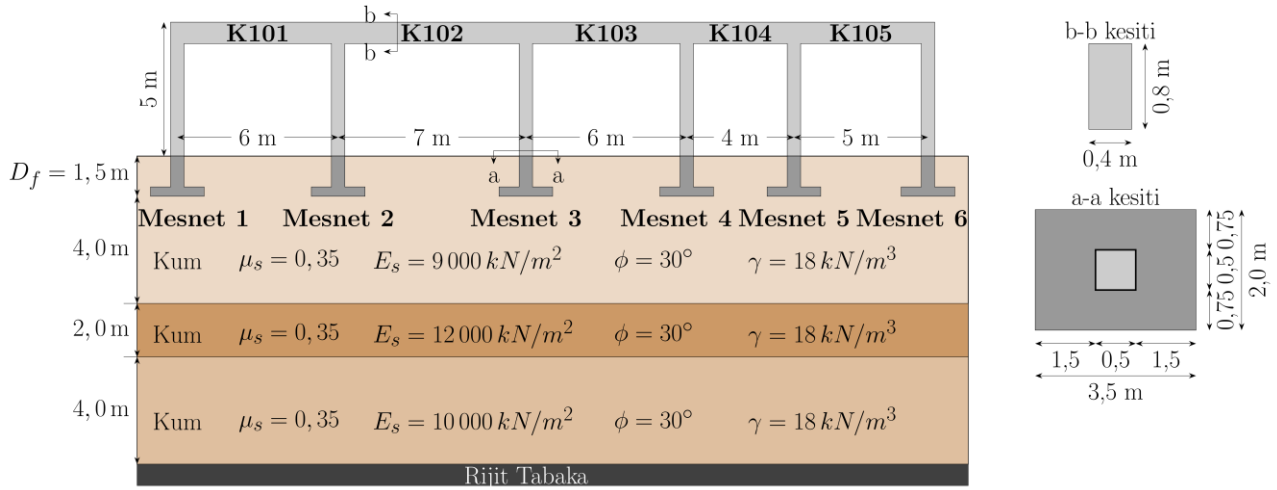
	K101	K102	K103	K104		K101	K102	K103	K104	
P	281,9	167,9	171,3	264,1		P	305,5	165,8	176,4	249,7
N	-461,7	-392,5	-428,3	-412,2		N	-515,7	-402,3	-465,5	-362,4
<b>Yük birleşimi: G+Q+E</b>										
	K101	K102	K103	K104		K101	K102	K103	K104	
P	263,0	171,2	167,8	280,7		P	247,0	176,2	165,5	301,4
N	-410,3	-428,7	-392,9	-459,8		N	-356,3	-466,7	-401,8	-509,7
<b>Yük birleşimi: 0,9G+E</b>										
	K101	K102	K103	K104		K101	K102	K103	K104	
P	147,1	83,8	87,3	129,2		P	174,4	83,2	93,8	118,0
N	-245,0	-191,1	-224,2	-195,5		N	-299,0	-233,5	-261,4	-165,9
<b>Yük birleşimi: 0,9G-E</b>										
	K101	K102	K103	K104		K101	K102	K103	K104	
P	128,2	87,2	83,8	145,9		P	115,9	93,6	82,8	169,6
N	-193,6	-224,6	-190,9	-243,1		N	-176,4	-262,6	-232,9	-293,0
<b>Yük birleşimi: G+1,2Q+1,2T</b>										
		<b>K101</b>	<b>K102</b>	<b>K103</b>	<b>K104</b>					
	P	443,2	<b>340,6</b>	<b>340,6</b>	443,2					
	N	-490,3	<b>-744,1</b>	<b>-744,1</b>	-490,3					
Not: Tablodaki moment değerleri kN.m cinsindedir. P: İlgili kiriş üzerindeki oluşabilecek pozitif momentlerin en büyük değerini ifade etmektedir. N: İlgili kiriş üzerindeki oluşabilecek negatif momentlerin mutlak değerce en büyük değerini ifade etmektedir.										

Yapı simetrik olduğu için ortaya çıkan elverişsiz yükleme kombinasyonları ve oturma miktarları da simetrik olarak tabloda yer almaktadır. Mesnet 1 ve 5'de maksimum oturma 4,93 mm olarak belirlenirken, Mesnet 2 ve 4'de oturmalar 17,03 mm değerine kadar yükselebilmektedir. Mesnet 3'de hesaplanan en büyük oturma ise kenar kirişlerde hareketli yükün yer almadığı kombinasyonda gerçekleşmekte ve oturma değeri ise 15,52 mm olmaktadır. Ele alınan örnek yapıda yan yana iki tekil temel arasındaki farklı oturma değeri 2,25 mm ile 12,54 mm arasında gerçekleşmektedir. Bu bulgular ışığında, gerek toplam oturmaların gerekse komşu iki temel arasındaki farklı oturmaların literatürde kum zeminler için tanımlanmış olan müsaade edilebilir oturma sınırları içerisinde kaldığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle, bu temel tasarımının, taşıma gücü ve oturmalar açısından herhangi bir problem içermeyeceği söylenebilmektedir.

Altı farklı yük birleşimleri için, kirişlerde ortaya çıkan kritik eğilme momenti (pozitif momentler için en büyük, negatif momentler için ise en küçük moment) değerleri Tablo 2'de sunulmuştur. Bu tabloda verilen sonuçlar mesnetlerde en büyük oturmaya veren hareketli yük kombinasyonlarından farklı birleşimlerden elde edilmiş değerler olabilir. Kirişlerin tamamında tasarımda esas alınacak pozitif moment değerleri düşey yükler (1,4G + 1,6Q) altında elde edilmiştir. Bu pozitif moment değerleri ile K102 ve K103 numaralı kirişlerde oturma değerlerini içeren yük birleşiminden (G + 1,2Q + 1,2T) elde edilen momentler aynı büyüklüktedir. Diğer taraftan, G + 1,2Q + 1,2T yük birleşiminin K102 ve K103 numaralı kirişlerin negatif eğilme momenti hesabında kritik değere sahip olduğu görülmektedir. K101 ve K104 numaralı kirişlerde kritik negatif eğilme momenti değerlerinin 1,4G + 1,6Q yük birleşimi ile ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Deprem yüklemelerini içeren yük birleşimlerinin ise 1,4G + 1,6Q ve G + 1,2Q + 1,2T yük birleşimlerine göre daha küçük eğilme momenti oluşturdukları gözlenmektedir. Bu tek katlı dört açıklıklı tekil temel sistemli örnek model üzerinde, deprem yüklemelerinden ziyade düşey yüklerden ve farklı oturmalarından kaynaklanan yük birleşimlerinin daha önemli hale geldiği anlaşılmaktadır.

#### Örnek Model – 2: Beş Açıklıklı Tek Katlı Sanayi Yapısı Modeli

Örnek – 2 için ise mesnetlerde en büyük oturma oluşturan yük kombinasyonları altında yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonunda mesnetlerde oluşan en büyük normal kuvvetler sırasıyla 310,9 kN, 774,4 kN, 745,2 kN, 573,2 kN, 554,1 kN ve 274,5 kN olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan kolon aksenal yükleri kullanılarak Tablo 3'teki oturma değerleri elde edilmiş olup ilgili mesnettaki en büyük oturma değerleri ise koyu renkli olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Beş Açıklıklı Tek Katlı Yapı Modeli ve Zemin Profili (Five Span Single-Storey Building Model and Soil Profile)

Tablo 3. Simetrik olmayan yapı için mesnetlerde en büyük oturmaya veren hareketli yük kombinasyonları (Combinations of live loads giving the maximum settlement at supports for non-symmetrical structure)

	Hareketli Yük Kombinasyonları					Oturma Miktarları (mm)					
	K101	K102	K103	K104	K105	1. Mesnet	2. Mesnet	3. Mesnet	4. Mesnet	5. Mesnet	6. Mesnet
1. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar	1	0	1	0	1	2,74	8,66	7,86	5,96	5,13	1,92
2. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar	1	1	0	1	0	2,27	13,17	8,52	4,17	4,88	0,00*
3. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar	0	1	1	0	1	0,00*	9,06	12,51	5,24	5,32	1,88
4. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar	1	0	1	1	0	2,73	8,69	7,69	8,64	4,12	0,00*
5. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar	0	1	0	1	1	0,00*	9,39	8,94	3,67	8,21	1,70
6. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar	1	0	1	0	1	2,74	8,66	7,86	5,96	5,13	1,92

NOT: Yükleme kombinasyonlarındaki 1 ve 0 sırasıyla ilgili kirişte hareketli yük bulunduğunu ve bulunmadığını ifade eder.  
\*İlgili yüklemde kolon eksenel kuvveti, pozitif net taban basıncı oluşturmadığı için oturma değeri hesaplanmamıştır.

Tablo 3 incelendiğinde, farklı hareketli yük kombinasyonları altında oluşabilecek maksimum oturma değerinin 13,17 mm olabileceği görülmektedir. İki komşu temel arasında gerçekleştirilecek farklı oturma değerlerinin ise 0,08 mm ile 10,9 mm arasında olacağı anlaşılmaktadır. Tablo 3'te 1. ve 6. mesnetlerde bazı hareketli yük kombinasyonlarında oturma miktarının sıfır olduğu değerler yer almaktadır. Birinci kolonda 3. yükleme kombinasyonunda 159,3 kN, 5. yükleme kombinasyonunda ise 156,9 kN; altıncı kolonda ise 2. yükleme kombinasyonunda 155,4 kN ve 4. yükleme kombinasyonunda 158,8 kN eksenel kuvvet hesaplanmıştır. Kolonlar altında gerçekleşen bu eksenel kuvvetlerden kaynaklanan ortalama taban basıncı, temel kazısından kaynaklanan gerilmeden ( $\gamma \cdot D_f$ ) daha az olduğu için, bu temellerde net taban basıncı oluşmamıştır. Bu nedenle, ilgili temeller altında oturma hesabı yapılmamıştır. Bu yapı modelinde de, toplam oturmaların ve komşu iki temel arasındaki farklı oturmaların kum zeminler için tanımlanmış olan müsaade edilebilir oturma sınırları içerisinde kaldığı ve seçilen temel boyutlarının, taşıma gücü ve oturmalar açısından uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 4'de farklı yük birleşimleri için kirişlerde oluşan pozitif ve negatif kritik eğilme momenti değerleri verilmiştir. Bu örnekteki tüm kirişlerin tasarımında esas alınacak pozitif moment değerlerinin, Örnek - 1'den farklı olarak,  $G + 1,2Q + 1,2T$  yük birleşiminden elde edildiği görülmektedir. Diğer taraftan, kiriş tasarımında esas alınacak negatif moment değerleri ise K101 kirişi için  $1,4G + 1,6Q$ , geri kalan tüm kirişler için  $G + 1,2Q + 1,2T$  yük birleşimi kullanılarak elde edilmiştir. Farklı açıklık büyüklüklerine sahip ve simetrik olmayan bu örnek modelde farklı oturmaları içeren yük birleşiminden elde edilen kritik eğilme momenti değerlerinin diğer yük birleşimlerine kıyasla daha baskın olduğu saptanmıştır. Özellikle, K104 kirişinde  $G + 1,2Q + 1,2T$  yük birleşiminden kaynaklanan

eğilme momentindeki artış miktarının pozitif momentlerde %724, negatif momentlerde %235 olduğu tespit edilmiştir. Bu tespit, tekil temelli yapılarda farklı oturmalarından kaynaklanan ilave kesit tesirlerinin ihmal edilemeyecek mertebelere ulaşabileceğini ortaya koymaktadır.

**Tablo 4.** Simetrik olmayan yapıda farklı yük birleşimleri için kirişlerdeki kritik eğilme momentleri (Critical bending moments in beams for different load combinations in non-symmetrical structure)

Yük birleşimi: 1,4G+1,6Q											
	K101	K102	K103	K104	K105						
P	255,3	267,5	205,7	73,3	195,2						
N	-425,0	-433,4	-392,2	-222,8	-222,5						
Deprem Durumu I						Deprem Durumu II					
Yük birleşimi: G+Q+E											
	K101	K102	K103	K104	K105		K101	K102	K103	K104	K105
P	158,9	146,2	109,4	10,6	116,4	P	182,9	145,3	110,5	17,2	106,5
N	-298,6	-275,0	-231,2	-139,7	-122,4	N	-344,6	-307,1	-196,6	-171,7	-130,6
Yük birleşimi: G+Q-E											
	K101	K102	K103	K104	K105		K101	K102	K103	K104	K105
P	140,7	148,1	110,2	8,5	131,0	P	126,3	151,2	112,9	10,5	152,1
N	-255,0	-292,8	-266,1	-147,0	-159,9	N	-209,0	-321,6	-302,9	-184,2	-199,5
Yük birleşimi: 0,9G+E											
	K101	K102	K103	K104	K105		K101	K102	K103	K104	K105
P	85,3	73,3	55,1	6,6	55,8	P	114,2	73,4	58,2	17,4	51,5
N	-161,0	-145,9	-107,6	-77,8	-52,2	N	-207,1	-178,0	-122,8	-109,8	-109,0
Yük birleşimi: 0,9G-E											
	K101	K102	K103	K104	K105		K101	K102	K103	K104	K105
P	67,0	75,2	55,9	4,5	70,5	P	57,5	79,3	60,6	10,7	97,1
N	-117,4	-154,0	-142,5	-82,7	-89,8	N	-123,6	-182,8	-179,3	-119,9	-129,3
Yük birleşimi: G+1,2Q+1,2T											
	K101	K102	K103	K104	K105						
P	359,2	370,1	255,2	604,3	572,7						
N	-326,2	-445,6	-711,9	-745,5	-279,6						

Not: Tablodaki moment değerleri kN.m cinsindedir.  
P: İlgili kiriş üzerindeki oluşabilecek pozitif momentlerin en büyük değerini ifade etmektedir.  
N: İlgili kiriş üzerindeki oluşabilecek negatif momentlerin mutlak değerce en büyük değerini ifade etmektedir.

## 6. Sonuçlar (Conclusions)

Kirişler üzerindeki elverişsiz hareketli yük kombinasyonlarının yapı temellerinde meydana getirebileceği en büyük oturmaların da dikkate alındığı farklı yük birleşimlerinin (düşey, deprem ve oturma yüklemeleri) kirişlerde oluşturabileceği kritik eğilme momentleri iki örnek tek katlı sanayi yapısı üzerinde incelenmiştir. Örnek yapı modellerinde, aynı zemin koşullarına sahip iki tekil temel arasındaki farklı oturma değerlerinin birinci örnekte 2,25 mm ile 12,54 mm, ikinci örnekte 0,08 mm ile 10,90 mm arasında oluşabileceği belirlenmiştir. Bu değerler kum zemin üzerindeki tekil temeller için literatürde genel kabul görmüş izin verilen en büyük farklı oturma değerlerinden oldukça küçüktür. Tasarlanan temeller altında meydana gelen zemin gerilmeleri temel zemini taşıma gücü sınırlarını da aşmamaktadır. Bu iki husus göz önüne alındığında, temel tasarımı açısından, temel sistemi ve temel boyutlarının yeterli olduğu değerlendirilmektedir. Ancak, bu durumda farklı oturmaları içeren yük birleşimi dikkate alınmadan yapılacak elverişsiz kesit tesiri belirlemelerinin yetersiz kalacağı sunulan çalışma bulgularında açıkça yer almaktadır. Kirişlerde oluşacak kritik eğilme momentleri incelendiğinde, yapıların çok katlı olmaması ve kütlelerin de az olması sebebiyle deprem yükünün bulunduğu yük birleşimlerinden elde edilen eğilme momenti değerlerinin kritik olarak ortaya çıkmadığı gözlenmektedir. Birinci örnekte sabit ve hareketli yük

birleşimleri ile birlikte farklı oturma içeren birleşimin de etkin olduğu görülmüştür. Bu örnekte, farklı oturmaları içeren yük birleşiminde daha baskın olan eğilme momentlerinin, sabit ve hareketli yük birleşiminden gelenlerden %15 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. İkinci örnekte ise farklı oturma içeren yük birleşiminin bir kritik moment hariç tüm kirişlerde baskın olduğu saptanmıştır. Yapının farklı açıklık genişliklerine sahip olduğu bu simetrik olmayan yapı örneğinde, farklı oturmaları içeren yük birleşimindeki momentler, sabit ve hareketli yük birleşimindeki maksimum momentlerin 8 katına kadar çıkabilmektedir. Bu çalışma, uygulamada genellikle ihmal edilen oturma değerlerini içeren yük birleşiminin tekil temele sahip yapılarda önemli olabileceğini göz önüne sergilemektedir. Bu durum yaygın kullanılan tekil temelli tek katlı çok açıklıklı sanayi tipi yapılarda oturma analizleri içeren yük birleşimlerinin de dikkate alınarak tasarım yapılması gerektiğini göstermektedir. Aksi halde, tasarımların güvenlik sayılarının küçüleceği anlaşılmaktadır.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

### Kaynaklar (References)

- Akbaş, S.O., 2008. Çeşitli Yapı Tipleri İçin İzin Verilebilir Farklı Oturma Sınırlarının Derin Kiriş Modeli İle Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23 (4), 871-878.
- Alessandri, C., Garutti, M., Mallardo, V., Milani, G., 2015. Crack Patterns Induced by Foundation Settlements: Integrated Analysis on a Renaissance Masonry Palace in Italy. International Journal of Architectural Heritage, 9 (2), 111-129.
- Arslan, A., Turgut, P., Calayır, Y., 1996. A Genetic Search Based Arrangement of Load Combinations in Structural Frames. Advances in Computational Structures Technology, Civil-Comp Press, Edinburgh, 85-91.
- Bowles, J.E., 1997. Foundation Analysis and Design. Civil Engineering Series. The McGraw-Hill Companies, Inc., 5th Ed., New York.
- Chen, X., Wang, X., Wang, H., Agrawal, A.K., Chan, A.H.C., Cheng, Y., 2021. Simulating the Failure of Masonry Walls Subjected to Support Settlement with the Combined Finite-Discrete Element Method. Journal of Building Engineering, 43, 102558, 1-12.
- Celik, H.K., Sakar, G., 2022. A New Study on the Live Load Arrangements in RC Buildings. Journal of Building Pathology and Rehabilitation, 7, Article no. 96, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s41024-022-00239-1>.
- Döven, M.S., Saraçoğlu, M.H., Kaymak, B., Bayer, M.T., 2011. Düzlem Çerçeve Yapıların Elverişsiz Yük Dağılımına Göre Analizi. XII. Akademik Bilişim Konferansı, 2-4 Şubat, Malatya, 675-681.
- Eaton, J.W., Bateman, D., Hauberg, S., Wehbring, R., 2021. GNU Octave Version 6.3.0 Manual: A High-Level Interactive Language for Numerical Computations.
- EN 1997-1. 2004. Eurocode 7: Geotechnical Design – Part 1: General Rules, The European Union Per Regulations.
- Ersoy, U., 1992. Çok Katlı Yapıların Çözümünde Hareketli Yük Düzenlenmesi. Teknik Dergi, 3 (13), 555-561.
- Ersoy, U., Özcebe G., 2015. Betonarme. Evrim Yayınevi, 4. Baskı, İstanbul.
- Furlong, R.W., 1981. Rational Analysis of Multistory Concrete Structures. Concrete International. American Concrete Institute (ACI), 3 (6), 29-35.
- Giardina, G., Marini, A., Riva, P., Giuriani, E., 2020. Analysis of a Scaled Stone Masonry Facade Subjected to Differential Settlements. International Journal of Architectural Heritage, 14 (10), 1502-1516.
- Grant, R., Christian, J.T., Vanmarcke, E.H., 1974. Differential Settlement of Buildings. ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division, 100 (9), 973-991.
- Huang, J., 2021. Analysis of the Influence of Differential Consolidation Settlement of Foundation on Redistribution of Internal Forces in Superstructure of Buildings. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 632, 022007, 1-7.
- Lahri, A., Garg, V., 2015. Effect of Differential Settlement on Frame Forces - A Parametric Study. International Journal of Research in Engineering and Technology, 4 (9), 453-464.
- Lin, L., Hanna, A., Sinha, A., Tirca, L., 2015. Structural Response to Differential Settlement of Its Foundations. Journal of Civil Engineering Research, 5 (3), 59-66.
- Ou, W., Chen, X., Chan, A., Cheng, Y., Wang, H., 2022. FDEM Simulation on the Failure Behavior of Historic Masonry Heritages Subjected to Differential Settlement. Buildings, 12 (10), 1592.
- Önalp, A. Sert, S., 2010. Geoteknik Bilgisi III: Bina Temelleri. Birsen Yayınevi, 2. Basım, İstanbul.
- Pepe, M., Sangirardi, M., Reccia, E., Pingaro, M., Trovalusci, P., De Felice, G., 2020. Discrete and Continuous Approaches for the Failure Analysis of Masonry Structures Subjected to Settlements. Frontiers in Built Environment, 6:43, 1-14.
- Portioli, F., Cascini, L., 2016. Assessment of Masonry Structures Subjected to Foundation Settlements using Rigid Block Limit Analysis. Engineering Structures, 113, 347-361.
- Shibiru, A.A., 2019. Effects of Foundation Differential Settlement on RC Framed Buildings. M.Sc. Thesis. Addis Ababa Science and Technology University.
- Skempton, A.W., MacDonald, D.H., 1956. The Allowable Settlements of Buildings. Proceedings of Institution of Civil Engineers, 5, 727-768.
- TS 500-2000. 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standardları Enstitüsü. Ankara.
- TBDY-2018. 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Resmi Gazete, Tarih: 18.03.2018, Sayı: 30364.
- Uzuner, B.A., 2006. Temel Mühendisliğine Giriş. Derya Kitabevi, 3. Basım, Trabzon.
- Yıldırım, S., 2009. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı. Birsen Yayınevi, 3. Basım, İstanbul.



## SOĞUK HAVA DEPOLARININ TALEP BAZLI YER SEÇİMİ YAKLAŞIMINDA KÜTLE DENGELİ ERİŞİBİLİRLİK MODELİ: İZMİR ÖRNEĞİ

Kemal Yasin GÖKA<sup>1</sup>, Görkem GÜLHAN<sup>2\*</sup>, OLCAY POLAT<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, Türkiye

<sup>2</sup>Pamukkale Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Denizli, Türkiye

<sup>3</sup>Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Yer Seçimi,  
Erişilebilirlik,  
Soğuk Hava Deposu,  
Kentsel Lojistik Plan,  
İzmir.

### Öz

Isıya duyarlı ürünlerin üretimi ve tüketimi arasındaki sürenin uzaması halinde duraklı bir zincir lojistik yapısına ihtiyaç duyulur. Bu yapı genel olarak üretim-taşıma-depolama-taşıma-tüketim şeklinde gerçekleşen zincirde soğuk hava depolarının ara durak düğümlerini üstlendiği sistemlerdir. İki taşıma süreci arasında kalan bir tesisin bulunduğu konum dolayısı ile taşıma maliyetlerini, ürün tazeliğini, ulaşım süresini, erişilebilirliği doğrudan etkilemektedir. Soğuk hava depolarının mekansal planlamaları genellikle mikro ölçekte üretim ve tüketim bölgelerinin arasında bulunan ve çeşitli çevresel dinamikler nedeniyle seçilen bir konumdan oluşmaktadır. Ancak bu dinamikler arasında trafik bazlı erişilebilirlik ve talep dengesini sağlayan bütünsel bir çerçevenin eksikliği problemi seyahat süresi ve talep dalgalanmalarının gerçekçiliğinden uzaklaştırabilmektedir. Bu çalışmada gıda taşımacılığında soğuk zincir verimliliğini artırmak amacıyla İzmir Sürdürülebilir Kentsel Lojistik Planı kapsamında gerçekleştirilen trafik ataması verilerinden yararlanılmıştır. Soğuk hava depoları yer seçim kriterlerinde trafik bazlı erişilebilirlik ve talep ölçütleri kullanılarak stratejik yer seçimi yaklaşımı önerilmiştir. Bu yaklaşım ürün ve taşıma türlerinden oluşturulan koridorlarda tampon bölgelerin belirlenmesi ile elde edilmiştir.

## MASS BALANCED ACCESSIBILITY MODEL IN DEMAND-BASED SITE SELECTION APPROACH OF COLD STORAGES: THE EXAMPLE OF IZMIR

### Keywords

Site Selection,  
Accessibility,  
Cold Storage,  
Urban Logistic Plan,  
İzmir.

### Abstract

If the time between the production and consumption of heat-sensitive products is prolonged, a chain logistics structure with stops is needed. This structure is the system in which the cold storages undertake the intermediate stops in the chain, which generally takes place in the form of production-transport-storage-transport-consumption. The location of a facility between two transportation processes directly affects transportation costs, product freshness, transportation time, and accessibility. Spatial planning of cold storage usually consists of a location between micro-scale production and consumption zones and is chosen due to various environmental dynamics. However, the lack of a holistic framework that balances traffic-based accessibility and demand among these dynamics can distract the problem from the realism of travel time and demand fluctuations. In this study, in order to increase the cold chain efficiency in food transportation, the traffic assignment data carried out within the scope of the Izmir Sustainable Urban Logistics Plan was used. A strategic location selection approach has been proposed by using traffic-based accessibility and demand criteria in cold storage location selection criteria. This approach has been achieved by determining buffer zones in corridors formed from product and transport types.

### Alıntı / Cite

Göka, K.Y., Gülhan, G., Polat, O. (2023). Soğuk Hava Depolarının Talep Bazlı Yer Seçimi Yaklaşımında Kütle Dengeli Erişilebilirlik Modeli: İzmir Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11 (2), 807-823.

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

K. Y. GÖKA-0000-0002-5629-3223  
G. GÜLHAN-0000-0003-2715-0984  
O. POLAT-0000-0003-2642-0233

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	17.01.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	20.03.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	03.04.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.06.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: ggulhan@pau.edu.tr, +90-535-218-48-16

## MASS BALANCED ACCESSIBILITY MODEL IN DEMAND-BASED SITE SELECTION APPROACH OF COLD STORAGES: THE EXAMPLE OF IZMIR

Kemal Yasin GÖKA<sup>1</sup>, Görkem GÜLHAN<sup>2\*</sup>, OLCA Y POLAT<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, Türkiye

<sup>2</sup> Pamukkale Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Denizli, Türkiye

<sup>3</sup> Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

---

### Highlights (At least 3 and maximum 4 sentences)

---

- Determination of freight movements
- Generating cold storage access buffer zones
- Proposition of cold storage locations

---

### Purpose and Scope

In this study, in order to increase the cold chain efficiency in food transportation, the traffic assignment data carried out within the scope of the Izmir Sustainable Urban Logistics Plan was used. A strategic location selection approach has been proposed by using traffic-based accessibility and demand criteria in cold storage location selection criteria. This approach has been achieved by determining buffer zones in corridors formed from product and transport types.

### Design/methodology/approach

A 5-step method has been developed to achieve the goals. Step 1 is the information gathering phase. With the information obtained in Step 2, the logistics Integrated Motion Model (BHM) was established. In Step 3, it was ensured that the high-scale needs and dense regions within the scope of agricultural products were determined. Step 4 includes site selection decisions. Step 5 is the conclusion and evaluation phase.

### Findings

In this study, a Regional Scale Accessibility Based Strategic Site Selection approach has been proposed in the type of food products related to Cold Storage, which has an important position in Cold Chain Logistics. Since the Integrated Movement Model, which is determined as the demand model, can represent both passenger and freight movements in the same network, it has been possible to present realistic analyzes in current and future forecasts. As a result of the calculations, the curtain lines and the Mass Balanced Accessibility Model proposed within the scope of the study and the location selection in the Cold Storage Rooms were carried out on a volume-based regional scale. In this sense, it is clear that the proposed model will provide high consistency in the volume-dependent variables of site selection.

### Originality

In this study, the locations of cold storage warehouses were not determined heuristically or based on expert opinions, contrary to what is known in the literature. The locations were determined by prioritizing freight movements and accessibility constraints by proposing as buffer zones, not points.

---

## 1. Giriş (Introduction)

Soğuk zincir sisteminin ilk hedeflerinden birisi gıda, kimya, tıp ve çiçekçilik gibi ısıya duyarlı ürün alanlarında tazeliğin korunmasıdır. Tüketicinin kısa vadede gerçekleşmesi halinde iklimlendirme ve ısı muhafaza sistemlerine sahip araçlar ve ürünler kullanılabilir. Ancak hızlı ve güçlü tüketim alışkanlıklarının yaygınlaşması, dijital olanakların ve elektronik ticaretin artması sonucunda bu ürünlere erişim imkanlarının geliştirilmesi soğuk hava depoları ile mümkün olmaktadır. Soğuk hava depoları tasarımı ilk sırada gelen yer seçimi konusu sürecin verimini doğrudan etkilemektedir. Tesis yer seçimi problemi altında değerlendirilen konu pek çok bilim alanı ile etkileşim içerisinde bulunan disiplinler arası bir yapıdır. Yer seçimi, güvenlik, erişilebilirlik, maliyet ve verimlilik gerekçeleri ile askeri alanlar, hastaneler, endüstriyel bölgeler, enerji santralleri, okul binaları, elektrik şarj istasyonu vb. için sistematik bir yaklaşım çerçevesi içinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yaklaşım etki etmesi öngörülen faktörlerin belirlenmesi ve yer seçim gerekçelerinin önceliklendirilmesini içermektedir. Kentlerde soğuk hava depolarının yer seçim kriterlerindeki gerekçeler noktasal konum, ürün hacmi, yatırım maliyeti, arazi kullanımı vb. unsurlar olarak değişmektedir. Ulaşım ise genelde yola yakınlık ve üretim ile tüketim noktası arasında noktasal uzaklık açısından ele alınmaktadır. Erişilebilirlik ölçütlerinin soğuk hava tesislerinin yer seçim kriterleri içerisinde trafikten ve talep değişkenlerinden bağımsız bir şekilde kullanılması bu yapıların verimliliklerinde isabet oranını düşürebilmektedir. Bu yaklaşımda kullanılan noktasal mesafe süreden bağımsız olduğundan çok modlu kent trafiğinin oluşturacağı olumsuz etkenler göz ardı edilmektedir. Trafik parametreleri bir lojistik sistemde seyahat süreleri ve rota planlamasına doğrudan etki ederler. Dolayısı ile büyük ve orta ölçekte yer seçiminin kent trafiği ve rota planlamalarından bağımsız düşünülmemesi gerekmektedir.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Bir soğuk hava deposu veya soğuk zincir lojistik merkezinin yer seçim kriterleri problemin iç dinamiklerinin bölgesel olarak araştırılmasını gerekli kılar. Geleneksel yöntemlerde soğuk hava deposu yer seçimi ulaşım giderleri ve mesafe ölçümüne göre yapılmaktadır (Liu ve Ren (2017)). Ancak mesafeye bağlı ölçütler tek başına yeterli olmamaktadır. Bu nedenle yer seçimi hesaplamalarında kullanılmak üzere bir çok kriter önerilmiştir. Bu kriterler ana gereksinimleri karşılamak adına yeni bir depo bölgesi geliştirilirken üretim alanı, ana yoldan uzaklık, talep ve elektrik tesisleri (Hiremath ve diğ. (2012) olarak düşünülebilir. Kriterler ekonomik ve çevresel olarak sınıflandırıldığında ise daha detaylı sonuçlar elde etmek mümkündür. Ekonomik faktörler; sabit ürün yatırımı, taze ürünlerin perakende cirosu, yük hacmi ve vergi oranları, sosyal faktörlerde politika destekleri, HR koşulları, lojistik gelişim durumları, kentsel ekonomik gelişim durumları olarak ele alınabilir. Çevresel faktörler, trafik gelişimi ve arazi fiyatları (Liu ve Ren (2017)) olarak değerlendirilebilir. Konum ise diğer tüm değişkenlerle bağlantılıdır. Dolayısı ile yer seçiminde mekansal kısıtlardan bahsedilebilir. Bunlar; mevcut soğuk hava deposu, mahsül haritası, ulaştırma, tarım marketleri, arazi kullanımı, elektrifikasyon, yeraltı suyu, yükseklik, deprensellik, su yolları, kumlu zemin, drenaj, yerleşim alanı, eğim, yol ağına yakınlık, tarım alanına yakınlık (Upadhyay ve Bhattacharya (2020)) olarak değişebilir. Konum aynı zamanda planlama amaçlarının da belirlenmesi ve önceliklendirmesini sağlayacaktır. Liu ve Fan (2018) soğuk zincir parkı olarak tanımladıkları alanı kar elde etmek için ilk ve en önemli adım olarak anlamlandırmıştır. Zhang ve diğ. (2021) ise tüm soğuk zincir ağının karbon emisyonu değerini düşürmek için optimum dağıtım merkezi yer seçimi üzerinde durmuştur.

Soğuk hava depoları yer seçimi probleminde kriterler artırılıp azaltılabilir. Young (1997) soğuk hava depolarında ilk yerleşimin temel aldığı bilgilerin her zaman bir dereceye kadar eksik kalacağından bahsetmiştir. Dolayısı ile yer seçimindeki amaç verimin mümkün olabildiğince artırılmasıdır. Bu da kriter seçimi ve planlama aşamalarının doğru tasarımı ile mümkündür. Bu konuda nitel ve nicel yöntemler tek başına kullanılabileceği gibi genellikle karma olarak kullanılır. Doğrudan karar vericinin veya uzmanın insiyatifi nitel yöntem olarak değerlendirilebilir. Ancak uzman görüşleriyle genellikle kriter belirleme, ağırlıklandırma aşamalarında fikir birlikçi ve nicel yöntemlere eşlikçi bir yaklaşım oluşturmak amaçlanır (Joshi ve diğ. 2011, Liu ve Ren. 2017, Kamali ve diğ. 2015). Kriterler yer seçimi probleminin çözümünde belirleyici rol oynadığından çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılan başlıca yöntemler arasında gelmektedir. Çok kriterli karar verme yöntemleri birbirleri ve GPS teknolojileri ile birleştirilerek kullanılabilir. Soğuk hava depolarının yer seçimi ve soğuk zincir verimliliği ölçütlerinde sıkça kullanılan çok ölçütlü karar verme sistemleri; Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process (AHP)) (Hassan ve diğ. 2020, Singh ve diğ. 2018, Liu ve Ren. 2017), İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)) (Singh ve diğ. 2018, Jia ve Yang. 2012, Han 2020, Wang ve diğ. 2015), Kapsamlı Bulanık Gelişme (Fuzzy Comprehensive Evaluation (FCE)) (Jian ve Jing 2018, Dong 2020), Veri Kaplama Analizi (Data Envelopment Anaysis) (Mingfei ve Ting. 2011, Cao ve diğ. 2017) olarak değişmiştir. Liu ve Fan (2018) soğuk park alanlarının yer seçim modellerinde çok ölçütlü karar verme sistemleri kullanılmaktaysa da bu yöntemlerin operasyonel, öznel, uyumsuzluk ve ekonomi alanlarında farklı kullanımlarının ve eksikliklerinin olduğundan bahsetmişlerdir.



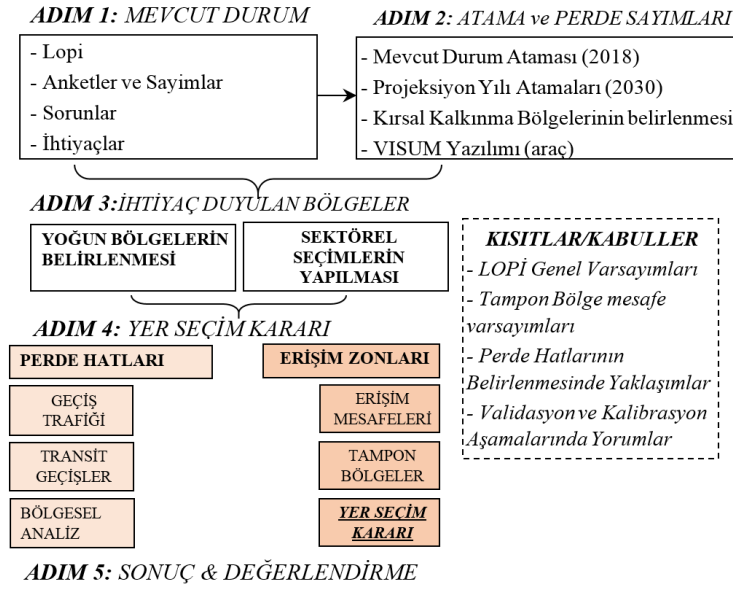
Soğuk hava depoları çeşitli kullanım alanlarına sahip olduğundan yer seçimi ve zincir lojistiği verimliliğinin ölçümü birçok durumda hedef ürün grubunun tanımlanması ile başlar. Hiremath ve diğ. (2012) Hindistan'ın Banaskantha bölgesinde üretilen patates ürünü ile ilgili olarak neredeyse tüm soğuk depoların tüketim marketlerine yakın yerlerde olduğundan bahsetmiştir. Yeni bir depo bölgesi geliştirilirken faktörler ise üretim alanı, ana yoldan uzaklık, talep ve elektrik tesisleri olarak ele alınmıştır. Viswanadham (2006, akt. Joshi ve diğ. (2011)) Hindistan'da taze meyve ve sebzelerin yaklaşık %35-40'ının sadece uygunsuz soğuk depo, kötü lojistik, tesirsiz soğuk zincir tesisleri ve diğer altyapı desteklerinin eksiklikleri yüzünden kayıp olduğundan bahsetmiştir. Dolayısı ile bir soğuk deponun sadece bulunduğu konum bahsi geçen bir veya birkaç parametre hakkında düzeltme önerebilecek nitelikte olabilir. Konum noktasal olabileceği gibi bölgesel olarak da ifade edilebilir. Noktasal konum önceden kriterlerde bahsedildiği üzere, ekonomik maliyet, su ve elektrik hattı, eğim vb. detaylar ile ilgiliyken, bölgesel konum daha çok erişilebilirlik ve verimliliği belirleyici rolü üstlenmektedir. Dolayısı ile yer seçimi problemlerinde bölgesel konumlar ve tampon bölgeler (Uyan 2013, Arkoc 2013, Şener ve diğ. 2006) sıklıkla kullanılmaktadır. Tampon bölgeler ara bölgedir. Bu bölgeler askeri literatürde tarafsız alan olabileceği gibi bir şehirde yeşil bant alanı olabilir. Dolayısı ile niteliklendirilmiş bölgesel alan olarak tanımlanabilir. Yer seçimi problemlerinde ise verimliliğin büyük ve orta ölçekli boyutları ile ilişkilidir. Soğuk zincir tesislerinin çevresel bağları ile gerçekleştirilen çalışma alanlarından biri de üretim-taşıma-depolama-taşıma-tüketim şeklinde gerçekleşen süreçte rota optimizasyonu (Chen ve diğ. 2021, Jiao ve diğ. 2021, Zhao 2020, Yuanguo ve Shengyu 2019) sağlamaktır. Bu yöntem de zincir yapısında bulunan tesislerin konumları ile doğrudan ilişkilidir. Üretim ve tüketim alanlarının konumları arz-talep ilişkisi içerisinde gelişmiş olduğundan rotalama var olan sistemler arasındaki yapıyı yönetmeye ve ara tesislerin verimini artırmaya yöneliktir.

Bir soğuk deponun soğuk zincir içerisindeki fiziksel ve operasyonel konumu verimliliği doğrudan belirleyici unsurlardan birisidir. Konum çevresel dinamikler ile beraber düşünülmelidir. Bu dinamikler arazi kullanımı, iş gücü, ekonomik faktörler gibi değişebilmektedir. Ancak sağlıklı bir planlama noktasal konumlamadan önce ürünün kendisinin ve ürün akış aksının hem mevcut durumda hem de gelecekte belirlenebilmesi ile alakalıdır. Çünkü mevcut ve gelecek durumdaki talebin kendisi arzı belirleyici temel unsurdur. Konu ile ilgili mevcut çalışmalar bahsi geçen çevresel dinamikleri içermekte ve hatta detaylandırmaktadır. Ancak bunlar problem bazlı sınırlandırılmış kriterleri kapsamaktadır. Ayrıca mekansal planlamaya yönelik ürün akış aksı ve rotalamaya yönelik aks trafiği unsurlarının mevcut ve gelecek değerler bazında bütüncül yaklaşımı eksik görülmüştür. Dolayısı ile çalışma kapsamında ürün talebi ve ağ trafiği dalgalanmalarının mevcut ve gelecek durumda görülebileceği, makro boyutta erişilebilirlik ve tampon bölgelerin kullanıldığı bütünsel bir stratejik yer seçimi yaklaşımı önerilmiştir.

### 3. Metodoloji ve Çalışma Alanı (Methodology and Study Field)

#### 3.1. Metodoloji (Methodology)

Mevcut durumda çalışma bölgesi olarak belirlenen İzmir'de soğuk hava depoları şehrin çeşitli yerlerine dağılmış ve çoğunlukla şehir merkezine yakın, üretim alanlarından uzak konumda bulunmaktadır. Bu dağılık yapı literatür bölümünde bahsedilen soğuk zincir verimliliği yapısı üzerinde olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Dolayısı ile belirli tarım ürünlerine özel olarak yer seçimi çalışmaları öneri stratejik yaklaşım çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma uygulamaya dönük olduğundan, arazi maliyeti, eğim, su ve elektrik hatları vb. gibi bazı detayların elde edilmesi ilk aşamada gerekli görülmemiştir. Çünkü bu detayların hesaplanması ve depoların uygulamaya geçmesi arasında geçen sürede arazi kullanımları öngörülemez şekilde değişecektir. Dolayısı ile arazi belirlenmesi erişilebilirlik ve ürün akış dinamiklerinin makro boyutta baz alınması ile gerçekleştirilmiştir. Bu kriterlerin belirlenen amaçlara hizmet edebilmesi için Şehir'de gerçekleşen üretim ve tüketim yapısının bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle İzmir Sürdürülebilir Kentsel Lojistik Ana Planı'nda uygulanan veri toplama çalışmaları ve geliştirilen Bütünsel Hareket Modeli soğuk hava depolarının yer seçimi için önerilen yaklaşıma katkı sunmaktadır. Talep modeli hem lojistik araçları hem de ulaşım araçları için kurulduğundan önerilen yaklaşım trafik cinslerini ve rota sürelerini tutarlı bir biçimde değerlendirebilmektedir. Soğuk hava depolarında erişilebilirlik-talep dengesi stratejik yer seçimi yaklaşımı 5 adımda gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de çalışmanın akış seması gösterilmiştir.



Şekil 1. Akış Şeması (Flowchart)

Şekil 1’de gösterilen adımlar aşağıda detaylandırılmıştır.

Adım 1, bilgi toplanması aşamasıdır. Bu aşamada İzmir’de üretim-tüketim ve lojistik süreçlere ilişkin veriler toplanmıştır. Kurumlardan sosyo-ekonomik durum, yük ve üretim ilişkili arazi kullanımı, ulaşım altyapısı gibi bilgiler elde edilmiştir. Ardından mevcut durumda talep akışının belirlenebilmesi için yeni bilgiler kapsamında iş yeri anketleri, sürücü anketleri ve trafik sayımları ile hız etütleri gerçekleştirilmiştir. Bu adımda LOPİ (2019) (İzmir Sürdürülebilir Kentsel Lojistik Ana Planı) verileri kullanılmıştır.

Adım 2’de elde edilen bilgiler ile lojistik Bütünleştirilmiş Hareket Modeli (BHM) kurulmuştur. Modelin kalibrasyonunun sağlanmasının ardından hem mevcut durum hem de projeksiyon yılları için trafik atamaları gerçekleştirilmiştir. Yük karayolu trafik atamalarında araçlar 3 farklı çeşide indirgenmiştir. Bunlar, treyler, kamyon ve kamyonettir.

Adım 3’te üst ölçekte ihtiyaçların ve tarım ürünleri kapsamında yoğun bölgelerin belirlenmesi sağlanmıştır. Kırsal üreticiler ile uygulanan anketler ve kurulan BHM modeli sonucunda uygulama gerçekleştirilecek ürün grupları seçilmiştir.

Adım 4, yer seçim kararlarını içermektedir. Kararlar perde hatları analizleri ve erişim zonları ile gerçekleştirilmiştir. Perde hatlarında trafik değişimleri, transit geçişler, bölgesel göstergeler ve erişim bölgelerinde, mesafeler, tampon bölgeler analiz edilmiştir. Perde hatları idari ilçe sınırlarında belirlenmiştir.

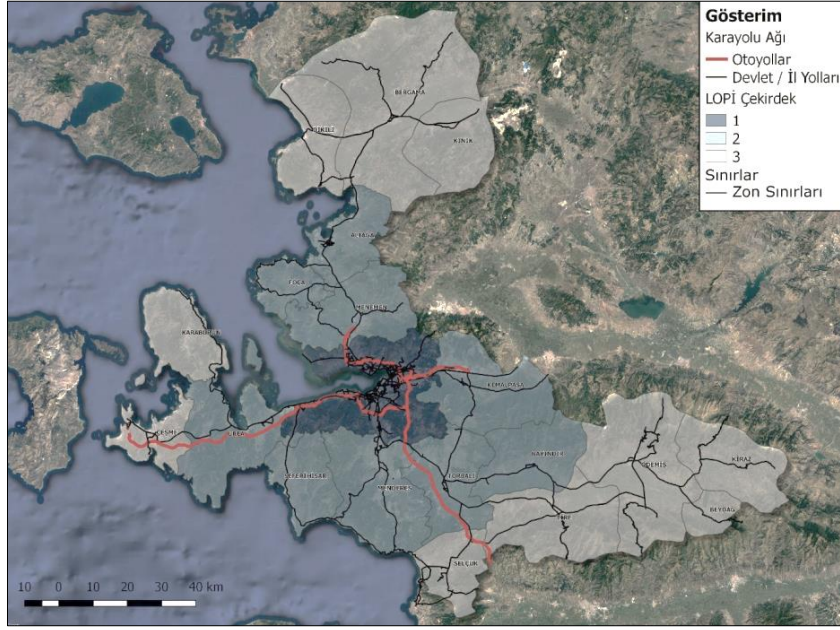
Adım 5 ise sonuç ve değerlendirme aşamasıdır.

### 3.2. Çalışma Alanı (Study Field)

Çalışma alanı Türkiye, İzmir’dir. İzmir eski çağlardan beri varlığını sürdüren ve günümüzde Türkiye’nin nüfus bakımından 3. Büyük ili olarak gelişmeye devam eden bir şehirdir. Ege Denizi kıyısında ve Akdeniz ile Marmara bölgelerinin arasında bulunması İzmir’i arz-talep dengesi ve lojistik süreçler konusunda avantajlı duruma getirmektedir. Üretim birçok kademede gerçekleşmektedir. Kırsal bölgelerde tarım ön plana çıkmaktayken kent merkezinin çeperlerinde sanayi üretimi ve merkezde hizmet bölgeleri yoğunlaşmaktadır. İzmir’de lojistik ulaşım türlerinin tümü bulunmaktadır. Bu sebeple türlerin birbirleri ile entegrasyonu sağlanabilmektedir. Bu entegrasyonun daha sağlıklı ve verimli bir şekilde gerçekleşebilmesi amacıyla İzmir Sürdürülebilir Kentsel Lojistik (LOPİ) projesi yapılmıştır. LOPİ projesi İzmir’de lojistik ile alakalı süreçlerin tümünden bilgi toplanmasını, anket yapılmasını, talep modeli kurulmasını ve geleceğe dair iyileştirme projeleri sunulmasını sağlamıştır. Öneriler ise yine kentin tümünü kapsayacak şekilde üç başlığa ayrılmıştır: Kentsel Lojistik, Katı Atık Lojistiği ve Kırsal Kalkınma Bölgeleri. Soğuk hava depoları ile ilgili önerilen stratejik yer seçimi yaklaşımı Kırsal Kalkınma Bölgelerine Yönelik Lojistik Öneriler çalışmalarının bir ürünüdür.

LOPİ kapsamında il sınırlarındaki tüm süreçler çalışıldığından işlem tutarlılığı açısından İzmir’de üç adet çekirdek yapısı oluşturulmuştur. 1. Çekirdek Merkez Bölge olarak belirlenmiştir. 2. Çekirdek Kent Merkezi Çeperi olarak

belirlenmiştir. 3. Çekirdek ise Kırsal Üretimin Yoğunlaştığı Bölgelerdir. Şekil 2’de İzmir Karayolu Ağı ve Çekirdek Bölge Sınırları verilmiştir.



Şekil 2. İzmir Karayolu Ağı ve Çekirdek Bölge Sınırları (İzmir Road Network and Borders of Core Region)

#### 4. Analiz ve Bulgular (Analysis and Findings)

##### 4.1. Bilgi Toplanması (Information Gathering)

İzmir’de projenin gelecek öngörülerinde ve yatırım planlarında bulunabilmesi amacıyla bir dizi veri toplama çalışması gerçekleştirilmiştir. Mahalle bazlı yürütülen veri toplama çalışmaları aşağıdaki gibidir:

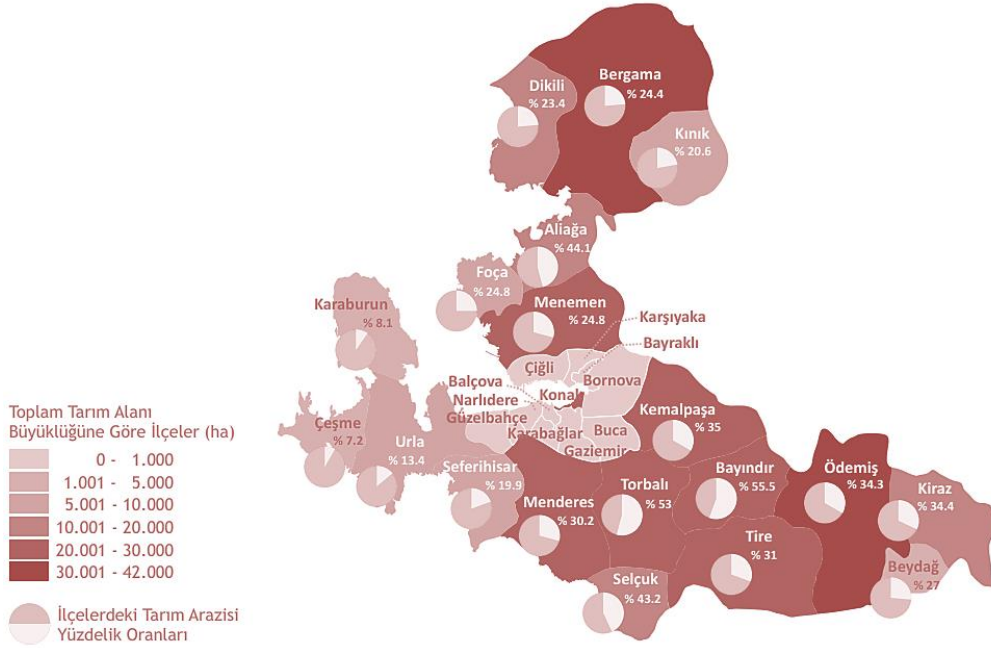
- Mevcut Verilerin Toplanması
  - Sosyo-ekonomik durum
  - Arazi kullanım yapısı
  - Ulaşım altyapısı
  - Ağır vasıta taşıt parkları
  - Tehlikeli madde taşımacılığı
  - Kırsal bölge üretici sistemleri
  - Katı atık lojistik süreçleri
- Yeni Verilerin Toplanması
  - Karayolu yük trafiği sayımları (24 saatlik, 5 araç sınıfında, 210 istasyon)
  - Ağır vasıta taşıt park sayımları
  - İş yeri anketleri (6.795 adet)
  - Yol kenarı anketleri (4.595 adet)
  - Kırsal bölge üretici anketleri (603 adet)
  - Katı atık lojistiği kurum görüşmeleri
  - Sanayi bölgelerinde yerinde incelemeler
  - Derinlemesine görüşmeler (20 kurum ve kuruluş)

Çalışma Alanı başlığında bahsedildiği üzere toplanan veriler ışığında İzmir ili ölçeğinde 3 kategoride planlama gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birisi de Kırsal Kalkınma Bölgeleri’dir. İzmir’de Kırsal Bölge Üretimi aktif olmakla birlikte sürece yönelik iyileştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır. İzmir Merkez Kent olarak tanımlanan alanda 11 adet ilçe belediyesi bulunmaktadır.

Birinci bölge genel olarak kırsal niteliklerini artık kaybetmiş olmakla birlikte, halen tarım dışı faaliyetlere izin verilmeyen ve yer yer aktif tarım topraklarının varlığını sürdürmekte olduğu görülen alanlar niteliğindedir.

İkinci bölge ise birinci bölgeyi kuşaklayan alanlardan oluşmakta ve kuzeyde Aliağa, Foça, Menemen, doğu, güney ve batıda ise Kemalpaşa, Bayındır, Torbalı, Menderes, Seferihisar ve Urla İlçe Belediyelerini kapsamaktadır. Bu alanlar sanayileşme odaklarından meydana gelmiş ve bu yönde gelişmiş olsalar da tarımsal anlamda da bu

bölgelerde yoğun bir potansiyel ve hareketlilik bulunmaktadır. Mevcut tarımsal arazi kullanışları kapsamında toplam 344.423,70 hektarlık tarım arazilerinin genel ürün dağılımı, Tarla %41,4, Zeytin %28,3, Sebze %11,22, Meyve %9,56, Bağ %3,9 şeklindedir. Şekil 3'te İzmir ilçe belediyelerinde tarım arazilerinin büyüklükleri verilmiştir.



**Şekil 3.** İzmir İlçe Belediyelerinde Tarım Arazilerinin Büyüklükleri (İzmir Kalkınma Ajansı ve Kalkınma Bankası, 2013) (Sizes of Agricultural Lands in İzmir District Municipalities (İzmir Development Agency and Development Bank, 2013))

Şehir bütününde yapılan saha çalışmalarına ek olarak kırsal bölgelerdeki rekolte, ürün çeşitliliği ve taşımacılık türlerinin öğrenilmesi amacıyla çalışma kapsamında kırsal bölge üreticileri ile görüşülmüş ve anket gerçekleştirilmiştir. Kırsal bölgelerde anket uygulaması şehir içerisine göre değişik dinamiklere sahiptir. Üreticinin yerinde bulunmaması, tesisin çalışma şeklinin değişkenlik göstermesi, uzun süreli şehir dışı seyahatler dolayısı ile saha çalışmaları rastgele uygulanmış ve 10 ilçe (Ödemiş, Kınık, Çeşme, Bergama, Selçuk, Kiraz, Tire, Beydağ, Dikili, Karaburun), 113 mahallede 600 adet anket uygulanmıştır. Anketlerde;

- İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırlarında yaşayanların birey bazında yaş, cinsiyet, eğitim, meslek durumu gibi demografik özellikleri,
- Üreticilerin faaliyet alanları, faaliyet süreleri, yetiştirdikleri ürün türleri, çalışan sayıları ve üretim alanlarının büyüklük durumları,
- Ayrıca gerçekleştirilen yolculukların karakteristikleri ve taşıt kullanımı, hammadde tedarik şekilleri, ürünlerin satış kanalları ve bir önceki yılda seyahat sıklıkları belirlenmeye çalışılmıştır.

Anketlerde katılımcılara üretilen ürün cinsleri; sebze, meyve, işlenmiş sebze, tahıl üretimi, işlenmiş tahıl üretimi, yem üreticiliği, gübre, fidancılık, çiçekçilik, büyükbaş besiciliği, büyükbaş süt üretimi, küçükbaş besiciliği, küçükbaş süt üretimi, kanatlı beyaz et üretimi, yumurta üretimi, süt ve süt ürünleri imalatı, et ve et ürünleri imalatı, su ürünleri imalatı, arıcılık ve diğer seçeneklerinde sunulmuştur. Birimler ise ton, litre ve adet seçeneklerinde sorulmuştur. Rastgele anket sonuçlarına göre üretimde ton cinsinden en yüksek paya büyükbaş süt üretimi sahiptir. Bunu süt ve süt ürünleri imalatı takip etmekte, ardından yem üreticiliği gelmektedir. Litre bazından ise yine büyükbaş süt imalatı en büyük paya sahiptir. Adet biriminde alınan cevaplara göre çiçekçilik ön plandadır. Bunu kanatlı beyaz et üretimi, yumurta üretimi ve fidancılık takip etmektedir. Ürünlerin geldiği tesis türlerinde ise Organize Sanayi Bölgesi, Küçük Sanayi Sitesi, Ambar/Depo, Lojistik Merkezi, Meyve/Sebze Hali, Balık Hali, Tarla/Sera, Maden, Liman, Gar seçenekleri incelenmiş ve üreticinin gelen ve giden ürünlerinin toplam talebinde Ambar/Depo tesisleri tüm tesislere göre %58 oranında işlem hacmine sahip olduğu görülmüştür. Üreticilerin en yüksek taşıt sahipliği ise %51 oranda traktördür. Bunun ardından %23 oranda kamyonet gelmektedir. Bununla birlikte sevkiyat süreçlerinde en çok kullanılan araç diğer türlere kıyasla %39 oranında kamyon ve tedarik süreçlerinde diğer türlere kıyasla en çok kullanılan araç yine %35 oranında kamyon ve farklı olarak %35 oranında römork olmuştur. Üreticilerin hammadde tedarik şekli dağılımında yerinde, yurtiçi, toptancı/perakendeci, ihracat,

e-ticaret, birlik/kooperatif ve birden fazla kategorileri sorulmuştur. Yerinde ve yurtiçi kategorileri ilk iki sırayı almaktadır. Bunun ardından birden fazla seçeneği gelmektedir.

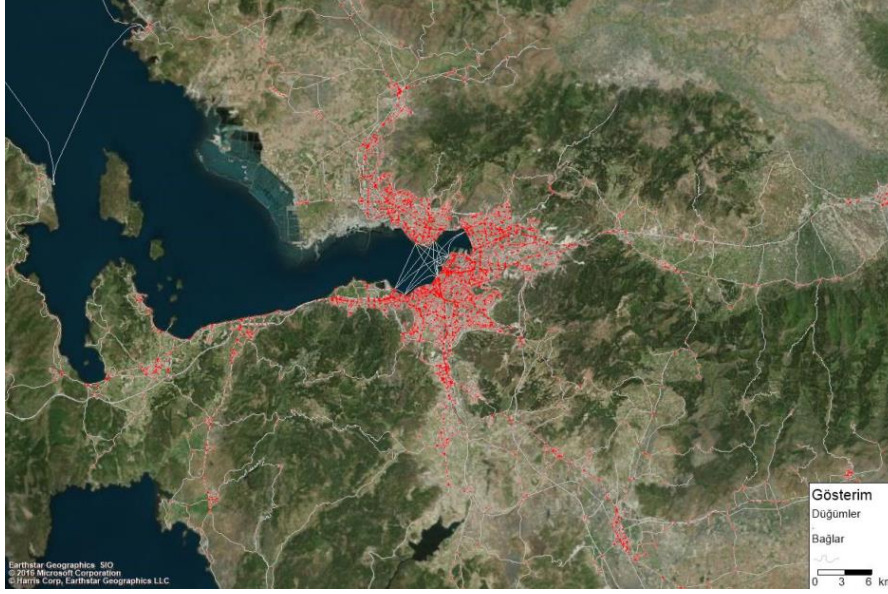
Mevcut bilgilerin yanında tüm ilçelerin anket sonuçları değerlendirildiğinde hangi sorunların hangi bölgelerde ağırlık kazandığı ve hangi konulara öncelik verilmesi gerektiği ile ilgili olarak ön fikirler ortaya çıkmıştır. Her ilçeden ayrı ayrı toplanan bulguların bütünleştirilmesi sonucunda aşağıdaki öneri/sıklık dereceleri elde edilmiştir.

- Seracılık sektörü ve güneş enerjisi kullanımının geliştirilmesi-4
- Yerel bölgede hammadde tedarik mekanizmalarının güçlendirilmesi-10
- İmalat/tarım/hayvancılık sektörlerinin lojistik faaliyetleri ve kanallarına yönelik iyileştirme-8
- Ambar/Depo/Çapraz sevkiyat noktalarına olan erişilebilirlik kanallarının geliştirilmesi-8
- Yerel satış olanaklarının artırılması-8
- Toptan ve perakendecilere yönelik ulaşım kanallarının iyileştirilmesi-2
- Meyve sebze ve balık hallerine olan erişilebilirlik kanallarının geliştirilmesi-1
- Toplama ve depolama olanaklarının geliştirilmesi-3
- İlçe içi yolların iyileştirilmesi-1
- OSB'lere olan erişilebilirlik kanallarının geliştirilmesi-1

İlçeler bazında gerçekleştirilen anketlerden toplanan önerilerin birleştirilmesi sonucu oluşturulan öneri/sıklık derecelerinde İzmir'de tedarik mekanizmalarının güçlendirilmesi, lojistik faaliyet ve kanallarına yönelik iyileştirme, yerel satış olanaklarının artırılması ve ambar/depo sevkiyat noktalarına olan erişilebilirlik kanallarının iyileştirilmesi en yüksek puanları almıştır. Bahsedilen öneriler bazı politik kararlara ihtiyaç duymaktadır. Bunun dışında çalışma kapsamında ambar/depo bölgelerine yönelik erişilebilirlik kanalları ile ilgili iyileştirmelerin beklediği görülmektedir. Üretimin yoğun gerçekleştirildiği bölgelerde hasat zamanı ürünlerin depolanamaması veya kalitesiz koşullarda saklanması hem üreticiyi olumsuz etkilemekte hem de gelecek yatırımları düşürerek fırsat maliyetlerini artırmaktadır. Dolayısı ile üretim bölgelerinde toplayıcı niteliğe sahip soğuk hava depolarının eksikliği görülmektedir. Bu olumsuz koşulların oluşturduğu pazar kaybının önlenmesi amacıyla Soğuk Hava Depolarında Stratejik Yer Seçimi Yaklaşımı ağıdaki diğer trafik bileşenleri ve ürün gruplarının talep aksları ile ilişkili bir şekilde Bütünleşik Hareket Talep Modeli kapsamında şekillenmiştir.

#### 4.2. Bütünleşik Hareket Modelinin Kurulması (Establishment of the Integrated Mobility Model)

Toplanan bilgiler ışığında mevcut durumdaki yük ve yolcu trafiği akışlarını ortaya koyabilmek ve gelecek durumu öngörebilmek adına ulaşım ve lojistik araçlarının tümünü şehir bütününde kapsayan Bütünsel Hareket Modeli (BHM) kurulmuştur. Bu model derinlemesine görüşmeler ve gerçekleştirilen 3 adet Çalıştay ile ortak zeminde birleştirilerek şehirde bulunan lojistik paydaş görüşlerinin sayısal ortama aktarılabilmesi sağlanmıştır. BHM Modeli Geleneksel Dört Aşamalı Talep Tahmin Modeli'nin bir versiyonudur. Bu versiyonda Hareket Üretimi, Hareket Dağılımı ve Hareket Ataması aşamaları oluşturulmuştur. İlk aşamaların gerçekleştirilmesinden önce ağ zonlar, yol ağı, konektörler, kavşaklar bazında CBS ortamında hazırlanmıştır. Üretim ve dağılım bilgileri iş yeri anketleri, kırsal bölge üretici anketleri ve yol kenarı sürücü anketleri yardımıyla optimize edilmiş ve trafik atamaları yol ağındaki trafik sayımları ile sınırlanmıştır. Bu şekilde döngüsel bir yaklaşımla kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. BHM modeli önceden de bahsedildiği üzere İl genelini ve tüm araç sınıflarını kendi öznelikleri çerçevesinde değerlendirmektedir. Şekil 4'te il bütünü ağ elemanları verilmiştir.



**Şekil 4.** İl Bütünü Ağ Elemanlarının CBS Ortamında Temsil Edilmesi (Representing the Network Elements of the Province in the GIS Environment)

### **Faaliyetler**

Yolcu ve yük hareketlerinin aynı anda ayrıntılı bir şekilde temsil edilebilmesi için geleneksel yolculuk amaçlarına benzer şekilde yük amaçlarının oluşturulması sağlanmıştır. Bu amaçlar lojistik terminolojisi için Faaliyetler olarak belirlenmiştir. Faaliyetler basit anlamda yük hareketlerini oluşturan sektörler olarak tanımlanabilir. İzmir ili için Plan kapsamında gerçekleştirilen anket sonuçlarına göre bu faaliyetler Özellikli Alan, Sanayi, Depo, Lojistik, Hizmet ve Ticaret şeklinde belirlenmiştir. Özellikli alanlar; Organize Sanayi Bölgeleri, Serbest Bölgeler, Rafineri Bölgeleri gibi bölgesel ölçekteki alanların kendi sınırlarından oluşturulmuştur. Sanayi alanları; Sanayi Siteleri, dağınık üretim bölgeleri vb yapıların alanlarının gruplandırılması ile elde edilmiştir. Lojistik/Depo alanları; yüksek kapasitede dağıtım ve depolama gerçekleştiren alanların kendi sınırlarından elde edilmiştir. Bunların içerisinde soğuk hava depoları, haller, lojistik firmaları vb. bulunmaktadır. Ticaret/Hizmet alanları; kamu kurumları, turizm tesis alanları, üniversite bölgeleri, ticaret bölgeleri vb. alanlardan oluşturulmuştur. Faaliyetler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Faaliyet 1a: Özellikli Alan
- Faaliyet 1b: Sanayi
- Faaliyet 2a: Depo
- Faaliyet 2b: Lojistik
- Faaliyet 3, 6: Hizmet
- Faaliyet 4, 5: Ticaret

Faaliyetlerin kendi içerisindeki gruplanması ve ayrımı talep tahmin modelinde kullanılacak parametrelerine göre belirlenmiştir. Ayrımların sınır yapıları için 1/25.000 ölçekli Bilgi Paftası'ndan yararlanılmıştır.

### **Yük Seyahat Üretim-Çekim Modeli**

Faaliyet 1 olarak isimlendirilen grup sadece üretim yapan ticari firmaları kapsamaktadır. Bu faaliyet grubu içerisinde çekirdek 1 ve çekirdek 2 ilçelerin Organize Sanayi Bölgelerinde, Serbest Bölgede, tanımlanmış sanayi alanlarında ve rafineri alanlarında yer alan özellikli alt grup üretim tesisleri QGIS programı kullanılarak tespit edilmiş ve bu bölgedeki firmalar için (Faaliyet 1a) ve bu bölgeler dışında kalan diğer firmalar için (Faaliyet 1b) grupları oluşturulmuştur. Faaliyet 1a alan bazlı birim üretim kullanılırken Faaliyet 1b için alan ve çalışan sayısı bazlı regresyon modeli kurulmuştur. Faaliyet 2 olarak adlandırılan kısım ise lojistik/depo faaliyetlerini kullanan ticari firmalara yönelik olup bu faaliyet grubu için çekirdek 1 ve çekirdek 2 ilçelerde depo, tır parkı, antrepo vb hizmetleri veren firmalar için (Faaliyet 2a) ve nakliye hizmeti sağlayan diğer firmalar için (Faaliyet 2b) ayrı ayrı YSM modelleri kurulmuştur. Bununla beraber limanlara yönelik olarak alan bazlı birim üretim/çekim değerleri kullanılmıştır. Ticari faaliyet yapan firmalar içerisinde Faaliyet 3 hizmet firmaları için ve Faaliyet 6 diğer firmalar için (Faaliyet 3 ve 6) olmak üzere ortak YSM modelleri kurulmuştur. Faaliyet 4 perakende firmaları ve Faaliyet 5 toptancı firmalar için de (Faaliyet 4-5) ortak YSM üretim/çekim modelleri kurulmuştur. Tanımlanan 6 alt faaliyet grubu için YSM modellerini tahmin etmek için çalışan sayısı ve alan değişkenleri kullanılarak doğrusal kısıtlı regresyon modelleri kurulmuştur. Kısıtlı regresyon modelinde kısıt olarak hesaplanan öngörülen değerler toplamı

$(\sum_{i=1}^n \hat{y}_i)$  ile regresyon analizinde kullanılan değerler toplamı  $(\sum_{i=1}^n y_i)$  arasındaki mutlak farkın %5'den küçük olması kullanılmıştır. Regresyon modellerinin oluşturulması sırasında firma başına sabit YSM katsayısı, hiçbir çalışana ve kullanım alanına sahip olmayan bir firmanın bir çekim veya üretim yapmasının mümkün olmamasından dolayı kullanılmamıştır. Bu doğrultuda plan kapsamında kullanılan YSM için aşağıdaki formülden faydalanılmıştır.

$$y = aX_1 + bX_2 \quad (1)$$

Burada,  $y$  bağımlı değişken (toplam üretilen veya çekilen taşıt sayısı),  $X_1$  çalışan sayısını ve  $X_2$  ise Faaliyet 1a, Faaliyet 1b, Faaliyet 3-6 ve Faaliyet 4-5 grubunda kapalı alan ( $m^2$ ) ve Faaliyet 2a ve Faaliyet 2b grubunda kapalı alan+açık alan ( $m^2$ ) değişkenlerini ifade etmektedir.

### **Yük Seyahat Dağılım Modeli**

Çalışma kapsamında çift kısıtlı seyahat dağılım modeli kullanılmıştır. Seyahat dağılım modelinde direnimsiz parametresi olarak seyahat süresi kullanılmış, bu parametrelerin tayini için Yol Kenarı Sürücü Anketlerinden yararlanılmıştır.

$$T_{ij}^p = a_i b_j G_i^p A_j^p f^p(t_{ij}) \quad (2)$$

Burada;  $T_{ij}^p$ : i-j zonları arasında p taşıt türü seyahat miktarı,  $G_i^p$ : i zonundan üretilen p taşıt türü seyahat miktarı,  $A_j^p$ : j zonuna çekilen p taşıt türü seyahat miktarı,  $f^p()$ : i-j zonları arasındaki p taşıt türü için direnimsiz fonksiyonu,  $t_{ij}$ : i-j zonları arasındaki ortalama seyahat süresi ve  $a_i, b_j$ : üretim ve çekim kısıtlarının sağlanması için kullanılan dengeleme katsayılarıdır. Modelleme çalışmaları sırasında model kapsamında en iyi sonucu veren üretim yönlü kısıt ile beraber toplamaların minimumunu dengeleme kısıtı olarak kullanılan yöntem tercih edilmiştir. Çekim modelinin kısıt yöntemlerinin yanında direnimsiz fonksiyonları da test edilmiş en uygun yapı seçilmiştir. Bu kapsamda; Logit, Kirchoff, Boxcox, Combined ve Tmodel fonksiyon yapıları test edilmiş ve aralarından Combined olarak da bilinen üstel denklem direnimsizlerin seyahatlere etkisini açıklamak üzere seçilmiştir. Analiz bölgeleri arasındaki  $f()$  direnimsiz fonksiyonu olarak bağıntıda verilen denklem kullanılmıştır.

$$f_{ij} = at_{ij}^b \exp(ct_{ij}) \quad (3)$$

Burada  $f$ , toplam direnimsiz,  $a, b, c$ , katsayı,  $t$  ise seyahat süresi olmaktadır (Ortuzar & Willumsen, 2001). Direnimsiz fonksiyonunun katsayılarının belirlenmesi amacı ile İzmir Sürdürülebilir Kentsel Lojistik Planı kapsamında gerçekleştirilen "Yeni Bilgilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi" aşamasında uygulanan Yol Kenarı Sürücü Anketlerinden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Anketlerden elde edilen seyahat süresi değerleri tüm taşıt türleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kent dışı yolculukların hesaplara dahil edilebilmesi adına kukla analiz bölgeleri oluşturulmuştur. Bu sayede İzmir dışına çıkan, yurtiçi veya yurtdışı tüm yolculukların hesaplara dahil edilmesi sağlanmıştır.

Çalışmada kullanılan modelde türel bazda direnimsiz fonksiyonu yoktur çünkü modelde eşdeğer/birim araç ataması yapılmıştır.

### **Yük Seyahat Atama Modeli**

BHM'de atama prosedürleri için PTV VISUM yazılımı kullanılmıştır. Ağdaki düğüm (node) ve bağlarda (link) başlangıç ataması yapılmasının ardından elde edilen taşıma süreleri, gecikme maliyet fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Hacim/Gecikme fonksiyonu olarak Amerikan Karayolları Bürosu (BPR) tarafından geliştirilen fonksiyon kullanılmıştır:

$$t_{cur} = t_0 \left(1 + a \left(\frac{q}{q_{max}^c}\right)^b\right) \quad (4)$$

$t_{cur}$ : Sıkışıklık seyahat süresi (dakika),  $t_0$ : Serbest akım seyahat süresi (dakika),  $q$ : Atanan seyahat hacmi (taşıt-yön/saat),  $q_{max}$ : Link kapasitesi (taşıt-yön/saat),  $a, b, c$ : Katsayılar olmaktadır. İteratif (tekrarlı) çözümler ile yol ağındaki sonuç trafik değerleri elde edilmiştir. BHM'de araç cinsleri atamaları için aşağıdaki sınıflar seçilmiştir:

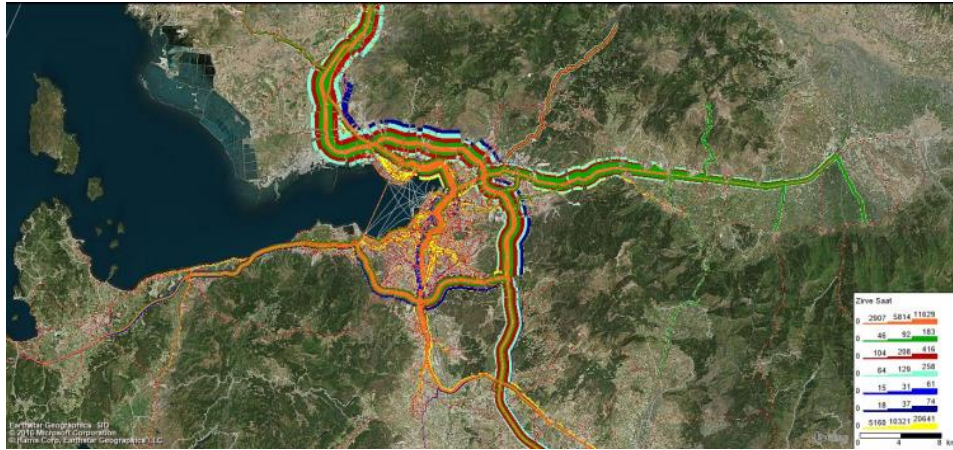
- Kapasite kısıtlı denge yöntemi ataması:
  - Otomobil,
  - Kamyonet,

- Kamyon,
- Treyler
- Zaman çizelgesi bazlı toplu taşıma ataması:
  - Otobüs,
  - Feribot,
  - Minibüs
- Trafik sistem tabanlı toplu taşıma ataması:
  - Katı atık araçları

İzmir’de önceden gerçekleştirilen ve Sürdürülebilir Kentsel Lojistik Projesi kapsamında güncellemesi sağlanan Ulaşım Ana Planı’nda 07:45-08:45 zirve saat olarak belirlenmiştir. Bu nedenle lojistik taşıtları da bu saat aralığında hesaplanmıştır. Hesaplamalar yoğun üretim bölgelerinin kendi dinamikleri olduğundan bu bölgelerde şehir bütününden farklı olarak ayrı ele alınmıştır. Yük taşıtları zirve saat hacimlerinde ortalama yaklaşık değerler: %6 Kamyonet, %6.5 Kamyon ve %4.5 Treyler oranlarında hesaplanmıştır. Tüm taşıtların tek bir ağa indirgenmesi ise TS 6407’de belirtilen Eşdeğer Birim Otomobil standartlarından yararlanılarak sağlanmıştır. Bunlar ise; Kamyonet: 1.25, Kamyon: 2.2, Treyler: 2.7 şeklindedir.

### Sonuç

BHM’de İzmir’deki yol ağında gerçekleşen hareketlerin tümü yansıtılmaya çalışılmıştır. Böylelikle ağdaki taşıtların birbirine etkileri oransal gözlemler yerine model sonucu münferit şekilde ortaya konabilmiştir. Şekil 5’te tüm taşıt türlerinin atama sonuçları verilmiştir.



Şekil 5. Tüm Taşıt Türlerinin Atama Sonuçları (Assignment Results for All Vehicle Types)

## 4.2. Bölgesel Koridor Hareketleri (Regional Corridor Movements)

Bu bölümde, toplanan veriler ve BHM atama sonuçlarına göre İzmir’de kırsal bölgelerin ürün bazında üretim ve dağıtım potansiyelleri incelenmiştir. Bunlar kırsal bölgelerden şehir merkez ve çeperlerine doğru giden yükler ve türleri (Tablo 1) ile şehir merkez ve çeperlerinden kırsal bölgelere giden yükler ve türleri olarak oranlanmıştır (Tablo 2).

**Tablo 1.** Kırsal Bölgelerden 1. ve 2. Çekirdeklere Giden Yük Tür ve Oranları (%) (Types and Rates of Freight From Rural Areas to the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> Cores (%))

Toplam Oran	Tarım ürünleri	Gıda ürünleri, içecekler ve tütün	Kömür / kok / katı yakıt	Petrol / Dizel / Sıvı yakıtlar / Gazlar	Maden cevheri / Madencilik / Taşocağı ürünleri	Temel metaller; mamul metal ürünleri	Orman ürünleri / Odun / Kağıt	Yapı malzemeleri	Cam ve cam ürünleri	Kimyasal ürünler / Gübreler	Tekstil / Giyim	Makine / Ekipman / Araç	Mobilya	Diğer Üretim/Tüketici Ürünleri	Posta / Paket / Kargo	Gruplanmış ürünler; Muhtelif ürünler	Atıklar / hurdalar / ambalaj	Ev ve ofis taşınırken taşınan mallar	Diğer	Genel Toplam
Bergama	0,11	0,52	0	0	0	0,02	0	0,1	0	0	0,15	0	0,01	0,01	0,02	0,05	0	0	0	1
Beydağ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Çeşme	0	0,39	0	0	0,09	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0,16	0,1	0,23	0	0	0,02	1
Dikili	0,25	0,67	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0	0	0	0	1
Karaburun	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Kınık	0	0,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,74	0	0	0	0	0,01	0	1

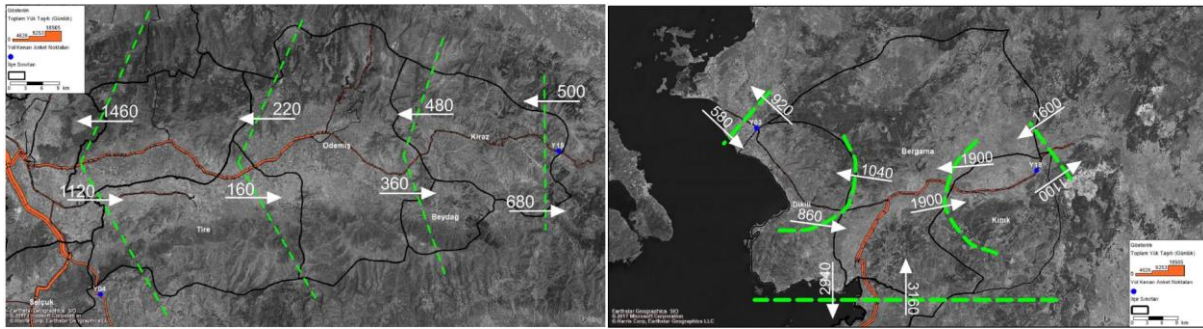


Kiraz	0	0,58	0	0	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,37	1
Ödemiş	0,19	0,57	0	0	0	0	0	0,12	0	0	0,07	0	0	0,04	0	0,01	0	0	1
Selçuk	0	0,72	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0,02	0	0	0,23	0	0	0	0	1
Tire	0,11	0,63	0	0	0	0	0,11	0	0	0	0	0	0,11	0	0	0,02	0	0	1
Genel Toplam	0,14	0,59	0	0	0	0	0,04	0,05	0	0	0,04	0	0,08	0,02	0,01	0,02	0,01	0	1

**Tablo 2.** 1. ve 2. Çekirdeklerden Kırsal Bölgelere Giden Yük Tür ve Oranları (%) (Types and Rates of Freight From the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> Cores to the Rural Areas (%))

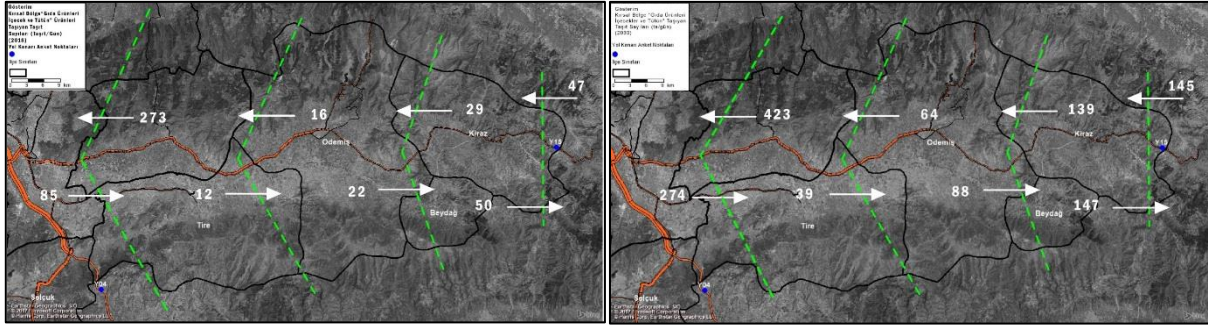
Toplam Oran	Tarım ürünleri	Gıda ürünleri, içecekler ve tütün	Kömür / kok / katı yakıt	Petrol / Dizel / Sıvı yakıtlar / Gazlar	Maden cevheri / Madencilik / Taşocağı ürünleri	Temel metaller; mamul metal ürünleri	Orman ürünleri / Odun / Kağıt	Yapı malzemeleri	Cam ve cam ürünleri	Kimyasal ürünler / Gübreler	Tekstil / Giyim	Makine / Ekipman / Araç	Mobilya	Diğer Üretim/Tüketici Ürünleri	Posta / Paket / Kargo	Gruplanmış ürünler; Muhtelif ürünler	Atıklar / hurdalar / ambalaj	Ev ve ofis taşınır taşıman mallar	Diğer	Genel Toplam
Bergama	0.1	0.1	0	0.4	0	0.1	0	0.1	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0	1
Beydağ	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0.1	0	1
Çeşme	0	0.1	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0	0	0.2	0	0.1	0	0	0.1	0	0.1	0	1
Dikili	0.1	0.1	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Karaburun	0	0.2	0	0	0.1	0.5	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Kınık	0.1	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0.4	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	1
Kiraz	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0.2	0	0.3	0	0	0.1	0.1	0	0	1
Ödemiş	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0	0.2	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1	0	0	0	1
Selçuk	0	0.3	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0.1	0	0.3	0.1	0	0	0	0	0	1
Tire	0.2	0.1	0	0	0.1	0.1	0	0.4	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	1
Genel Toplam	0.1	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.2	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1	0	0	0	1

Tablo 1 ve 2 incelendiğinde İzmir'in en yüksek tarımsal ve sanayi özellikli yük aracı hareketliliğinin kuzey ve doğu koridorlarında yer aldığı görülmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında kuzey ve doğu koridorlarının günlük hareketleri incelenerek toplayıcı stratejik soğuk depo yer seçimi bu koridorlar üzerinde yoğunlaştırılmıştır. İnceleme öncelikle toplam yük bazında yapılmıştır. İlçe bazında atama sonuçlarına göre doğu koridorunda Ödemiş ve Tire'nin en yüksek ağır taşıt hareketlerine sahip olduğu görülmektedir. Özellikle Ödemiş'in hem seyahat çekimi anlamında hem de seyahat üretimi anlamında yüksek hacmi bulunmaktadır. Kuzey'de ise Bergama'nın göreceli olarak bölgesindeki kırsal ilçeler arasında öne çıktığı gözlemlenmektedir. Şekil 6'da 2030 yılı için doğu ve kuzey kırsal bölge koridorları yük hareketleri verilmiştir.

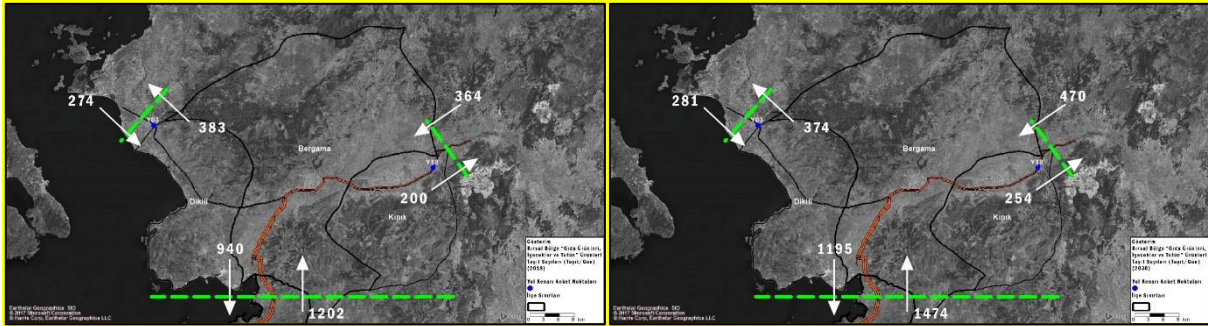


**Şekil 6.** Sırasıyla Doğu ve Kuzey Kırsal Bölge Koridorları Yük Hareketleri (2030) (Freight Movements of the Eastern and Northern Rural Corridors, respectively (2030))

Şekil 6'da verilen Doğu ve Kuzey Koridorları Toplam yük hareketleri daha sonra yük türlerine göre ayrılmış ve gıda ürünleri, içecek ve tütün türü için günlük atama sonuçları gösterilmiştir. Isıya Duyarlı yük grubu için toplam taşıt bazındaki günlük atama sonuçları 2018-2030 karşılaştırılması ile birlikte verilmiştir. Şekil 7 ve 8'de 2018 ve 2030 yılı doğu ve kuzey koridoru gıda ürünleri, içecek ve tütün türü için günlük atama sonuçları verilmiştir.

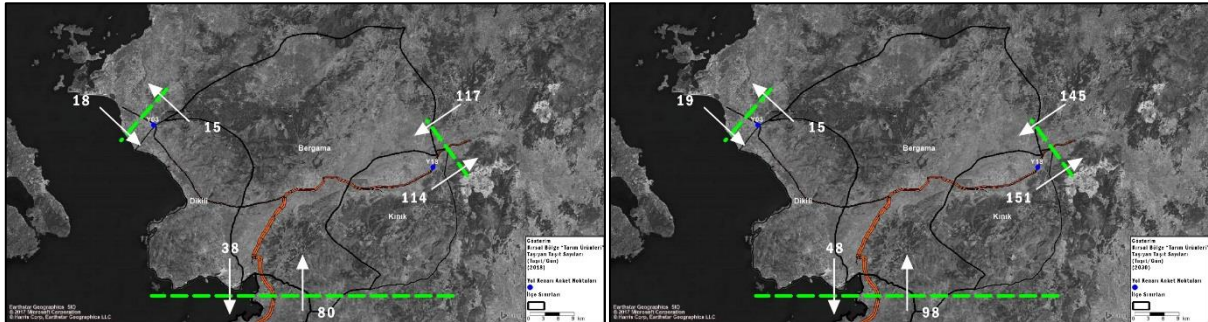


Şekil 7. 2018 ve 2030 yılı Doğu koridoru, gıda ürünleri, içecek ve tütün türü için günlük atama sonuçları (Daily assignment results for 2018 and 2030 East corridor, food products, beverage and tobacco type)



Şekil 8. 2018 ve 2030 yılı Kuzey Koridoru, gıda ürünleri, içecek ve tütün türü için günlük atama sonuçları (Daily assignment results for 2018 and 2030 North Corridor, food products, beverage and tobacco type)

Şekil 9'da 2018 ve 2030 yılı Kuzey Koridoru, tarım ürünleri taşıyan taşıt sayıları türü için günlük atama sonuçları verilmiştir.



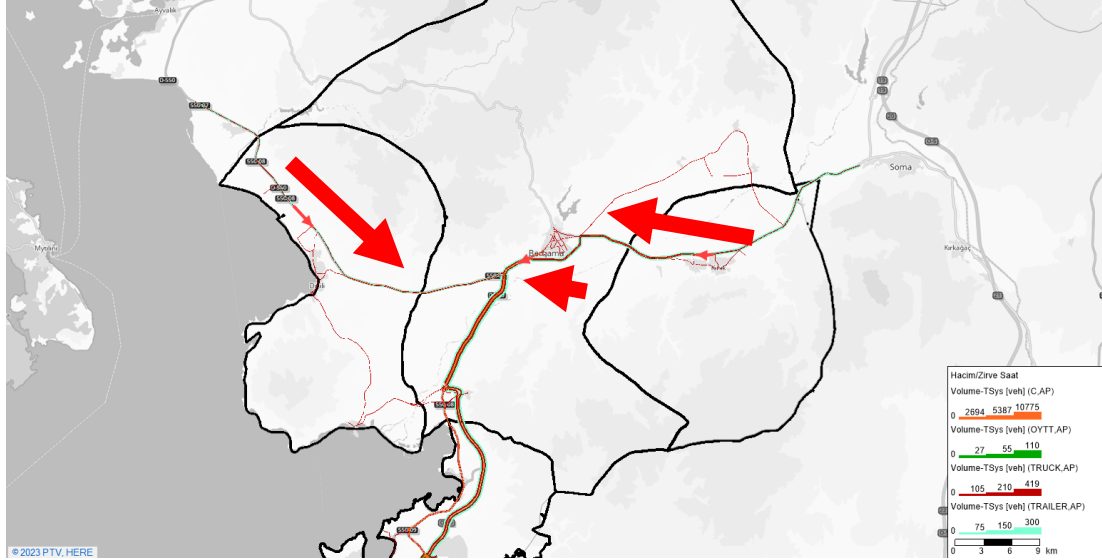
Şekil 9. 2018 ve 2030 yılı Kuzey Koridoru, tarım ürünleri taşıyan taşıt sayıları türü için günlük atama sonuçları (Daily assignment results for 2018 and 2030 Northern Corridor, type of vehicles carrying agricultural products)

Koridor ve perde hatları bazında gıda ürünleri, içecek ve tütün türü için günlük atama sonuçlarına göre Doğu ve Kuzey cephesinde İzmir'de kırsal üretim, dağıtım ve çekimin yüksek olduğu görülmektedir. Artış ivmeleri olarak nitelendirilebilecek ürün hacim sıçramalarının Doğu koridorunda Tire'de, Kuzey koridorunda perde hattı boyunca olduğu görülmektedir. 2018 yılına kıyasla 2030 yılında ortalama ürün türlerinin ortalama yaklaşık %50 artacağı tahmin edilmiştir. Bu durum toplayıcı soğuk depoların gerekliliği ve zincir verimliliğinin artırılması yönünde örnek teşkil etmektedir.

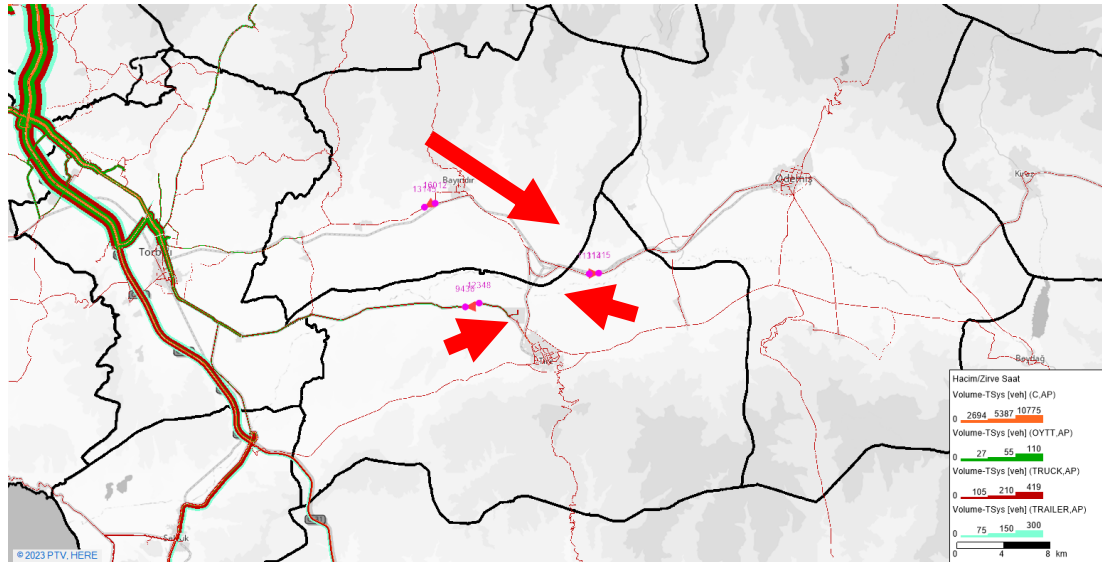
#### 4.3. Kütle Dengeli Erişilebilirlik Modeli (Mass Balanced Accessibility Model)

Bölgesel koridor hareketlerinden görüleceği üzere Kuzey ve Doğu koridorları perde hatları arasında hacim sıçramaları meydana gelmiştir. Bunlar aynı zamanda gönderilip/alınan ürünler ile işlem yapılan yerler olarak da değerlendirilebilir. Bu nedenle makro ölçekte ilk yerleşimin bu bölgelerde olması gerekliliği açıktır. Ancak bunun ardından bölgesel (mezo) ölçekte yer seçiminin yapılması gerekmektedir. Bu da Soğuk Hava Depolarında Erişilebilirlik Tabanlı Stratejik Yer Seçimi kapsamında önerilen Kütle Dengeli Erişilebilirlik Modeli ile sağlanmıştır. Bu modele göre önceden perde bazında gerçekleştirilen ve bölge belirlemek için kullanılmış olan hacim ivmelenmeleri ağ ölçeğine (mezo) indirgenerek link bazında kullanılmıştır. Bunu gerçekleştirmek için hacim sıçramalarına denk düşen linkler, ısıya duyarlı ürün gruplarından oluşan 2030 yılı hacimleri ile ağırlıklandırılmış ve yol referansları boyunca ağırlık merkezleri hesaplanmıştır. Bu şekilde bölgesel ölçekte yer tayini sağlanmıştır.

Metodoloji bölümünde bahsedilen arazi değişkenleri sebebiyle mikro ölçekte yer seçimi yapılmamıştır. Şekil 10 ve 11'de Kuzey ve Doğu perdesi ağ bazında kütle dengelemeleri verilmiştir.

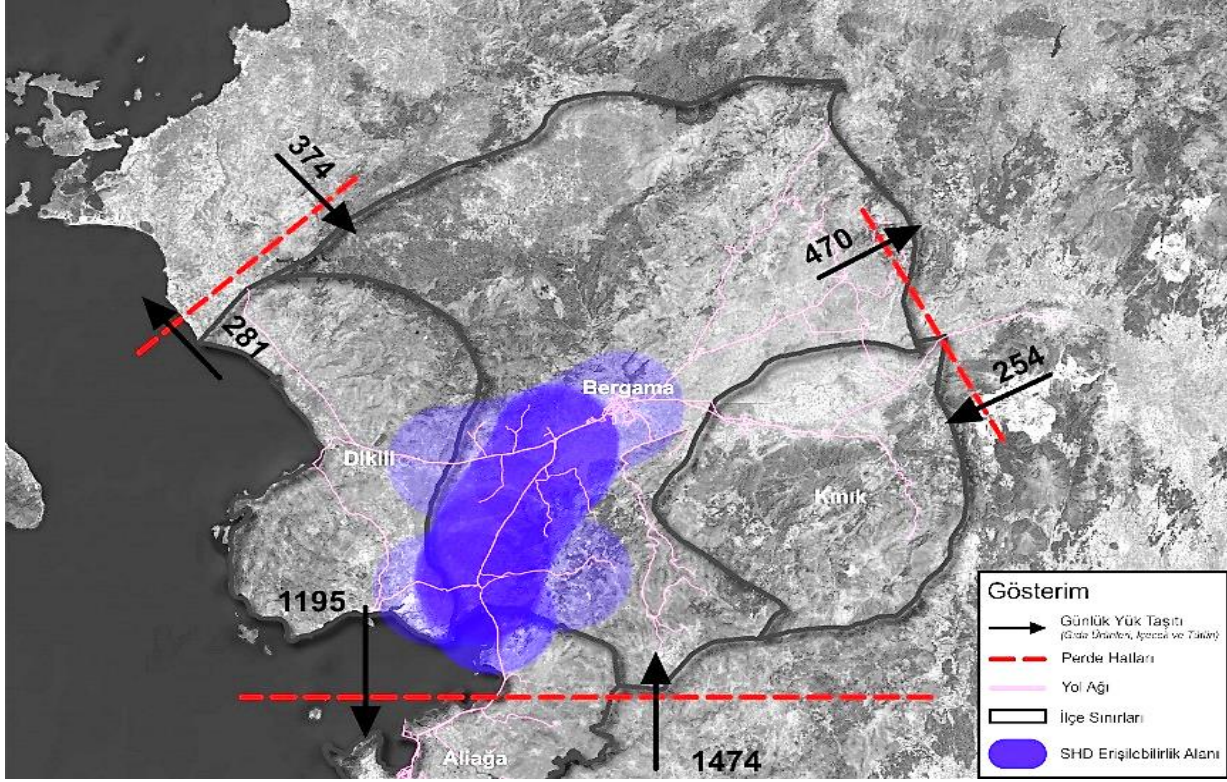


Şekil 10. Kuzey Perdesinin Ağ Bazında Kütle Dengelemesi (Network-Based Mass Balancing of the North Curtain)

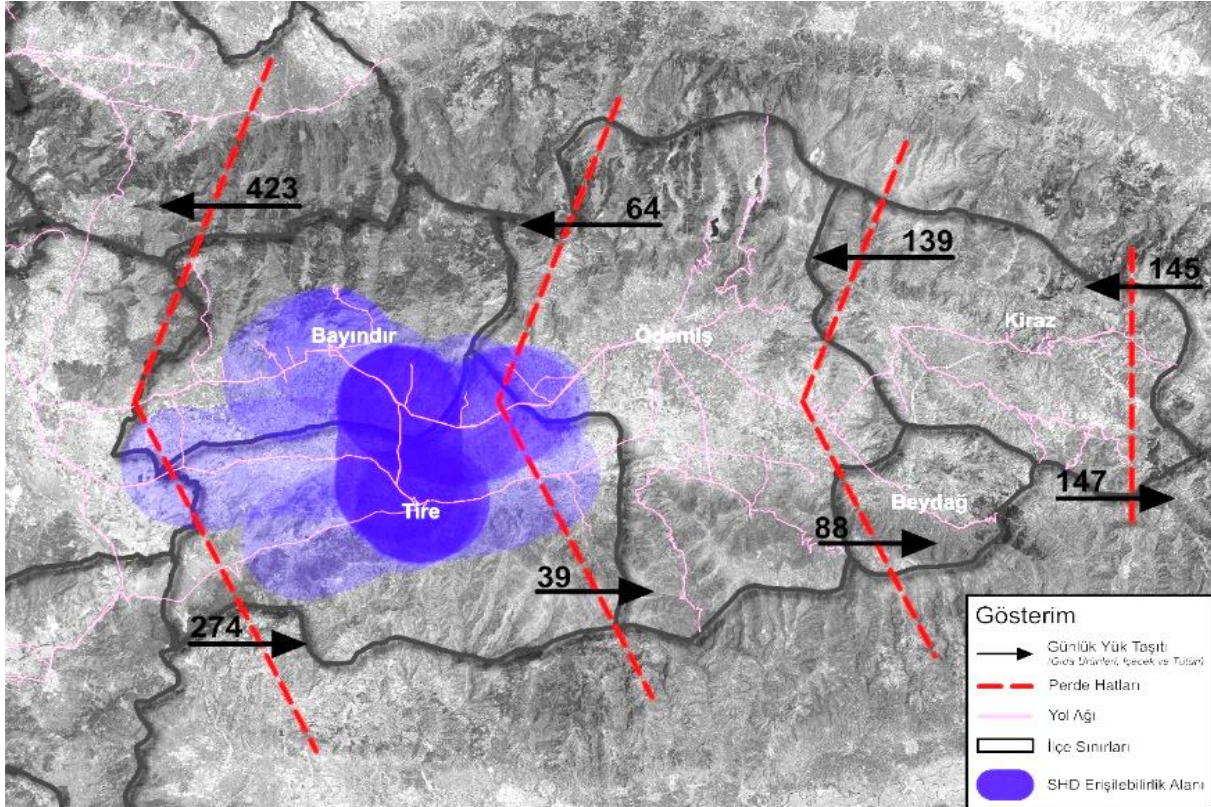


Şekil 11. Doğu Perdesinin Ağ Bazında Kütle Dengelemesi (Network-Based Mass Balancing of the Eastern Curtain)

Kütle Dengelemesi Modelinde hacim bazlı yer seçimi önce makro ardından bölgesel ölçekte hesaplanmıştır. Belirlenen alanlarda yük araçlarının kısa sürede erişebileceği tampon bölgeler oluşturulmuştur. Erişilebilirlik parametresi seyahat süresi olarak seçilmiş ve anayoldan itibaren 5 dakikalık süreler göz önünde tutulmuştur. Bu yaklaşım Literatür bölümünde bahsedilen, bir soğuk deponun anayola yakınlık kriterini belirli ölçülerde sağlamaktadır. Bu sayede Soğuk hava depoları için yatırım alanları keskinleştirilmiştir. Şekil 12 ve 13'te Kuzey ve Doğu koridorları kütle dengelemesi ile oluşturulan tampon bölgeler verilmiştir.



Şekil 12. Kuzey Koridoru Kütle Dengelenmesi ile Oluşturulan Tampon Bölgeler (Buffer Zones Created by Northern Corridor Mass Balancing)



Şekil 13. Doğu Koridoru Kütle Dengelenmesi ile Oluşturulan Tampon Bölgeler (Buffer Zones Created by Eastern Corridor Mass Balancing)

## 5. Sonuçlar (Results)

Bu çalışmada Soğuk Zincir Lojistiği içerisinde önemli bir konuma sahip Soğuk Hava Depoları ile ilgili gıda ürünleri türünde Bölgesel Ölçekte Erişilebilirlik Tabanlı Stratejik Yer Seçimi yaklaşımı önerilmiştir. Yaklaşım İzmir il

bütününde gerçekleştirilen Sürdürülebilir Kentsel Lojistik Ana Planı kapsamında kurulan talep modeli ile elde edilmiştir. Talep modeli olarak belirlenen Bütünleştirilmiş Hareket Modeli hem yolcu hem de yük hareketlerini aynı ağda temsil edebildiği için mevcut ve gelecek tahminlerinde gerçekçi analizler ortaya koymak mümkün olmuştur. BHM modeli sonucunda yük hareketleri ve yük taşıtları cinsleri izlenebilmiş ve ısıya duyarlı ürünlerin ağ üzerindeki hareketleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda perde hatları ve çalışma kapsamında önerilen Kütle Dengeli Erişilebilirlik Modeli ile Soğuk Hava Depolarında yer seçimi hacim bazlı bölgesel ölçekte gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelin geleneksel çok kriterli metotlardan bazı farkları bulunmaktadır. Bunlar ağ üzerindeki taşıt hareketleri ve ürün gruplarının mevcut ve gelecek durum için tahmin edilmesi, önerilen yatırım alanlarının önce genel sonra bölgesel ölçekte belirlenmesidir. Bu anlamda önerilen modelin yer seçiminin hacime bağlı değişkenlerinde yüksek tutarlılık sağlayacağı açıktır. Önerilen yöntemle elde edilen yer seçim sonuçları ile birlikte soğuk hava depolarının daha erişilebilir noktalarda olacağı devamlı daha verimli ekonomik sonuçlar oluşturacağı, kentiçi ve dışı trafiğe olumlu yönde etkisi olacağı, daha az karbon salımı yaratacağı, kentsel gürültünün yaygınlığının azalacağı, tarım alanlarına daha az zarar geleceği, daha az işgücüne ihtiyaç duyulacağı, daha az petrol tüketimi oluşacağı ve , daha taze meyve ve sebze erişimi olacağı değerlendirilmektedir.

### Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar bu makalenin oluşturulmasında kaynak ve veri destekleri için İzmir Büyükşehir Belediyesi, TÜMAŞ ve Trafik Analiz Merkezi'ne (TAM) teşekkür ederler.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

### Kaynaklar (References)

- Arkoc, O. (2014). Municipal solid waste landfill site selection using geographical information systems: a case study from Çorlu, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(11), 4975-4985.
- Cao, W., Yan, M., & Zhang, L. (2017). Cold Chain Logistics Enterprise Performance Evaluation Based on DEA-AHP and Its Improved Method.
- Chen, J., Liao, W., & Yu, C. (2021). Route optimization for cold chain logistics of front warehouses based on traffic congestion and carbon emission. *Computers & Industrial Engineering*, 161, 107663.
- Dong, W. (2020). Research on Supply Chain Resilience of Agricultural Products Based on AHP-FCE Model.
- Han, Y. (2020). Research on Selection of Fresh Cold Chain Logistics Service Providers Based on AHP-TOPSIS. *Int. J. Sci*, 7, 39-46.
- Hassan, M., Chakma, M., & Hasan, Z. (2020, July). An AHP Approach for Cold Storage Warehouse Site Selection: A Case Study in Bangladesh. In 2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT) (pp. 1-6). IEEE.
- Hiremath, D. B., Patil, N. R., & Dasgupta, A. (2013). Geospatial technique for potato cold storage allocation. *Journal of Geomatics*, 7(1), 13-17.
- Jia, Z. Y., & Yang, X. X. (2012). Application of entropy weight method and TOPSIS model in the cold-chain logistics and distribution center location. In *Advanced Materials Research* (Vol. 569, pp. 693-696). Trans Tech Publications Ltd.
- Jian, S., & Jing, Z. (2015). Evaluation of core competence of cold-chain logistics enterprises based on FCE model. *The Open Cybernetics & Systemics Journal*, 9(1).
- Jiao, X., Xu, W., & Duan, L. (2021). Study on Cold Chain Transportation Model of Fruit and Vegetable Fresh-Keeping in Low-Temperature Cold Storage Environment. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2021.
- Joshi, R., Banwet, D. K., & Shankar, R. (2011). A Delphi-AHP-TOPSIS based benchmarking framework for performance improvement of a cold chain. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 10170-10182.
- Hiremath, D. B., Patil, N. R., & Dasgupta, A. (2013). Geospatial technique for potato cold storage allocation. *Journal of Geomatics*, 7(1), 13-17.
- İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2019. İzmir Sürdürülebilir Kentsel Lojistik Ana Planı. İzmir.
- Kamali, M., Alesheikh, A. A., Khodaparast, Z., Hosseinniakani, S. M., & Borazjani, S. A. (2015). Application of delphi-AHP and fuzzy-GIS approaches for site selection of large extractive industrial units in Iran. *Journal of settlements and Spatial planning*, 6(1), 9-17.
- Liu, H., & Fan, L. (2018, September). Location Selection of Cold Chain Logistics Park Based on "HF-A" Model. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 186, No. 6, p. 012047). IOP Publishing.
- Mingfei, L., & Ting, Y. (2011, July). The cold chain logistics performance evaluation on sideline products based on data envelopment analysis. In 2011 International Conference on Product Innovation Management (ICPIM 2011) (pp. 371-374). IEEE.
- Singh, R. K., Chaudhary, N., & Saxena, N. (2018). Selection of warehouse location for a global supply chain: A case study. *IIMB management review*, 30(4), 343-356.
- Şener, B., Süzen, M. L., & Doyuran, V. (2006). Landfill site selection by using geographic information systems. *Environmental geology*, 49(3), 376-388.

- Upadhyay, G., & Bhattacharya, B. K. (2019). Site Suitability for Developing New Cold Chain Using Multi-Criteria Decision Analysis and Geospatial Techniques. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 325-331.
- Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11-17.
- Viswanadham, N. (2006). Can India be the food basket for the world. Achieving rural and global supply chain excellence: the Indian way. Hyderabad: GLAMS, 1, 1-16.
- Wang, W., Dong, W., Wang, H., Wu, H., & Zhang, W. (2015, November). Research on Assessment of Farm Product Cold Chain Quality and Safety Based on Intuitionistic Triangular Fuzzy TOPSIS. In *3rd International Conference on Management Science, Education Technology, Arts, Social Science and Economics* (pp. 1247-1251). Atlantis Press.
- Yuanguo, Y., & Shengyu, H. (2019). Research on optimization of distribution route for cold chain logistics of agricultural products based on traffic big data. *Management Review*, 31(4), 240.
- Yubin Liu and Zongwei Ren , "Study on site selection of cold chain logistics in northwest territories", *AIP Conference Proceedings* 1864, 020157 (2017) <https://doi.org/10.1063/1.4992974>
- Young, M. (1997). The cold storage chain. In: Dellino, C.V.J. (eds) *Cold and Chilled Storage Technology*. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1127-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1127-0_1)
- Zhang, S., Chen, N., She, N., & Li, K. (2021). Location optimization of a competitive distribution center for urban cold chain logistics in terms of low-carbon emissions. *Computers & Industrial Engineering*, 154, 107120.
- Zhao, Z., Li, X., & Zhou, X. (2020). Distribution route optimization for electric vehicles in urban cold chain logistics for fresh products under time-varying traffic conditions. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020.



## HAVA ARAÇLARI İÇİN DEĞİŞKEN AKILI RELÜKTANS GENERATÖR TASARIMI

Hilmi GÜRLEYEN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Uşak, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Değişken Akıllı Relüktans  
Generatör 1,  
Elektrifikasyonu Artırılmış  
Hava Aracı 2,  
Generatör Tasarımı 3,  
Sonlu Eleman Analizi 4.*

### Öz

Elektrifikasyonu artırılmış hava araçlarında generatör önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada hava araçları için değişken akıllı relüktans generatör (DARG) tasarımı yapılmıştır. Öncelikle hava araçlarında kullanılan değişken hızlı-değişken frekanslı elektrik üretim mimarisi anlatılmıştır. 12/10 topolojiye sahip bir DARG'ın elektromanyetik özellikleri analiz edilmiş ve dinamik denklemleri verilmiştir. Dinamik denklemlerden yararlanarak tam yük altında ve 0,85 geri güç faktöründe çalışabilmesini sağlayacak endüktans değerlerini elde etmek amacıyla yöntem geliştirilmiştir. Hesaplanan toplu parametrelere göre 5kW gücünde 12/10 DARG tasarımı yapılmıştır. Tasarım ve analiz sırasında Ansys/Maxwell'den yararlanılmıştır. Tasarım yapılan generatörün terminal geriliminin harmonik analizi yapılmış ve bozulma faktörünün %2,16 olduğu görülmüştür. Yapılan analizler neticesinde, 12/10 DARG'ın üç seviyeli senkron generatöre alternatif olabilecek, daha ucuz ve daha basit bir generatör olduğu görülmüştür.

## VARIABLE FLUX RELUCTANCE GENERATOR DESIGN FOR AIRCRAFT

### Keywords

*Variable Flux Reluctance  
Generator 1,  
More Electric Aircraft 2,  
Generator Design 3,  
Finite Element Analysis 4.*

### Abstract

The generator plays a significant role in more electric aircraft (MEA). In this paper, variable flux reluctance generator (VFRG) is designed for aircraft. A brief overview of airplane electric power generation using variable speed-variable frequency is given firstly. The electromagnetic properties of 12/10 VFRG is analyzed and its dynamic equations are given. Using dynamic equations, a method has been developed to determine inductance values that will allow it to operate under full load and 0.85 lagging power factor. Lumped parameters are obtained the machine to operate at full-load and 0.85 lagging power factor by using phasor diagram. On the basis of the calculated lumped parameters, a 5kW 12/10 VFRG has been designed. Ansys/Maxwell is used to design and analyze. Using a harmonic analysis, distortion factor of terminal voltage is determined as 2.16 %. As a result of the analysis an alternative to the three-level generator is the 12/10 VFRG, which is less expensive and has simple structure.

### Alıntı / Cite

Gürleyen, H., (2023). Hava Araçları İçin Değişken Akıllı Relüktans Generatör Tasarımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 824-836.

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

H. Gürleyen, 0000-0002-3920-9712

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	09.02.2022
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	06.02.2023
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	04.04.2023
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.06.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: hilmi.gurleyen@usak.edu.tr, +902762212121-2784

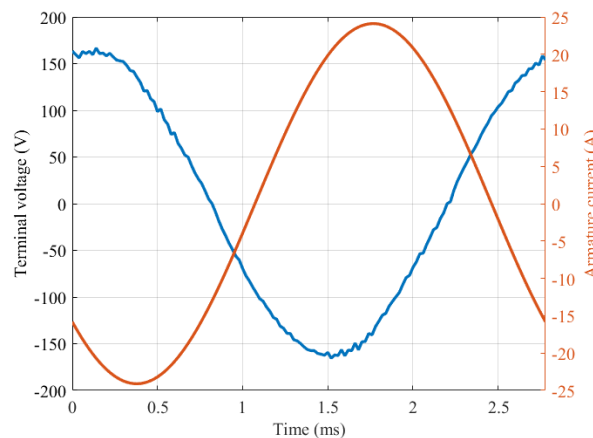
# ARTICLE TITLE VARIABLE FLUX RELUCTANCE GENERATOR DESIGN FOR AIRCRAFT

Hilmi GÜRLEYEN,  
Uşak University

## Highlights

- Dynamical equations of VFRG are obtained, and the power production mechanism is investigated.
- The lumped parameters of VFRG are determined for variable speed-variable frequency systems.
- A 5kW VFRG is designed based on the lumped parameters using Ansys/Maxwell.
- The distortion factor of the terminal voltage is kept under 2.16%.

## Graphical Abstract



**Figure.** Variation of terminal voltage and current at rated power

## Purpose and Scope

This study aims to design a 5 kW VFRG for variable speed variable frequency system for aircraft. In order to speed up the design process, an analytical method is proposed to obtain lumped parameters of VFRG.

## Design/methodology/approach

A generator must operate under inductive load for variable speed variable frequency systems. However, terminal voltage decreases under inductive load. In order to regulate terminal voltage at rated voltage, armature self-inductance and mutual inductance between armature and field windings must be designed properly. Using d- and q- axis model of the VFRG, inductances are determined at full-load and 0.85 lagging power factor that is the worst case to regulate terminal voltage. A 5 kW VFRG is designed according to the calculated inductances using Ansys/Maxwell. Stator teeth and rotor pole width are optimized to decrease distortion factor of the terminal voltage.

## Findings

Synchronous generators are used commonly for aircraft applications. To eliminate brush, a three-level synchronous generator is used. In this paper, a 5 kW VFRG is designed for variable speed variable frequency systems for aircraft as a competitor with the synchronous generator. A novel analytical model is presented with the objective of expediting the design process of VFRG. In a VFRG, the absence of brushes is a notable feature since the field winding is located in the stator. Thus, the VFRG offers a simpler structure in comparison to a synchronous generator. With its low distortion factor of the terminal voltage, a VFRG is well-suited for utilization in variable speed variable frequency systems. The robust structure of the rotor enables a VFRG to function reliably even in harsh environments. Additionally, the VFRG serves as a fail-safe generator as the field winding can be de-energized during faults. Despite structural similarities with a switched reluctance, the VFRG has a low torque ripple.

## Originality

This paper proposes a VFRG design that has more simple structure than a three-level synchronous generator for aircraft applications. A 5 kW VFRG is designed using the proposed design procedure.



## 1. Giriş (Introduction)

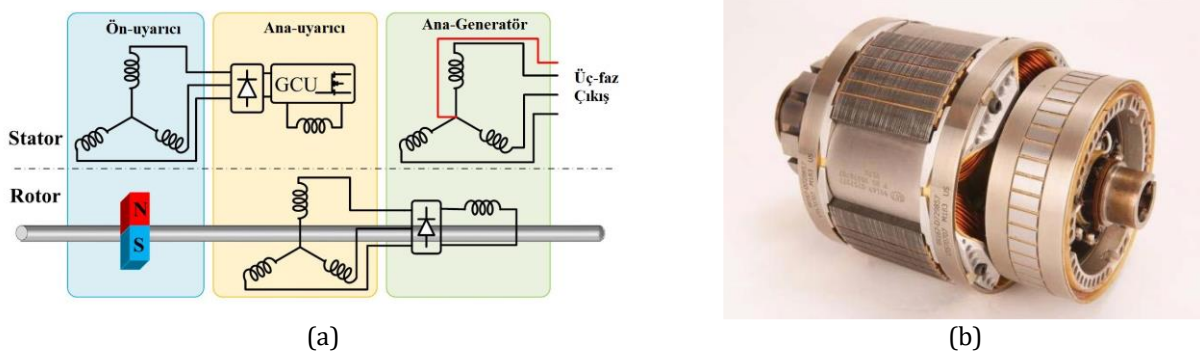
Elektrifikasyonu artırılmış hava araçları kavramı ile hava araçlarında bulunan havalandırma, hareket sistemleri ve ısıtma sistemleri gibi mekanik, hidrolik ve pnömatik sistemler yerine mümkün olduğunca elektriksel sistemlerin kullanılması amaçlanır. Boeing 787 ve Airbus A-380, elektrifikasyonu artırılmış hava aracı uygulamalarına başarılı birer örnektir (Sarlioğlu ve Morris, 2015). Elektrifikasyonun artmasıyla birlikte generatör güç değerleri de artmaktadır. Geniş gövdeli sivil uçaklarda elektrik gücü 1MW civarındadır (Madonna vd, 2018; Nøland vd, 2020).

Hava araçlarında kullanılan elektrik makinalarının arıza durumlarındaki davranışları önemlidir. Arıza durumlarında diğer sistemlere zarar vermeden, arıza durumunun yönetilmesi gerekmektedir. Senkron generatörlerin uyarma sargı akımları kontrol edilebildiği için kısa devre hatası olması durumunda uyarma akımı düşürülerek generatörün zarar görmesi engellenir (Sayed vd, 2021).

Şekil 1'de gösterildiği üzere, hava araçlarında genellikle üç seviyeli senkron generatör tercih edilmektedir (Wang vd, 2020). Üç seviyeli yapı; ön uyarıcı, ana uyarıcı ve ana generatörden oluşmaktadır. Bu yapı sayesinde fırçaların kullanımına ihtiyaç kalmamaktadır. Ön-uyarıcı yapının rotorunda mıknatıs bulunmaktadır. Mıknatısların dönmesiyle statorunda alternatif akım (AA) oluşur. İndüklenen gerilim doğru akım (DA)'ya dönüştürülür ve ana-uyarıcının statorunda bulunan uyarma sargısı beslenir. Ana-uyarıcının rotorunda ise armatür sargıları bulunur. Ana uyarıcının rotor sargılarında indüklenen AA gerilim, DA'ya doğrultularak ana generatörün rotorunda bulunan DA uyarma sargısı beslenir. Sonrasında ise ana generatörün statorunda bulunan armatür sargılarında indüklenen gerilim ile hava aracının elektriksel sistemleri beslenir.

Günümüz generatör sistemlerinin marş motoru olarak da çalışması beklenmektedir. Türbin motorunun büyük eylemsizliğini yenebilmek için motor çalışmada yüksek moment üretilmesi gerekmektedir. Düşük hızlarda ön uyarıcıda indüklenen gerilim genliğinin düşük olması motor çalışmadaki maksimum moment değerini sınırlamaktadır. Motor çalışmadaki moment değerinin artırılmasına dönük çalışmalar (Griffo vd, 2013) tarafından yapılmıştır. Senkron generatörler için önemli olan tasarım parametrelerinden biri de toplam harmonik bozulmanın düşük olmasıdır. (Wang vd, 2022) tarafından yapılan çalışmada toplam harmonik bozulma düşürülmüştür.

Kalıcı mıknatıslı senkron makineler, yüksek verim ve güç yoğunluklarına sahip olmalarından dolayı hibrit/elektrikli araç uygulamalarında tercih edilmektedir. Bu özellikler hava araçlarında da önemli bir kriter olmasına rağmen kalıcı mıknatıslı senkron generatörler hava araçlarında tercih edilmemektedir. Çünkü olası bir kısa devre hatası durumunda mıknatısların enerjisi kesilemediği için çok yüksek akımlar oluşmakta ve hava aracı için tehlike oluşturmaktadır. Bu yüzden hata akımlarını sınırlamaya dönük çalışmalar yapılmıştır (Geest vd, 2015; Atkinson vd, 2006).



Şekil 1. a) Üç seviyeli senkron generatör yapısı ve b) rotoru (Wang vd, 2020). (a) Structure of three-level synchronous generator b) rotor)

Anahtarlamalı relüktans generatör (ARG); yüksek hız ve yüksek sıcaklık gibi zorlu şartlarda çalışabilmesi, hata-toleransının yüksek olması gibi önemli özelliklere sahiptir (Valdivia vd, 2013; Ferreria vd, 1995). Fakat moment dalgalığının yüksek olması dezavantajdır.

Asenkron generatör ise hava aracı uygulamaları için bir diğer alternatiftir (Jia ve Rajashekara, 2017). Hava araçları için çift beslemeli asenkron generatör uygulaması yapılmıştır (Feehally ve Apsley, 2015). Çift beslemeli asenkron generatöre benzetmesine rağmen rotor sargılarının statora taşınmasıyla elde edilen yeni bir generatör (Peng vd, 2022) tarafından tasarlanmıştır.

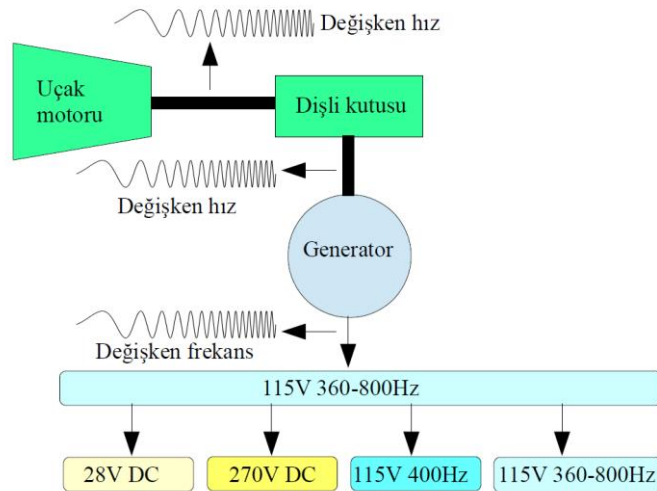
Hibrit ve elektrikli hava araçları üzerine çalışmalar (Sirimanna vd, 2022; Barzkar vd 2022) tarafından özetlenmiştir. Bu uygulamalarda kullanılan generatör veya elektrik motorunun güç yoğunluğunun çok yüksek olması gerektiği için süper iletkenli elektrik makinaları kullanılmaktadır (Adu-Gyamfi vd, 2022; Bird, 2021; Fard vd, 2022).

Hava araçları uygulamalarında çift çıkıntılı ve çift beslemeli generatöre ilgi son yıllarda artmaktadır (Chen vd, 2012; Zhang vd, 2012; Cai vd, 2022). Çift çıkıntılı ve çift beslemeli generatörün terminal gerilimi sinüzoidal olmadığı için armatür sargılarında indüklenen gerilim pasif veya aktif doğrultular kullanılarak DA gerilime dönüştürülür (Zhao vd, 2018; Xu vd, 2020; ). Hava araçlarında generatör olarak kullanıldığında nüve kayıpları (Jia vd, 2020; Zhang vd, 2022) tarafından analiz edilmiştir. Dinamik modellemesi ise (Yanwu vd, 2019) tarafından verilmiştir.

Bu çalışmada, değişken hızlı-değişken frekanslı elektrik üretim mimarileri için değişken akıllı relüktans generatör (DARG) tasarımı yapılmıştır. DARG'da hem armatür sargıları hem de uyarma sargıları statorunda bulunmaktadır. Böylece fırçalardan kurtulmak için senkron generatörün ihtiyacı olan üç seviyeli yapıya gerek kalmamakta ve daha kompakt bir generatör tasarlanmaktadır. Ayrıca arıza durumunda uyarma akımının kesilebilmesi sayesinde yüksek hata akımlarından korunmaktadır. Rotor yapısı ARG'ye benzemesine rağmen, zıt-EMK dalga şekli sinüzoidaldir. Bu sebeple, moment dalgalılığı da düşüktür. Çift çıkıntılı ve çift beslemeli generatörün de hem armatür hem de uyarma sargıları statorunda olmasına rağmen zıt-EMK'sı çift harmoniklere sahip olduğu için değişken hızlı-değişken frekanslı sistemler için uygun değildir. Kompakt bir yapıya sahip olması, terminal geriliminin sinüzoidal olması, arıza durumunun yönetilebilmesi, moment dalgalılığının düşük olması ve basit bir rotora sahip olması DARG'ın önemli avantajlarıdır. Bu çalışmanın ikinci kısmında değişken hızlı değişken frekanslı sistem tanıtılmıştır. Üçüncü kısmında ise DARG'ın elektromanyetik analizi verilmiştir. Dördüncü kısımda tasarım sonuçları Ansys/Maxwell yardımı ile elde edilmiştir. Beşinci kısımda ise sonuç verilmiştir.

## 2. Değişken Hızlı Değişken Frekanslı Elektrik Üretim Mimarisi (Electrical Power Generation Architecture of Variable Speed Variable Frequency)

İlk hava araçlarında, elektrik gücü haberleşme sistemlerinde kullanılmıştır. Sonrasında aydınlatma ve ısıtma sistemlerinde de kullanılmasıyla beraber elektrik gücüne talep artmıştır. Elektrik gücüne talebin artmasıyla birlikte, kablo kayıplarını ve kablo ağırlığını düşürmek amacıyla gerilim seviyesi de artmıştır (Zhang vd, 2017). Önceleri DA olarak üretilen elektrik enerjisi, sonrasında AA olarak üretilmiştir. Birçok hava aracında 400 Hz, 115V mimari kullanılmıştır. Hidro-mekanik bir sistem kullanılarak türbin motorunun değişken hızı sabit hıza dönüştürülerek generatör miline bağlanır. Böylece generatörün sabit frekansta gerilim indüklemesi sağlanır. Sonraları güç elektroniğinin gelişmesiyle birlikte değişken frekanslı sistemlere geçilmiştir. Değişken frekanslı sistemlerin verimi sabit frekanslı sistemlere nazaran daha yüksektir (Whyatt ve Chick, 2012).



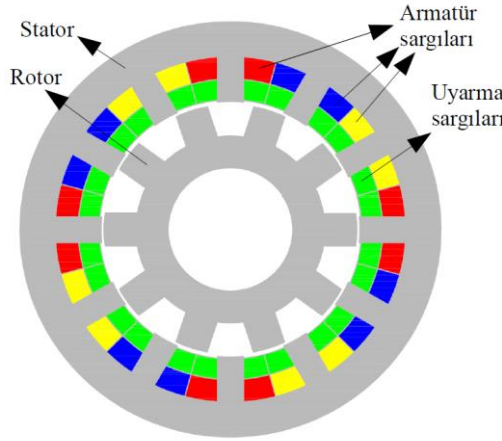
**Şekil 2.** Hava araçlarında kullanılan değişken hızlı-değişken frekanslı elektrik üretim mimarisi (Architecture of bus power system for variable speed variable frequency system in aircraft).

Şekil 2'de hava araçlarında kullanılan, değişken hızlı-değişken frekanslı elektrik üretim mimarisi gösterilmektedir. Uçak motoru ile generatör bir dişli kutusu üzerinden mekanik olarak bağlanmaktadır. Motor hızının değişmesi, generatör hızının da değişmesine neden olmaktadır. Generatör hızının değişimiyle birlikte indüklenen gerilimin frekansı da değişmektedir. Üretilen gerilimin frekansı değişirken genliği uyarma akımı değiştirilerek sabit

tutulmaktadır. Bazı yükler değişken frekanslı 115V ile doğrudan çalışabilirken bazı yükler için 115V-400Hz, bazıları için ise 270V DA ve aviyonik sistemler için ise 28V DA kullanılır.

### 3. Değişken Akılı Relüktans Generatörün Analizi (Analysis of Variable Flux Reluctance Generator)

DARG için farklı oluk/kutup topolojileri bulunmaktadır. 6/4 topolojisinde dengesiz gerilimler, 6/5 ve 6/7 topolojilerinde ise rotor kutup sayılarının tek olmasından dolayı dengesiz manyetik kuvvetler oluşmaktadır (Huang, vd, 2018; Liu, ve Zhu, 2014). Sinüzoidal bir zıt-EMK'ya sahip olan ve manyetik kuvvetlerin dengeli olduğu en düşük rotor kutup sayısına sahip topoloji 12 oluk ve 10 kutuplu topolojidir. Şekil 3'te, 12 oluk ve 10 kutuplu (12/10) DARG yapısı verilmiştir. Bu makinelerde armatür sargılarının yanı sıra uyarma sargıları da statorda bulunmaktadır. Rotor yapısı ise ARG'ye benzemektedir. Statorda bulunan uyarma sargıları sayesinde, armatür sargılarında sinüzoidal bir gerilim indüklenmektedir.



Şekil 3. 12/10 DARG yapısı (The structure of 12/10 VFRG)

Tasarım parametreleri Tablo 1'de verilen bir 12/10 DARG'ın armatür sargısı öz-endüktansı, armatür sargıları arasındaki karşit endüktans, uyarma sargısı öz-endüktansı ve armatür ile uyarma sargısı arasındaki karşit endüktansların değişimleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Armatür ve uyarma öz-endüktanslarının değişimi oldukça sınırlıdır. Armatür ile uyarma sargısı arasındaki karşit endüktans ise sinüzoidal olarak değişmektedir. Öz-endüktanslarının yaklaşık olarak sabit olması makinenin relüktans momenti üretmediğini göstermektedir. DARG yapısı itibarıyla her ne kadar ARG'e benzese de moment üretme prensibi bakımından silindirik rotorlu senkron makineye benzemektedir. Makinenin d-q eksenindeki dinamik denklemleri ise (1-4)'te verilmiştir.

$$V_d = R_s i_d + L_d \frac{di_d}{dt} + L_{mf} \frac{di_f}{dt} - \omega_e i_q L_q \quad (1)$$

$$V_q = R_s i_q + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega_e (i_d L_d + i_f L_{mf}) \quad (2)$$

$$V_f = R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} + \frac{3}{2} L_{mf} \frac{di_d}{dt} \quad (3)$$

$$T = p \frac{3}{2} i_q L_{mf} i_f \quad (4)$$

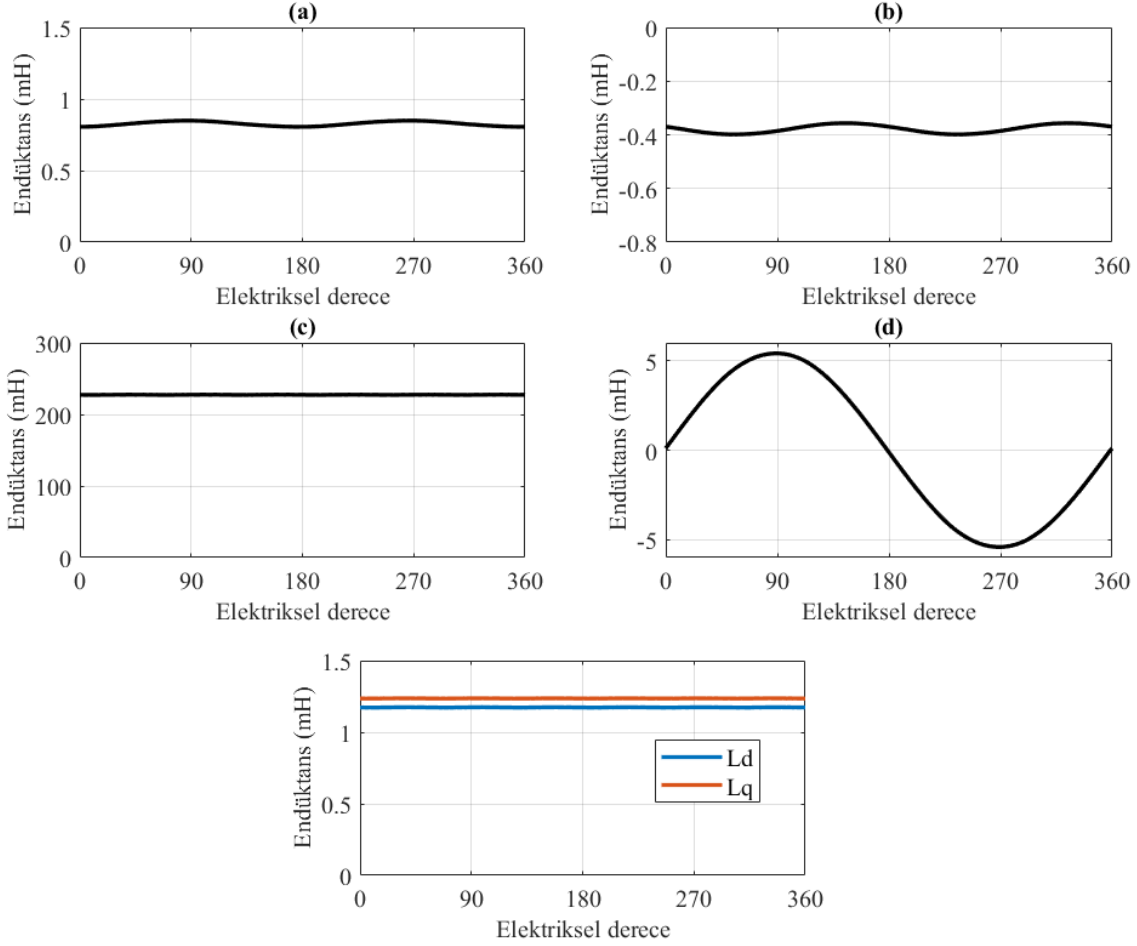
Bu denklemlerde;  $V_d$ ,  $V_q$ ,  $i_d$  ve  $i_q$  sırasıyla d- ve q- eksenli gerilim ve akımlarını,  $V_f$  ve  $i_f$  ise uyarma sargısı gerilim ve akımını,  $L_d$ ,  $L_q$ ,  $L_f$  ve  $L_{mf}$  ise d- ve q- eksenli endüktansları, uyarma öz-endüktansı ve armatür ile uyarma sargısı arasındaki karşit endüktansı göstermektedir.  $L_{mf}$ , temel bileşenin genliği olarak alınmaktadır.  $T$  ise elektromanyetik momenti ve  $p$  ise kutup çifti sayısını göstermektedir.

$$P = 3 \left[ \frac{EV}{X_d} \sin\delta + \frac{V^2}{2} \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin\delta \right] \quad (5)$$

Generatör tarafından üretilen elektriksel güç ifadesi denklem 5'te verilmiştir. Denklem 5'te gösterilen  $E$ , zıt-EMK iken  $V$  ise terminal gerilimidir.  $X_d$  ve  $X_q$ , d- ve q- eksenli empedansları,  $\delta$  ise zıt-EMK ile terminal gerilimi arasındaki

açı olup, güç açısı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4'te gösterildiği üzere, d- ve q- eksenli endüktans değerleri birbirine oldukça yakındır. Bu nedenle, manyetik çıkıklık etkisinden kaynaklanan güç ihmal edilebilir. Böylece güç ifadesi denklem 6'daki gibi yazılabilir.

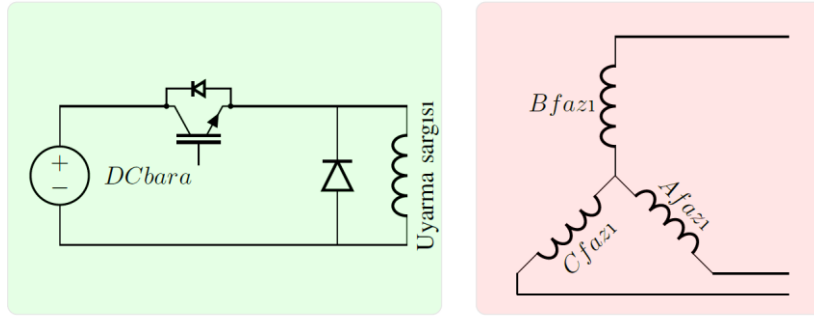
$$P = 3 \left[ \frac{EV}{X_d} \sin \delta \right] \quad (6)$$



**Şekil 4.** a) Armatür sargısı öz-endüktansı b) Armatür sargıları arası karşıt endüktansı c) Uyarma sargısı öz-endüktansı d) Armatür ve uyarma sargıları arası karşıt endüktansı e) d- ve q- endüktansları (a) Self-inductance of armature winding, b) mutual inductance between armature windings c) self-inductance of field winding d) mutual inductance between armature and field windings, e) d- and q- axis inductance.)

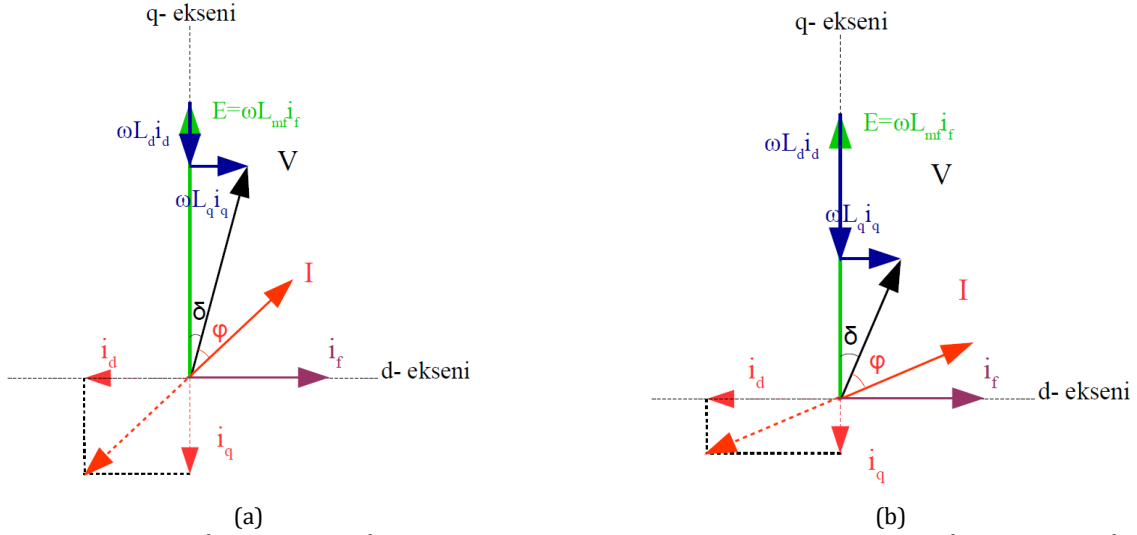
#### 4. 12/10 VFRG Tasarımı

Değişken hızlı-değişken frekanslı mimariler için tasarlanan bir DARG'ın terminal bağlantı şeması Şekil 5'te verilmiştir. Terminal uçlarında indüklenen gerilimin bir kısmı doğrudan yüklerle verilirken bir kısmı da 115V 400Hz, 28V DA ve 270V DA değerlerine dönüştürülür. Uyarma sargısına bağlanan bir DA kıyıcı devresi ile terminal gerilimin kontrolü yapılır ve generatör farklı hızlarda çalışsa bile gerilimin genliği sabit tutulur. Generatör mil hızının yanı sıra generatöre bağlanan yükler de terminal gerilimine etki eder. Armatür sargılarından çekilen akımın genliği ve faz açısı terminal gerilimini etkiler. (M. Standard, 2004)'a göre generatörün 0,85 geri güç faktöründe de çalışabilmesi gerekmektedir.

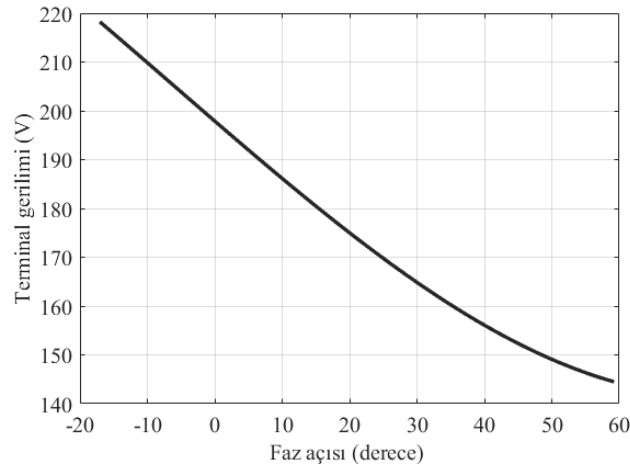


Şekil 5. 12/10 DARG sargı bağlantıları (Winding connection of 12/10 VFRG).

Generatörün endüktif yüklenmesi durumu tasarım için dikkat edilmesi gereken bir noktadır. Endüktif yük arttıkça terminal gerilimi azalmaktadır. Bu durumu göstermek amacıyla Şekil 6'da aynı uyarma ve armatür akımlarına sahip olan fakat faz açısının  $31,78^\circ$  ve  $43,78^\circ$  olduğu durumlara ait fazör diyagramları verilmiştir. Fazör diyagramında generatör sargılarının iç direnci ihmal edilmiştir. Faz açısının artmasıyla birlikte terminal geriliminin azaldığı görülmektedir. Denklem 1-3'ten yararlanarak faz açısının değişmesiyle terminal gerilim genliğinin değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 7'de uyarma ve armatür akım değerleri anma değerlerinde sabit tutulmuştur. (M. Standard, 2004)'a göre 0,85 geri güç faktöründe çalışırken etiket terminal geriliminin sağlanması gerekmektedir. Endüktif yük altında etiket terminal gerilimini istenilen değerde tutabilmek için uygun  $L_{mf}$  ve  $L_d$  değerlerinin seçilmesi gerekmektedir.



Şekil 6. a)  $\varphi = 31,78^\circ$ , b)  $\varphi = 43,78^\circ$  iken fazör diyagramı (Phasor diagram with a)  $\varphi = 31,78^\circ$ , b)  $\varphi = 43,78^\circ$ )



Şekil 7. Armatür ve uyarma akımları anma değerlerinde iken faz açısına bağlı olarak terminal gerilimi değişimi (Terminal voltage variation depending on the phase angle while field and armature current are at the rated value.)

DARG'ın analitik modelinin RMxprt, Motor-Cad gibi motor tasarım programlarında olmaması tasarımı

zorlaştırmaktadır. Tasarım için sonlu eleman analizi (SEA) ile çözüm yapan programlara ihtiyaç duyulmaktadır. SEA ile çözüm ise uzun sürmektedir. Ayrıca tasarım sırasında; çap, uzunluk, stator dış genişliği, rotor dış genişliği, hava aralığı genişliği, akım yoğunluğu, armatür ve uyarma sarım sayıları gibi birçok parametrenin optimize edilmesi gerekmektedir. Tasarım parametrelerinin değişimi sırasında zıt-EMK ile terminal gerilimi arasındaki açı değişmekte ve terminal gerilimi ile armatür akımı arasındaki faz farkı da değişmektedir. Tasarım sürecini hızlandırmak için makinanın armatür sargılarının birer akım kaynağından beslendiği düşünülerek analiz yapılır. Terminal gerilimi, elektromanyetik moment, verim vs. gibi tasarım sonuçlarının hedeflenen değerlere ulaşana kadar tasarım parametreleri değiştirilir. Armatür akımlarının zıt-EMK ile arasındaki açının belirlenmesi ile tasarlanan generatörün istenilen hedefleri sağlama durumu analiz edilir. Bu yüzden generatör tasarımı sırasında endüktans değerlerinin analitik olarak belirlenerek tasarımı hedeflenen endüktans değerlerine göre yapmak tasarım sürecini hızlandıracaktır.

Endüktans değerlerini hesaplama için ilk olarak d- ve q- eksenlerine ait akım ve gerilim ifadeleri denklem 7-10'da elde edilmiştir.

$$i_q = I_m \cos(\delta + \varphi + \pi) \quad (7)$$

$$i_d = I_m \sin(\delta + \varphi + \pi) \quad (8)$$

$$V_q = V \cos(\delta) \quad (9)$$

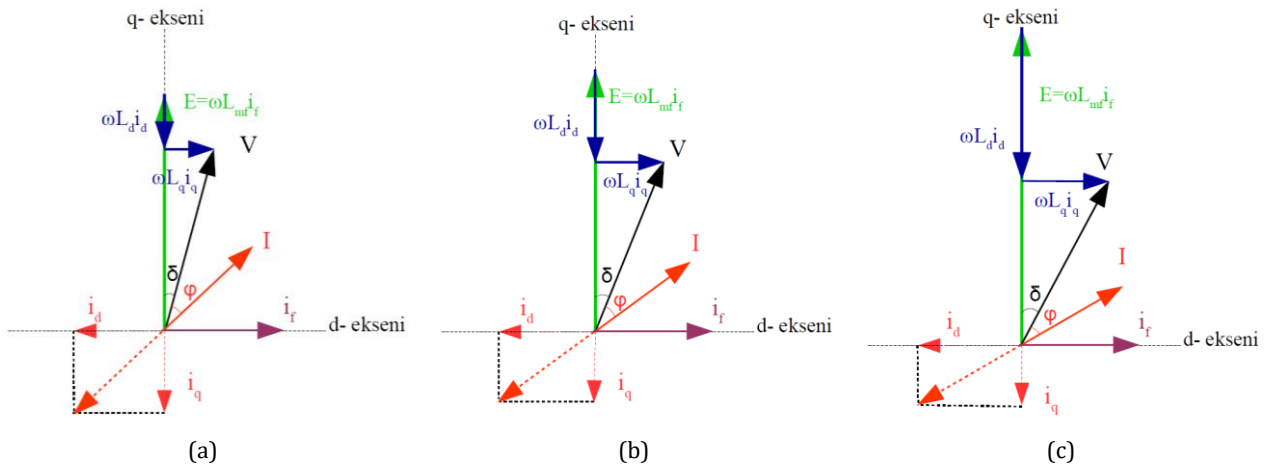
$$V_d = V \sin(\delta) \quad (10)$$

D- ve q- eksenli endüktanslarının değerleri birbirlerine yakındır. Bu yüzden d- ve q- eksenli endüktansları eşit kabul edilebilir. Geçici hal ve sargı dirençleri ihmal edilirse, d- eksenli endüktansı ile armatür ile uyarma sargıları arasındaki karşıt endüktans değerleri denklem 11 ve denklem 12 ile elde edilir.

$$L_d = \frac{V_d}{\omega i_q} \quad (11)$$

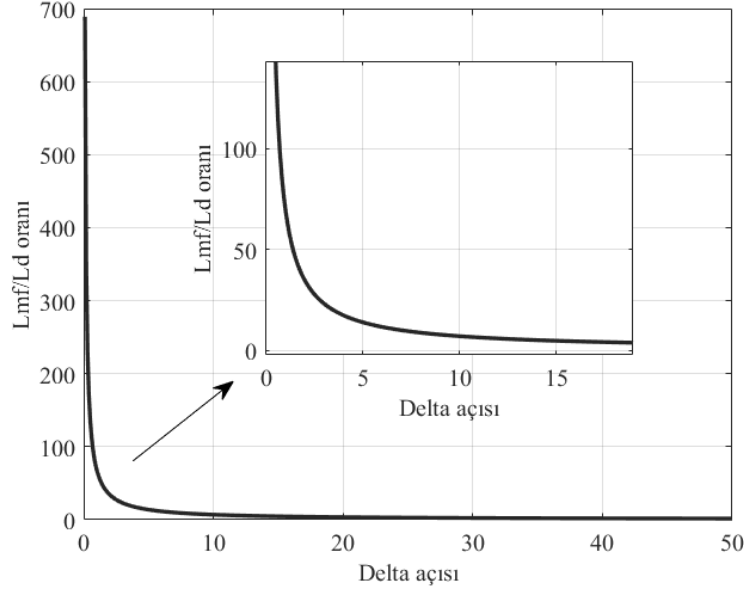
$$L_{mf} = \frac{V_q - \omega L_d i_d}{\omega i_f} \quad (12)$$

Generatörün terminal gerilimi ve faz açısı (M. Standard, 2004)'a göre belirlenmiş ve armatür akım değeri ise generatörden istenilen çıkış gücüne göre elde edilmiştir. Şekil 8'de aynı çıkış gücüne, terminal gerilimine, uyarma akımına ve armatür akımına sahip fakat farklı güç açılarında sahip tasarımların fazör diyagramları gösterilmiştir. Endüktif yük altında iken istenilen terminal gerilimini sağlamak için  $L_d$  endüktansının ve  $L_{mf}$  endüktansının uygun değerlerde olması gerekmektedir. Güç açısı hem  $L_d$  endüktansını hem de  $L_{mf}$  endüktansını belirlemektedir. Generatörün çift çıkıntılı bir yapıya sahip olması nedeniyle armatür ve uyarma sargıları arasındaki manyetik kuplaj zayıftır. Bu yüzden  $L_{mf}/L_d$  oranının çok yüksek olması durumunda uyarma sarğı sayısının çok fazla olmasına ve generatörün eksenel olarak uzamasına neden olur. Bu durumda generatörün güç yoğunluğu azalır.



Şekil 8. a)  $\delta = 15^\circ$ , b)  $\delta = 22^\circ$ , c)  $\delta = 28^\circ$  iken fazör diyagramı (Phasor diagram with a)  $\delta = 15^\circ$ , b)  $\delta = 22^\circ$ , c)  $\delta = 28^\circ$ .)

Şekil 9'da terminal gerilimi, armatür akımı ve faz açısı sabit iken güç açısının değişimiyle birlikte  $L_{mf}/L_d$  oranının değişimi gösterilmiştir.  $L_{mf}/L_d$  oranının çok yüksek olması generatörün güç yoğunluğunu düşürdüğü için  $L_{mf}/L_d$  oranının düşük olduğu bir duruma göre  $L_{mf}$  ve  $L_d$  endüktansları belirlenmiştir. Hesaplanan endüktans değerlerine göre generatör tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan generatörün parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.



**Şekil 9.** Güç açısına bağlı  $L_{mf}/L_d$  oranı değişimi (Variation of  $L_{mf}/L_d$  ratio depending on power angle)

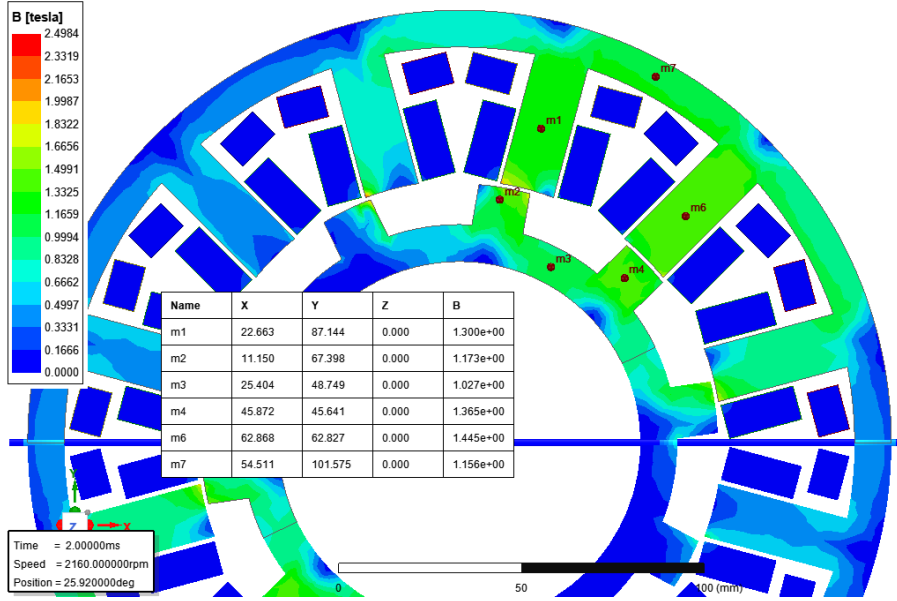
**Tablo 1.** Generatör Tasarım Parametreleri (Generator Design Parameters)

Parametreler	Değer
Elektriksel güç	5 kW
Güç faktörü	0,85 (geri)
Stator dış çapı	240 mm
Stator iç çapı	145 mm
Hava aralığı uzunluğu	1 mm
Eksenel uzunluk	340 mm
Çıkış gerilimi	115 V (rms, faz-nötr)
Akım yoğunluğu	5,5 A/mm <sup>2</sup>
Bobin başına armatür sarım sayısı	8
Bobin başına uyarma sarım sayısı	70
Çalışma frekans aralığı	360-800 Hz

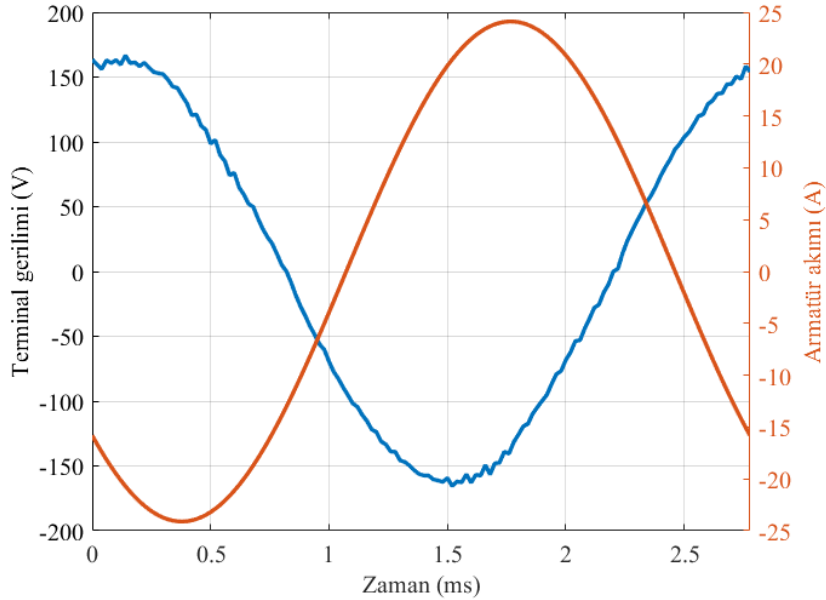
#### 4. Benzetim Sonuçları (Simulation Results)

Hedeflenen endüktans değerlerine göre generatör tasarımı Ansys/Maxwell ortamında 2 boyutlu analiz yöntemi ile elde edilmiştir. Tasarımı yapılan generatörün tam yük altında çalışması durumunda oluşan manyetik akı yoğunluğu dağılımı Şekil 10'da gösterilmiştir. 0,85 geri güç faktöründe tam yük altındaki terminal gerilimi ise Şekil 11'de verilmiştir. Değişken hızlı-değişken frekanslı sistemlerde kullanılan generatörün terminal gerilimindeki bozulma faktörünün %5'in altında olması gerekmektedir (M. Standard, 2004). Bozulma faktörünün %5'in altında kalmasını sağlamak için manyetik yüklenme düşük tutulmuştur. Şekil 10'da gösterildiği gibi manyetik akı yoğunluğu malzemenin doyuma girme akı yoğunluğunun (yaklaşık 1.8 T) altında tutulmuştur. Manyetik akı yoğunluğunun artırılması durumunda bozulma faktörü artmaktadır. Bozulma faktörü, bozulmanın temel frekansa oranı şeklinde tanımlanır ve (13)'te gösterilmiştir.

$$BF = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots}}{V_1} \quad (13)$$



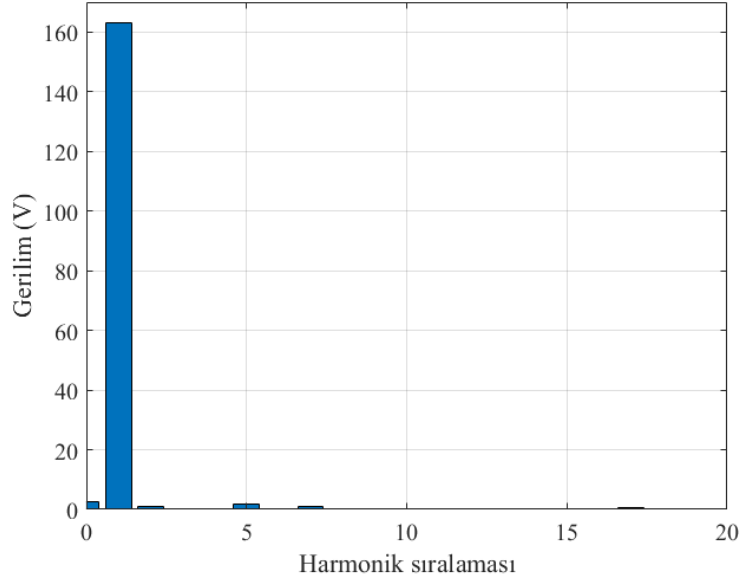
Şekil 10. Tam yük ve 0,85 güç faktöründe manyetik akı yoğunluğu dağılımı (Magnetic flux density distribution at full-load and 0,85 power factor).



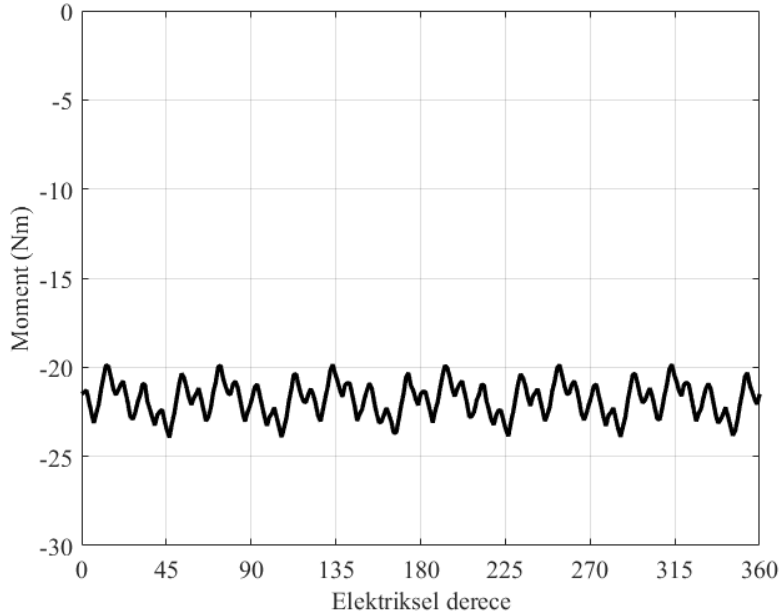
Şekil 11. Anma gücünde terminal gerilim ve akım değişimi (Variation of terminal voltage and current at rated power).

Şekil 12'de tam yük altındaki terminal geriliminin fast Fourier transform (FFT) sonucu gösterilmiştir. Temel bileşenin genliği yüksek iken harmoniklerin genliklerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Terminal geriliminin bozulma faktörü %2,16 olarak hesaplanmıştır. Bu değer (M. Standard, 2004)'a uygundur. Şekil 13'te ise generatörün tam yük altındaki elektromanyetik moment dalgalılığı verilmiştir. Moment dalgalılığı yaklaşık %17 olup, stator ve rotor dişlerinin genişliklerinin optimize edilmesi ile daha da düşürülebilir. DARG yapısal olarak ARG'ye benzese de moment dalgalılığı ARG'ye göre çok düşüktür.





Şekil 12. Terminal gerilimi harmonik bileşenleri (Harmonic components of the terminal voltage).



Şekil 13. Moment değişimi (Torque variation).

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

Bu çalışmada değişken hızlı-değişken frekanslı elektrik üretim mimarisine sahip hava araçları için 5 kW gücünde bir DARG tasarımı yapılmıştır. Öncelikle generatörün çalışma prensibi ve dinamik denklemleri verilmiştir. Daha sonrasında ise tasarımı kolaylaştırılmak için toplu parametrelerin belirlendiği bir yöntem geliştirilmiştir. Belirlenen toplu parametrelere uygun bir tasarım gerçekleştirilmiş ve tam yük altında 0,85 geri güç faktöründeki gerilim dalga şekli Ansys/Maxwell yardımıyla elde edilmiştir. Terminal geriliminin bozulma faktörünün standarda uygun biçimde %2,16 seviyesinde olduğu gözlenmiştir.

DARG ile üç seviyeli senkron generatöre alternatif daha kompakt ve daha ucuz bir tasarım elde etmek mümkündür. Rotorunda herhangi bir sargı veya mıknatıs olmaması zorlu çevre şartlarında da çalışabilmesine imkan sunmaktadır. Hata durumunda uyarma sargı akımının kesilebilmesi sayesinde yüksek hata akımlarından korunabilmesini sağlamaktadır. Rotor yapısı bakımından ARG'ye benzemesine rağmen düşük moment dalgalılığına sahip olması önemli bir üstünlüğüdür. Rotor kutup sayısının yüksek olması ise düşük hızlarda çalışmasına neden olmakta ve generatörün güç yoğunluğunun düşmesine neden olmaktadır.

## Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Tübitak tarafından 119E219 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

## Kaynaklar (References)

- Atkinson, G. J., Mecrow, B. C., Jack, A. G., Atkinson, D. J., Sangha, P., Benarous, M., 2006. The Analysis of Losses in High-Power Fault-Tolerant Machines for Aerospace Applications. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 42(5), 1162-1170.
- Adu-Gyamfi, B. A., & Good, C. (2022). Electric Aviation: A review of concepts and enabling technologies. *Transportation Engineering*, 100134.
- Barzkar, A., & Ghassemi, M. (2022). Components of electrical power systems in more and all-electric aircraft: A review. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*.
- Bird, J. Z. (2021). A review of electric aircraft drivetrain motor technology. *IEEE Transactions on Magnetics*, 58(2), 1-8.
- Cai, S., Wang, Y., Chen, H., Yuan, X., Yu, L., Zhang, Z., & Lee, C. H. (2022). Design and analysis of a doubly salient wound field starter generator for cost-effective automobile application. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71(7), 6900-6911.
- Chen, Z., Wang, H., & Yan, Y. (2012). A doubly salient starter/generator with two-section twisted-rotor structure for potential future aerospace application. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 59(9), 3588-3595.
- Fard, M. T., He, J., Huang, H., & Cao, Y. (2022). Aircraft Distributed Electric Propulsion Technologies-A Review. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*.
- Feehally, T., & Apsley, J. M. (2015). The doubly fed induction machine as an aero generator. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(4), 3462-3471.
- Ferreira, C. A., Jones, S. R., Heglund, W. S., Jones, W. D., 1995. Detailed Design of a 30-kW Switched Reluctance Starter/Generator System for a Gas Turbine Engine Application. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 31(3), 553-561.
- Griffo, A., Wrobel, R., Mellor, P. H., Yon, J. M., 2013. Design and Characterization of a Three-phase Brushless Exciter for Aircraft Starter/Generator. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 49(5), 2106-2115.
- Huang, L., Zhu, Z. Q., Feng, J., Guo, S., Shi, J. X., Chu, W., 2018. Analysis of Stator/Rotor Pole Combinations in Variable Flux Reluctance Machines Using Magnetic Gearing Effect. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(2), 1495-1504.
- Jia, W., Xiao, L., & Zhu, D. (2020). Core-loss analysis of high-speed doubly salient electromagnetic machine for aeronautic starter/generator application. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67(1), 59-68.
- Liu, X., & Zhu, Z. Q. (2014). Stator/Rotor Pole Combinations and Winding Configurations of Variable Flux Reluctance Machines. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50(6), 3675-3684.
- Madonna, V., Giangrande, P., Galea, M., 2018. Electrical Power Generation in Aircraft: Review, Challenges, and Opportunities. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 4(3), 646-659.
- Nøland, J. K., Leandro, M., Suul, J. A., & Molinas, M., 2020. High-power machines and starter-generator topologies for more electric aircraft: A technology outlook. *IEEE access*, 8, 130104-130123.
- Peng, P., Chen, L., Wang, X., Liu, R., Brugmann, A., Utt, L., ... & Xu, L. (2022). Design of A Brushless Doubly-Fed Machine for Aviation Electric Propulsion. *IEEE Transactions on Industry Applications*.
- Sarlioglu B., Morris, C. T., 2015. More Electric Aircraft: Review, Challenges, and Opportunities for Commercial Transport Aircraft. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 1(1), 54-64.
- Sayed, E., Abdalmagid, M., Pietrini, G., Sa'adeh, N. M., Callegaro, A. D., Goldstein, C., & Emadi, A., 2021. Review of electric machines in more-/hybrid-/turbo-electric aircraft. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 7(4), 2976-3005.
- Sirimanna, S., Balachandran, T., Salk, N., Xiao, J., Lee, D., & Haran, K. (2022). Electric Propulsors for Zero-Emission Aircraft: Partially superconducting machines. *IEEE Electrification Magazine*, 10(2), 43-56.
- Standard, M. (2004). Aircraft electric power characteristics. Department of Defense Interface Standard (MIL-STD-704F).
- Valdivia, V., Todd, R., Bryan, F. J., Barrado, A., Lázaro, A., Forsyth, A. J., 2013. Behavioral Modeling of a Switched Reluctance Generator for Aircraft Power Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(6), 2690-2699.
- Van der Geest, M., Polinder, H., Ferreira, J. A., Zeilstra, D., 2015. Design and Testing of a High-Speed Aerospace Permanent Magnet Starter/Generator. In 2015 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles (ESARS) (pp. 1-6). IEEE.
- Wang, Y., Nuzzo, S., Gerada, C., Zhang, H., Zhao, W., & Galea, M. (2022). Integrated Damper Cage for THD Improvements of Variable Speed Salient-Pole Synchronous Generators for the More Electric Aircraft. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 8(3), 3618-3629.
- Wang, Y., Nuzzo, S., Zhang, H., Zhao, W., Gerada, C., Galea, M., 2020. Challenges and Opportunities for Wound Field Synchronous Generators in Future More Electric Aircraft. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 6(4), 1466-1477.
- Whyatt, G. A., & Chick, L. A., 2012. Electrical Generation for More-Electric Aircraft Using Solid Oxide Fuel Cells (No. PNNL-21382). Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States).
- Xu, Y., Zhang, Z., Bian, Z., & Yu, L. (2020). Dynamic performance improvement of doubly salient brushless DC generator system with controlled rectifier. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67(10), 8209-8218.

- Yanwu, X. U., Zhang, Z., Li, Y. U., & Yuke, S. H. I. (2019). Behavior and functional modeling methods of doubly salient electromagnetic generators for aircraft electrical power system applications. *Chinese Journal of Aeronautics*, 32(2), 477-488.
- Zhang, Z., Huang, J., Jiang, Y., Geng, W., & Xu, Y. (2017). Overview and analysis of PM starter/generator for aircraft electrical power systems. *CES Transactions on Electrical Machines and Systems*, 1(2), 117-131.
- Zhang, Z., Tao, Y., & Yan, Y. (2012). Investigation of a new topology of hybrid excitation doubly salient brushless DC generator. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 59(6), 2550-2556.
- Zhao, Y., Wang, H., Li, D., & Qian, R. (2018). Comparative research of a wound-field doubly salient generator with different rectifiers. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(11), 4851-4863.
- Zhang, J., Zhu, X., Zhang, Z., & Xia, Y. (2022). AC Loss Calculation and Analysis of Hollow Conductor for Doubly Salient Brushless DC Generator. *IEEE Transactions on Magnetics*, 58(8), 1-5.



## POLYESTER KUMAŞLARIN POLİANİLİN ESASLI ÇOK TABAKALI KAPLAMA İŞLEMİ İLE İLETKENLİK VE UV-KORUMA ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Şule Sultan UĞUR\*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Çok Tabakalı Kaplama,  
Polyester,  
Polianilin,  
UV-Koruma,  
Elektrik İletkenliği.

### Öz

Polianilin (PANI) çok tabakalı kaplama yöntemi ile kaplanması ile UV-koruma ve elektrik iletkenliği özelliklerine sahip multifonksiyonel polyester kumaşlar elde edilmiştir. 20, 30 ve 40 çok tabakalı filmlerin kaplandığı kumaşların SEM analizleri, hava geçirgenlikleri, kopma mukavemeti ve % uzama değerleri, UV-koruma değerleri ve iletkenlik değerleri ölçülerek, işlem görmemiş kumaş ile karşılaştırılmıştır. SEM görüntülerinden artan tabaka sayısı ile PANI yoğunluğunun arttığı ve homojen bir dağılım sağlandığı görülmüştür. Çok tabakalı kaplama işlemi ile kumaşların hava geçirgenliği değerlerinin azaldığı, ancak konfor düzeyini etkileyecek bir etkinin olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca 10 tekrarlı evsel yıkama işlemi yapılmış, yıkamanın UV-koruma ve iletkenlik ölçümleri üzerinde neredeyse hiçbir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, çalışmanın sonuçları polyester kumaşlara çok tabakalı kaplanan PANI'nin basit bir yaklaşımla yeterli derecede mekanik dayanıma sahip, yüksek UV-koruma ve elektrik iletkenliği performansları ile elde edilebileceğini doğrulamıştır. Çok tabakalı kaplama yöntemi ile su bazlı, ekstra yardımcı kimyasal madde kullanımı olmadan ve emdirme prensibine göre çevreci ve sürdürülebilir bir yöntemin multifonksiyonel tekstil ürünleri için kullanılabilirliği kanıtlanmıştır.

## IMPROVEMENT OF CONDUCTIVITY AND UV-PROTECTION PROPERTIES OF POLYESTER FABRICS THROUGH POLYANILINE-BASED LAYER-BY-LAYER DEPOSITION PROCESS

### Keywords

Layer-By-Layer Deposition,  
Polyester,  
Polyaniline,  
UV-Protection,  
Electrical Conductivity.

### Abstract

Multifunctional polyester fabrics with UV protection and electrical conductivity properties are obtained by coating polyaniline (PANI) with the Layer-by-Layer deposition method. SEM analysis, air permeability, tensile strength and % elongation values, UV-protection and conductivity values of the fabrics coated with 20, 30 and 40 multilayer films compared with the untreated fabric. It was seen from the SEM images that the PANI density increased with the increasing number of layers and a homogeneous distribution was achieved. It was determined that the air permeability values of the fabrics decreased with the multi-layer coating process, but there was no effect that would affect the comfort level. In addition, 10 repetitive domestic washings were performed and it was determined that washing had almost no effect on UV-protection and conductivity measurements. Therefore, the results of the study confirmed that multilayer coated polyester fabrics can be obtained with a simple approach with sufficient mechanical strength, high UV protection and electrical conductivity performances. With the Layer-by-Layer deposition method, it has been proven that an environmentally friendly and sustainable method can be used for multifunctional textile products according to the water-based impregnation principle, without the use of extra auxiliary chemicals.

### Alıntı / Cite

Uğur, Ş.S., (2023). Polyester Kumaşların Polianilin Esaslı Çok Tabakalı Kaplama İşlemi ile İletkenlik ve UV-Koruma Özelliklerinin Geliştirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 837-843.

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

Ş.S. Uğur, 0000-0002-6485-7172

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	05.01.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	19.01.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	25.01.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.06.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: [suleugur@sdu.edu.tr](mailto:suleugur@sdu.edu.tr), +90-246-211-1178

## IMPROVEMENT OF CONDUCTIVITY AND UV-PROTECTION PROPERTIES OF POLYESTER FABRICS THROUGH POLYANILINE-BASED LAYER-BY-LAYER DEPOSITION PROCESS

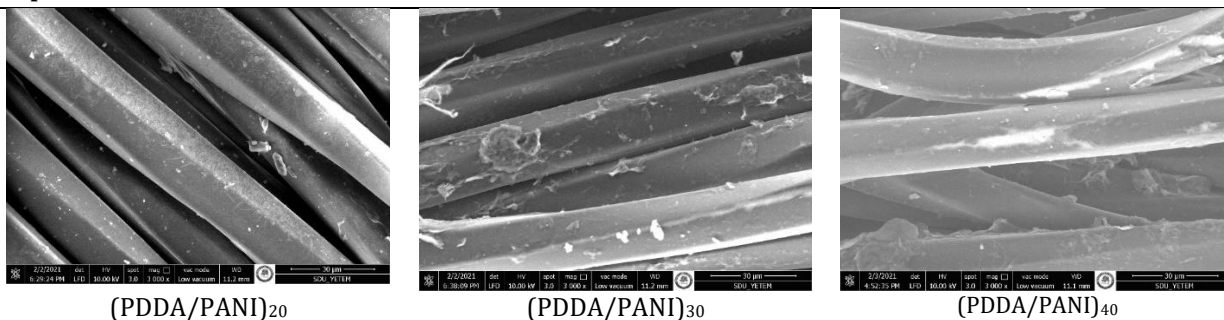
Şule Sultan Uğur†

Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Textile Engineering Department, Isparta, Türkiye.

### Highlights

- Polyaniline molecules were deposited on polyester fabric using a layer-by-layer technique.
- The multilayer polyaniline-based film-deposited fabrics have electrical and UV-protective properties.
- The formed polyester fabrics are durable against to washing and valid for repeated use.

### Graphical Abstract



Şekil./Figure. (PDDA/PANI)<sub>20</sub>, (PDDA/PANI)<sub>30</sub> ve (PDDA/PANI)<sub>40</sub> tabaka film kaplanan kumaşların SEM görüntüleri (SEM images of 20, 30 and 40 (PDDA/PANI) layers deposited fabrics)

### Purpose and Scope

Using the Layer-by-Layer deposition method, which is a nanofabrication method, aims to increase the conductivity and UV-protection properties of polyester fabrics to be resistant to washing.

### Design/methodology/approach

In the Layer-by-Layer coating process based on electrostatic attraction forces, 20, 30 and 40 film layers were deposited on polyester fabrics in water-based, room temperature and classical textile finishing machine padding machine.

### Findings

By nanocoating, the flexible and comfortable PANI-containing films with different layer numbers on polyester fabrics with good electrical conductivity and excellent UV-protection efficiency were obtained without any loss in strength values. In addition, repeated washing processes have proven the durability of functional properties.

### Research limitations/implications

It is thought that it will be effective to carry out studies with the addition of semiconductor metal oxides in multilayer structures containing PANI to obtain higher electrical conductivity values.

### Practical implications

Since the poor mechanical properties and processability of polymers, which limit the commercial availability of conductive polymers, limit the use of these polymers in textiles, different application methods continue to be investigated. The studies show that the polymer layer causes separation and abrasion due to the lack of bonding between the polymer layers and the carrier textile materials, and the functional properties obtained by washing processes decrease rapidly. For these reasons, the study has proven that permanent bonding can be achieved through the electrostatic attraction forces and the film layers and that functional properties that are resistant to washing can be obtained.

### Originality

With the nanocoating of PANI-containing films on polyester fabrics for the first time, fabrics with good electrical conductivity and excellent UV-protection efficiency were obtained without any loss in strength values.

† Corresponding author: [suleugur@sdu.edu.tr](mailto:suleugur@sdu.edu.tr), +90-246-211-1178

## 1. Giriş (Introduction)

İletken polimerler son yıllarda metallerin elektrik iletkenliği ve elektrokimyasal özelliklerine, polimerlerin mekanik gücüne ve kolay işlenebilirliğine sahip olmaları nedenleri ile özellikle giyilebilir tekstil ürünlerinde de çok fazla araştırmanın konusu olmaktadır. Shirakawa vd. 1977 yılında; poliasetilen filmlerinin, klor, brom ve iyot buharlarıyla reaksiyonu sonucu, poliasetilenin iletkenliğini bakırın iletkenliğine çok yakın bir değer olan  $1.43 \times 10^5$  S/cm'e çıkarmışlar ve 2000 yılında Kimya Nobel Ödülü'ne layık görülmüşlerdir (Naarmann ve Theophilou, 1987). Poliasetilen katkılı olduğu zaman çok yüksek iletkenlik değeri göstermesine rağmen, ortamdaki oksijen ve neme karşı dayanıklı olmadığından daha çok oksitlenmeye karşı kararlı olan halkalı yapıdaki anilin, pirol, tiyofen gibi iletken polimerler üzerine yapılan çalışmalar fazlaşmıştır.

Polianilin (PANI), elektriksel ve optik özellikleri nedenleriyle iletken polimerler arasında en çok ilgilenilen polimer olmuştur. Hem kimyasal hem de elektrokimyasal olarak kolaylıkla sentezlenebilmesi, düşük maliyetli olması, yüksek iletkenlik sağlaması, protonik asitler kullanılarak katkılanabilirliği ve oda sıcaklığında kimyasal olarak kararlı olması en önemli avantajlarıdır (Malmonge vd., 2006). Fakat PANI'nin çözülemez ve eriyikten işlenemez olması, düşük mekanik özellikleri ve düşük işlenebilirliği uygulamalarda çözülmesi gereken özellikleridir. PANI'nin konvansiyonel iletken olmayan polimerler ile kompozitlerinin oluşturulması veya farklı materyallerle (plastikler, cam, metal vb.) kaplanması ile mekanik özellikleri geliştirilebilmektedir. Ayrıca bu materyallerin iletkenlik özellikleri çoğunlukla kullanılan oksidasyon maddesinin tipine, dopant/katkı tipine, uygulanan işlem süresi ve işlem sıcaklığı gibi koşullara bağlı olarak değişebilmektedir (Liu vd., 2014; Ethalawany vd., 2020).

Zhao vd. (2011), PANI-ZnO nanokompozitleri polyester kumaşların yüzeyinde in-situ kimyasal oksidatif polimerizasyon yöntemi ile sentezleyerek iletken bir kumaş elde etmişlerdir. Saini vd. (2012)'da benzer bir yaklaşımla BaTiO<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> gibi nanopartikülleri PANI matrisine ekleyerek pamuklu kumaşların elektromanyetik kalkanlama özelliklerini iyileştirmişlerdir. Ayrıca PANI-ZnO, PANI-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, PANI-NiO ve PANI-MnO<sub>2</sub> gibi PANI/inorganik nanokompozitlerin hazırlanması ve multifonksiyonel özellikler kazandırılması amacı ile literatürde birçok çalışmada yayınlanmıştır (Malmonge vd., 2006; Shambharkar ve Umare, 2010; Shambharkar ve Umare, 2011; Kavas vd., 2013; Kharade vd., 2014). Yapılan çalışmalar incelendiğinde, kimyasal veya elektrokimyasal olarak sentezlenen iletken polimerlerin tekstil sektöründe ticari olarak kullanılabilirliklerini sınırlayan en büyük etkenlerin polimerlerin zayıf mekanik özellikleri ve işlenebilirlikleri olduğu görülmektedir. Esasında iletken olmayan tekstil materyallerinin üzerinde iletken polimerlerin in-situ polimerizasyonu kullanıldığında polimer ve tekstil materyali arasında etkin bir kimyasal bağlanma elde edilemediği, sonuçta bu durum tekstil materyalinden polimer tabakasının ayrılmasına veya aşınmasına neden olurken, yıkama işlemlerinde tekstiller hızlı bir şekilde iletkenlik kaybına maruz kalırlar. Yıkama işlemleri ve kullanım sırasında polimerlerin, elektrik iletkenliğinde negatif yönlü değişimlere neden olan dedoping veya oksidasyona maruz kalmaktadır (Hakansson vd., 2006; Onar vd., 2009).

Kendinden iletken polimerlerin esnek ve ekonomik multifonksiyonlu tekstil ürünleri elde etmek amacı ile uygulanmasında in-situ polimerizasyonun dışında genellikle klasik kaplama yöntemleri, emdirme-kurutma işlemi ve nanokaplama yöntemleri ile uygulanmaya çalışılmaktadır. Tekstil araştırmalarındaki gelişmeler ekoloji, ekonomi ve işlevsellik çatısı altında önem kazanmaktadır. Ancak yıkama dayanımı olan multifonksiyonel tekstil kumaşlarının kolay üretilebilirliği halen bütün polimer ve nanopartikül yapıları için bir sorun olarak devam etmektedir. Günümüzde sürdürülebilir ve çevre dostu üretim sistemleri multifonksiyonel tekstil ürünlerinin geliştirilmesinde birçok araştırmanın ana fikrini oluşturmaktadır. Çok tabakalı kaplama yöntemi, su bazlı olması, ekstra tekstil yardımcı kimyasalları gerektirmemesi, tekstil işletmelerinde kullanılan emdirme prensibine modifiye edilebilmesi nedeni ile çok pahalı alt yapı yatırım maliyetleri gerektirmemesi, oda sıcaklığında işlemlerin gerçekleştirilebilmesi gibi nedenlerle multifonksiyonel tekstil ürünlerinin geliştirilmesinde önemli bir yer kazanmıştır (Ugur vd., 2010).

Bu çalışmada polyester kumaşların iletkenlik ve UV-koruma etkinliklerinin yıkamaya dayanıklı olarak artırılması amacı ile bir nanofabrikasyon yöntemi olan Çok Tabakalı Kaplama yöntemi kullanılmıştır. Elektrostatik çekim kuvvetlerine dayanan kaplama işleminde polyester kumaşların üzerinde 20, 30 ve 40 film tabakası su esaslı, oda sıcaklığında ve klasik tekstil terbiyesi makinesi fulard makinesinde aktarılmıştır. Elde edilen çok tabakalı film kaplanan kumaşların SEM analizleri, hava geçirgenlikleri, kopma mukavemeti ve % uzama değerleri, UV-koruma değerleri ve iletkenlik değerleri ölçülerek, işlem görmemiş kumaş ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca 10 tekrarlı evsel yıkama işlemi sonucunda elde edilen etkilerin kalıcılığı UV-koruma ve iletkenlik ölçümleri ile değerlendirilmiştir.

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

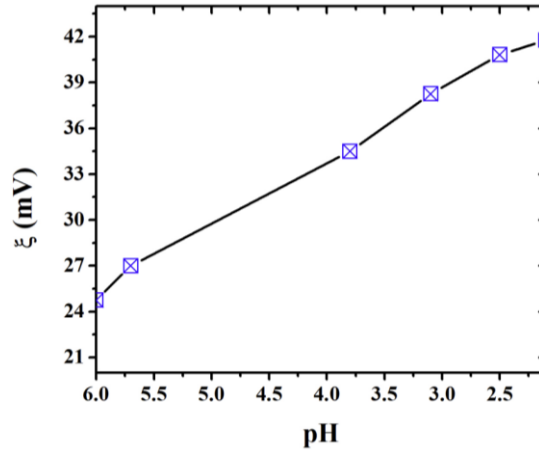
Çalışmada 162,0 g/m<sup>2</sup> gramajda, % 100 polyester bezayağı dokuma kumaş kullanılmıştır. Polianilin (PANI) (Emeraldine tuzu, Mw >15.000, 3-100 µm, toz, %99,9), Polietilenimin (PEI) (dallanmış, Mw 25.000) ve

Polidialildimetilamonyum Klorür (PDDA) ( $M_w$  200.000-350.000, % 20 H<sub>2</sub>O) Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir.

Çok tabakalı kaplama işlemi öncesi polyester kumaşların lif yüzeyinde iyonik yüklü gruplar elde edebilmek için ön işlemler 1 g/l, pH:10 PEI çözeltisi ile 10 dakika daldırma-çıkartma işlemi ile gerçekleştirilmiş, ardından kumaşlar 80° C'de fikse makinesinde kurutulmuştur.

Ön işlemler yüzeyinde ilk iyonik grupların oluşturulduğu polyester kumaşlara çok tabakalı kaplama yöntemi ile kaplama işlemlerinde Polidialildimetilamonyum Klorür (PDDA) katyonik polielektrolit olarak kullanılmıştır.

Çok tabakalı kaplama işlemi için gerekli olan PANI çözeltileri %0,1 konsantrasyonda, % 50 genlik 60 W gücündeki Sonics VibraCell marka Ultrasonik Homojenizatörde 1 saat süreyle çalışılarak, PDDA polielektrolit çözeltisi 3 g/l'tlik konsantrasyonda hazırlanmıştır. Katyonik PANI çözeltisi hazırlanabilmesi için Zeta potansiyel eğrisi incelenmiş ve çözelti pH'ı HCl ile 4 olarak ayarlanmıştır (Fuseini, 2020).



**Şekil 1.** PANI süspansiyonlarının zeta potansiyel eğrisi (Fuseini, 2020) (Zeta potential curve of PANI suspensions (Fuseini,2020))

Emdirme prensibine göre uygulanan çok tabakalı kaplama yöntemi için laboratuvar tipi yatay fulard makinesi kullanılmıştır. Polyester kumaşlar sırasıyla takip eden çözeltilerde applike edilmiştir: (a) PDDA, (b) saf su, (c) PANI, (d) saf su. Bu dört adım tamamlandığında kumaşların yüzeyinde 2 film tabakası elde edilmiş ve istenilen tabaka sayısına ulaşılan kadar bu döngüye devam edilmiştir. 20, 30 ve 40 tabaka film kaplanan polyester kumaşlar 80°C'de fikse makinesinde kurutulmuş, 105°C'de 5 dakika fikse edilmiştir.

Çok tabakalı film kaplanan polyester kumaşların hava geçirgenlik değerlerindeki değişimleri belirlemek için Textest Instruments FX 3300 Air Permeability Tester III cihazı kullanılmıştır. Çok tabakalı kaplama işlemleri sonrasında kumaşların yüzey morfolojilerinin FEI-Quanta marka yüksek çözünürlüklü görüntüleri taramalı elektron mikroskobu ile alınmıştır.

Kumaşların kaplama işlemi sonrası UV geçirgenlik değerleri Camspec M3550 UV/görünür Spektrofotometre (SDL/ATLAS) UV Geçirgenlik ve Koruma Ölçüm Sistemi ile alınmıştır. İşlem yapılmamış ve PANI/PDDA çok tabakalı film kaplanan polyester kumaşların UPF değerleri AS/NZS 4399:1996 Standardına göre ölçülmüştür.

Elektrik iletkenliği ölçümleri oda sıcaklığında, PCI-DAS6014 akım kaynağı, voltmetre ve sıcaklık kontrol cihazı ile standart bir dört-prob yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Birbirinden belirli uzaklıkta olan dört uç, iletkenliği ölçülecek olan kumaşların yüzeyine yerleştirilmiş ve akım uygulanmıştır. Uygulanan akım, iki nokta arasındaki örnek direnci ile orantılı olarak gerilim düşmesine neden olmuş ve içteki iki uç arasında gerilim farkı 'S/cm' türünden bulunmuştur.

Ayrıca PDDA/PANI film kaplanmış kumaşların UV koruma ve elektrik iletkenliği özelliklerinin kalıcılığının belirlenebilmesi için çok tabakalı kaplanan kumaşlar ev tipi yıkama makinesinde 10 tekrarlı 40 °C'de 30 d.'lık yıkama işlemlerinden geçirilmiş ve UV geçirgenlik ile elektrik iletkenlik testleri tekrarlanmıştır.

### 3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

20, 30 ve 40 tabakalı PDDA/PANI kaplanan polyester kumaşlara 10 tekrarlı hava geçirgenliği testi uygulanmış, ortalama değerler hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir. İşlem yapılmamış polyester kumaşın hava geçirgenliği değeri 232 l/m<sup>2</sup>/s olarak ölçülmüş ve kaplama işlemi sonucu elde edilen değerler ile yüzde fark hesaplanmıştır.

**Tablo 1.** Hava geçirgenliği test sonuçları (Air permeability test results)

Kumaş cinsi	Birim (l/m <sup>2</sup> /s)	% Değişim
İşlem görmemiş PES kumaş	232	-
(PDDA/PANI) <sub>20</sub>	217	6,47
(PDDA/PANI) <sub>30</sub>	214,7	7,46
(PDDA/PANI) <sub>40</sub>	212,9	8,23

Hava geçirgenliği testleri, yüzeyinde 20, 30 ve 40 tabakalı film kaplanan kumaşlarda hava geçirgenliği değerlerinin tabaka sayısı arttıkça daha fazla azaldığını göstermektedir. Test sonuçları çok tabakalı kaplama işlemi ile lif yüzeyinin kaplandığı ve geçirgenliğin azalmasıyla beraber lif yüzeyinde film tabakalarının elde edildiğini kanıtlamaktadır.

Çok tabakalı film kaplanan polyester kumaşların UPF (Ultraviolet Protection Factor) değerleri Avustralya/Yeni Zelanda Standardına (AS/NZS 4399:1996) göre ölçülmüştür. Tekstil materyallerinin UV-önleme etkinliğini değerlendirmede UPF değeri tekstil materyalinin UV-ışınlarına maruz kalma etkisindeki azalmayı gösteren bir değer olarak kullanılmaktadır. Standarda göre UPF değeri >40 olan kumaşların UV radyasyonuna karşı mükemmel koruma sağladığı kabul edilmekte ve AS/NZS 4399:1996 Standardına göre UPF değeri ile yapılan değerlendirme işlemine ait bilgiler Tablo 2'de verilmiştir (Tian vd., 2011; Louris vd., 2019).

**Tablo 2.** AS/NZS 4399:1996 Standardına göre UPF değerlendirmesi (UPF assessment according to AS/NZS 4399:1996 Standard)

UPF Değeri	Ortalama UVA	Değerlendirme
15-24	6,7-4,2	İyi
25-30	4,1-2,6	Oldukça iyi
> 40	< 2,5	Mükemmel

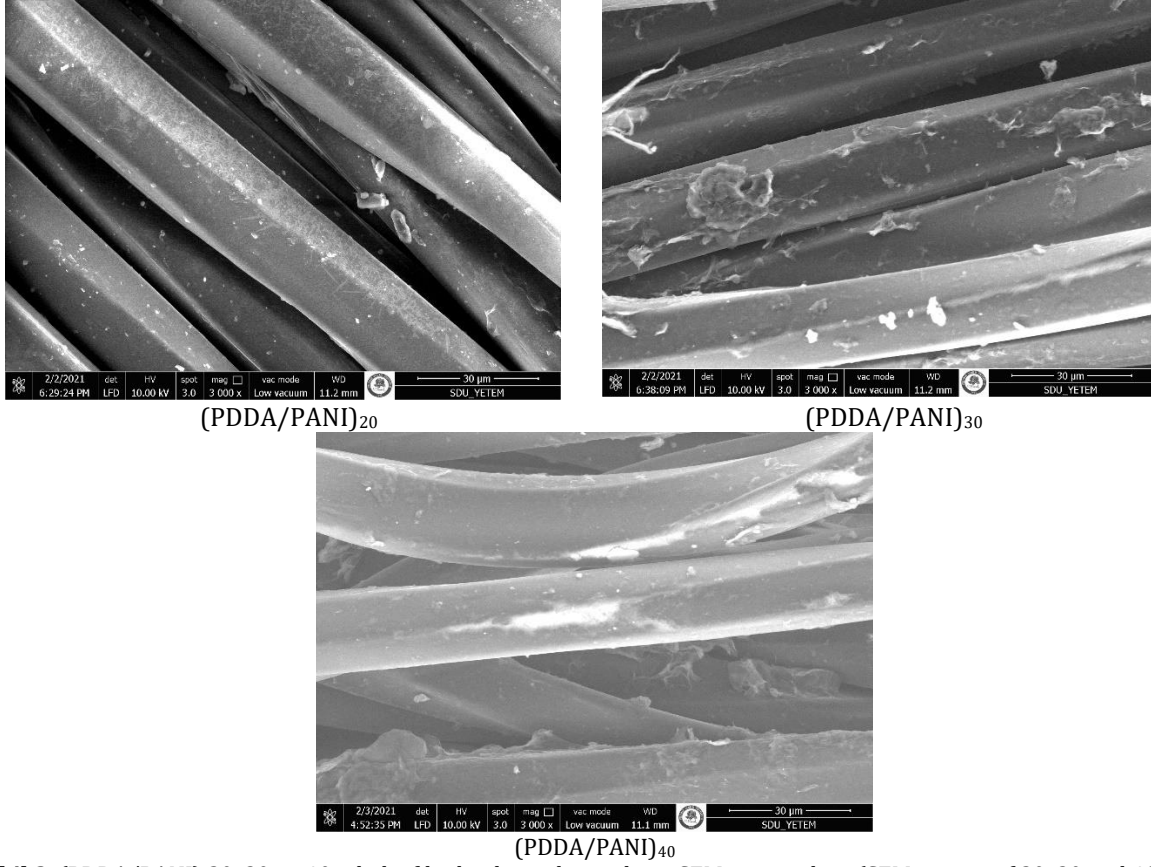
Çok tabakalı (PDDA/PANI) film kaplanan kumaşların ve 10 yıkama işlemi sonucundaki kumaşların işlem görmemiş kumaş ile birlikte UPF değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda bütün tabaka sayılarında 45 ve üzeri değerler elde edildiği, tekrarlı yıkama sonuçlarında da halen mükemmel UV-koruma etkinliğinin devam ettiği görülmektedir.

**Tablo 3.** Kaplama işlemi ve kaplanan numunelerin 10 yıkama işlemi sonucundaki UPF değerleri (UPF values after coating process and 10 washing processes of coated samples)

Numune Kodu	UPF	Ortalama UVA (315 to 400 nm) %	Ortalama UVB (290 to 315 nm) %	10 Yıkama sonrası UPF
İşlem görmemiş PES kumaş	10	9,7	4,2	-
(PDDA/PANI) <sub>20</sub>	45	0,0	0,0	40
(PDDA/PANI) <sub>30</sub>	50+	0,0	0,0	50
(PDDA/PANI) <sub>40</sub>	50+	0,0	0,0	50+

20, 30 ve 40 tabaka (PDDA/PANI) film kaplanan kumaşların SEM görüntüleri alınmış ve Şekil 2'de verilmiştir. Polyester liflerinin yüzeyinde PANI parçacıkları açık bir şekilde görünmekte ve tabaka sayısı arttıkça lif yüzeyinde biriken parçacıkların yoğunluğunun arttığı net olarak belirlenmiştir.





**Şekil 2.** (PDDA/PANI) 20, 30 ve 40 tabaka film kaplanan kumaşların SEM görüntüleri (SEM images of 20, 30 and 40 layer (PDDA/PANI) film deposited fabrics)

Çok tabakalı (PDDA/PANI) film kaplanan kumaşların kaplama sonrası ve 10 tekrarlı yıkama işlemi sonrası ve işlem görmemiş kumaşın dört-prob yöntemi kullanılarak iletkenlik değerleri ölçülmüş ve sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. İşlem görmemiş kumaştan iletkenlik değeri tespit edilememiş ve yalıtkan yapıda olduğu belirlenmiştir. PANI kaplanan kumaşların iletkenlik seviyelerinin  $10^{-3}$  S/cm seviyesine yükseldiği ve 10 tekrarlı yıkama işlemi sonucunda da bu değerlerin korunduğu, özellikle 30 ve 40 tabakalı kaplamalarda iletkenlik değerlerinin daha kalıcı olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 4.** Kaplama işlemi ve kaplanan numunelerin 10 yıkama işlemi sonucundaki iletkenlik değerleri (The conductivity values of the coating process and the coated samples as a result of 10 washing processes)

Numune Kodu	İletkenlik (S/cm)	10 Yıkama sonrası İletkenlik (S/cm)
İşlem görmemiş PES kumaş	-	-
(PDDA/PANI) <sub>20</sub>	$1,46 \times 10^{-3}$	$1,41 \times 10^{-3}$
(PDDA/PANI) <sub>30</sub>	$1,48 \times 10^{-3}$	$1,47 \times 10^{-3}$
(PDDA/PANI) <sub>40</sub>	$1,49 \times 10^{-3}$	$1,47 \times 10^{-3}$

Kaplama işlemi sonucunda polyester kumaşlardaki mukavemet özellikleri çözgü yönünde test edilmiş ve sonuçlar Tablo 5'de verilmiştir. Çözgü yönünde elde edilen kopma mukavemeti değerleri incelendiğinde, polimer yapısına PANI parçacıklarının eklenmesinin neden olduğu bağlanma etkisi ile polyester kumaşların yük taşıma kapasitelerinin artan tabaka sayısı ile beraber artarak iyileştiği görülmektedir. Kopma uzaması değerlerinde ise çok küçük miktarda azalma şeklinde değişim tespit edilmiştir.

**Tablo 5.** İşlem görmemiş ve kaplanan numunelerin kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri (Tensile strength and elongation values of untreated and coated samples)

Numune Kodu	Kopma Mukavemeti (kgf)	% Kopma Uzaması
İşlem görmemiş PES kumaş	107,24	21,73
(PDDA/PANI) <sub>20</sub>	109,43	20,99
(PDDA/PANI) <sub>30</sub>	111,14	20,97
(PDDA/PANI) <sub>40</sub>	111,97	20,83

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

Çok tabakalı kaplama yöntemi, çevreye duyarlı olması, ekstra tekstil yardımcı kimyasalları gerektirmemesi, emdirme prensibine modifiye edilebilmesi nedeni ile çok pahalı alt yapı yatırım maliyetleri gerektirmemesi, oda sıcaklığında işlemlerin gerçekleştirilebilmesi ve düşük atık yükü oluşturması nedenleri ile multifonksiyonel tekstil ürünlerinin geliştirilmesinde önemli bir yer kazanmıştır. Kendinden iletken polimerlerin esnek ve ekonomik multifonksiyonel tekstil ürünleri elde etmek amacı ile uygulanmasında nanofabrikasyon yöntemi olan çok tabakalı kaplama yöntemi ile çalışılmıştır. Kimyasal veya elektrokimyasal olarak sentezlenen iletken polimerlerin ticari olarak kullanılabilirliklerini sınırlayan polimerlerin zayıf mekanik özellikleri ve işlenebilirlikleri, bu polimerlerin tekstilde kullanımını sınırladığı için farklı uygulama yöntemleri araştırılmaya devam etmektedir. Yapılan çalışmalarda polimer tabakaları ile taşıyıcı tekstil materyalleri arasında bir bağlanma olmaması nedeni ile polimer tabakasının ayrılması ve aşınmasına neden olduğu ve özellikle yıkama işlemleri ile elde edilen fonksiyonel özelliklerin hızlıca azaldığı görülmüştür. Bu nedenlerle, elektrostatik çekim kuvvetleri ile film tabakalarının arasında kalıcı bağlanma sağlanabilen, yıkamaya dayanımlı fonksiyonel özelliklerin elde edilebileceği yapılan çalışmada kanıtlanmıştır. Esnek ve kullanım rahatlığı sağlayan PANI içeren farklı tabaka sayılarında filmlerin polyester kumaşlara nanokaplanması ile iyi derecede elektrik iletkenliği ve mükemmel seviyede UV-koruma etkinliğine sahip kumaşlar mukavemet değerlerinde bir kayıp olmadan elde edilmiştir. Ayrıca, tekrarlı yıkama işlemleri ile fonksiyonel özelliklerin kalıcılığı kanıtlanmıştır. Elektrik iletkenliğinin daha yüksek değerlerde elde edilebilmesi amacıyla sonraki çalışmalar da PANI içeren çok tabakalı yapılarda yarı-iletken metal oksitlerinde eklenmesi ile çalışmalar yapılmasının etkili olacağı düşünülmektedir.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

#### Kaynaklar (References)

- Ethalawany, N., El-Naggar, M.E., Elsayed, A., Wassel, A., El-Aref, A. T., Abd Elgaffar, M. A., 2020. Polyaniline/zinc/aluminum Nanocomposites for Multifunctional Smart Cotton Fabrics. *Materials Chemistry and Physics*, 249, 123210.
- Fuseini, M., El-Shazly, A. H., Elkady, M., 2020. Effects of Doping on Zeta Potential and pH of Polyaniline Colloidal Suspension, *Materials Science Forum*, 1008, 114-120.
- Hakansson, E., Amiet, A., Kaynak, A., 2006. Electromagnetic Shielding Properties of Polypyrolle/Polyester Composites in the 1-18 GHz Frequency Range, *Synthetic Metals*, 156, 14-15, 917-925.
- Kavas, H., Günay M., Baykal, A., Toprak, M. S., Sözeri, H., Aktaş, B., 2013. Negative Permittivity of Polyaniline-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanocomposite, *Journal of Organic and Organometallic Polymers and Materials*, 23, 306-314.
- Kharade, P. M., Chavan, S. G., Salunkhe, D. J., Joshi, P. B., Mane, S. M., Kulkarni, S. B., 2014. Synthesis and Characterization of PANI/MnO<sub>2</sub> bi-layered Electrode and Its Electrochemical Supercapacitor Properties, *Materials Research Bulletin*, 52, 37-41.
- Liu, P., Huang, Y., Zhang, X., 2014. Superparamagnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles On Graphene-Polyaniline: Synthesis, Characterization And Their Excellent Electromagnetic Absorption Properties, *Journal of Alloys and Compounds*, 596, 25-31.
- Louris, E., Sfiroera, E., Priniotakis, G., Makris, R., Siemos, H., Efthmiou, C., Assimakopoulos, M. N., 2019. Evaluating the Ultraviolet Protection Factor (UPF) of Various Knit Fabric Structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 459, 012051.
- Malmonge, L.F., Lopes, G.A., Langiano, S.C., Malmonge, J.A., Cordeiro, J.M.M., Mattoso, L.H.C., 2006. A New Route to Obtain PvdF/Pani Conducting Blends. *European Polymer Journal*, 42, 3108-3113.
- Naarmann, H., Theophilou, N., 1987. New Process for the Production of Metal-like, Stable Polyacetylene. *Synthetic Metals*, 22(1), 1-8.
- Onar, N., Akşit, A. C., Ebeoğlu, F., Birlik, I., Celik, E., Ozdemir, I., 2009. Structural, Electrical and Electromagnetic Properties of Cotton Fabrics Coated with Polyaniline and Polypyrolle, *Journal of Applied Polymer Science*, 114, 2003-2010.
- Saini, P., Choudhary, V., Vijayan, N., Kotnala, R. K., 2012. Improved Electromagnetic Interference Shielding Response of Poly(aniline) Coated Fabrics Containing Dielectric and Magnetic Nanoparticles, *Journal of Physical Chemistry C*, 116, 13403-13412.
- Shambharkar, B., Umare, S., 2010. Production and Characterization of Polyaniline/ Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanocomposite as a Cathode of Zn-polyaniline Battery, *Materials Science and Engineering B*, 175, 120-128.
- Shambharkar, B., Umare, S., 2011. Synthesis and Characterization of Polyaniline/NiO Nanocomposite, *Journal of Applied Polymer Science*, 122, 1905-1912.
- Shriakawa, H., Ikeda, S., 1971. Infrared Spectra of Pa. *Polymer Journal*, 2, 231.
- Tian, M., Hu, X., Qu, L., Du, M., Zhu, S., Sun, Y., Han, G., 2016. Ultraviolet Protection Cotton Fabric Achieved via Layer-by-Layer Self-Assembly of Graphene Oxide and Chitosan. *Applied Surface Science*, 377, 141-148.
- Ugur, Ş. S., Sarıışık, M., Aktaş, H., 2010. The Fabrication of Nanocomposite Thin Films with TiO<sub>2</sub> Nanoparticles by the Layer-by-Layer Deposition Method for Multifunctional Cotton Fabrics, *Nanotechnology*, 21, 325603.
- Zhao, Y. P., Cai, Z. S., Zhou, Z. Y., Fu, X. L., 2011. Fabrication of Conductive Network Formed by Polyaniline-ZnO Composite on Fabric Surfaces. *Thin Solid Films*, 519, 5887-5891.



## ELMA İŞLEME ATIKLARI KOMPOSTUNDAN SOLUCAN KOMPOSTU ÜRETİMİ

Kemal SÜLÜK<sup>1\*</sup>, İsmail TOSUN<sup>2</sup>, Kamil EKİNCİ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Muş, Türkiye

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>3</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Organik Atıklar, Elma Kompostu, Solucan Kompostu, Kimyasal Gübre, Kompost Kalitesi.</i>	Solucan kompostlama işlemi, hayvansal ve bitkisel kaynaklı atıkların geri dönüşümü için uygulanan çevre dostu bir yöntemdir. Bu çalışmada elma işleme atıklarından elde edilen kompost karışımları solucanlara besi maddesi olarak verilmiştir. Çalışma deseninde yer alan 5 farklı solucan kompost (SK) karışımının her birine 500 adet yetişkin <i>Eisenia foetida</i> türü solucan bırakılmış, proses boyunca yetişkin solucan sayıları artmış ve proses sonunda SK1'den SK5'e doğru sırasıyla 1134, 1311, 2712, 1038 ve 1151 sayılarına ulaşılmıştır. SK3 karışımında aynı zamanda en fazla solucan sayısı artışı görülmüştür. Çalışma sonunda solucan kompost karışımlarında yapılan analizlerde karışımların su muhtevası değerleri %55,12-58,94, organik madde değerleri %65,26-68,11, pH değerleri 7,79-8,07, elektriksel iletkenlik değerleri 0,61-1,05 dS m <sup>-1</sup> , NH <sub>4</sub> -N değerleri 227-1071 mg kg <sup>-1</sup> , NO <sub>3</sub> -N değerleri 578-2358 mg kg <sup>-1</sup> ve Fosfor değerleri %0,75-1,36 aralığında tespit edilmiştir. Solucan kompost karışımlarında en fazla ayrışma SK3 karışımında meydana gelmiş, karışımın kütlelerinin %23,67 ve hacminin ise %46,27 azaldığı görülmüştür. Çimlenme indeksine göre tüm solucan kompostlarının olgunlaşmış ve fitotoksik özellik içermeyen kompost olduğu görülmektedir.

## VERMICOMPOST PRODUCTION FROM APPLE PROCESSING WASTE COMPOST

Keywords	Abstract
<i>Organic Wastes, Apple Compost, Vermicompost, Chemical Fertilizer, Compost Quality.</i>	Vermicomposting is an environmentally friendly method applied for the recycling of animal and vegetable wastes. In this study, compost mixtures obtained from apple processing wastes were given to worms as a nutrient. 500 adult worms of <i>Eisenia foetida</i> species were left in each of the 5 different vermicompost (VC) mixtures in the study design, the number of adult worms increased throughout the process and at the end of the process, the numbers of 1134, 1311, 2712, 1038 and 1151 were reached from VC1 to VC5, respectively. The highest worm proliferation was also determined in the VC3 mixture. At the end of the study, the water content values of my mixtures were 55.12-58.94%, organic matter values were 65.26-68.11%, pH values were 7.79-8.07, electrical conductivity values were 0.61 -1.05 ds m <sup>-1</sup> , NH <sub>4</sub> -N values were found in the range of 227-1071 mg kg <sup>-1</sup> , NO <sub>3</sub> -N values in the range of 578-2358 mg kg <sup>-1</sup> and phosphorus values in the range of 0.75-1.36%. In the vermicompost mixtures, the highest decomposition occurred in the VC3 mixture, with a mass reduction of 23.67% and a volume reduction of 46.27% in this mixture. According to the germination index, all worm composts appear to be mature and phytotoxic-free compost.

### Alıntı / Cite

Sülük, K., Tosun, İ., Ekinci, K., (2023). Elma İşleme Atıkları Kompostundan Solucan Kompostu Üretimi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 844-856.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
K. Sülük, 0000-0003-1853-8872	Başvuru Tarihi / Submission Date
İ. Tosun, 0000-0003-4296-9883	03.12.2022
K. Ekinci 0000-0002-7083-5199	Revizyon Tarihi / Revision Date
	24.01.2023
	Kabul Tarihi / Accepted Date
	08.01.2023
	Yayın Tarihi / Published Date
	28.06.2023

\*İlgili yazar / Corresponding author: kemalsuluk@gmail.com, 0436-249-1964

## VERMICOMPOST PRODUCTION FROM APPLE PROCESSING WASTE COMPOST

Kemal SÜLÜK<sup>1†</sup>, İsmail TOSUN<sup>2</sup>, Kamil EKİNCİ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Muş Alparslan University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Food Engineering, Muş, Turkey

<sup>2</sup>Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Isparta, Turkey

<sup>3</sup>Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Sciences and Technologies, Isparta, Turkey

---

### Highlights

- Apple compost is the ideal substrate for vermicomposting.
  - All vermicompost mixtures are non-phytotoxic and mature.
  - Worm counting determines the substrate efficiency.
- 

### Purpose and Scope

In this study, use apple processing waste compost was used as a substrate in the vermicomposting process. One of the most important parameters in the production of vermicompost is the nutrient given to the worms and plays an important role in the production process on quality, maturity and worm reproduction.

### Design/methodology/approach

Within the study, previously produced as a substrate to be given to the worms; 5 different apple composts consisting of apple processing wastes (APW), cattle manure (CM), poultry manure (PM) and straw (S) were used. In the study, five different apple composts (water content: 80%) were placed in five perforated blue state vegetable boxes (49.5×34.0×25.5 cm). In addition, the inner surface of the case was covered with fabric screen with a small pore diameter so that the worms do not escape from the boxes. After placing 500 adult Red California worms (*Eisenia foetida*) in each box, vermicomposting was followed for 90 days. Germination index analysis was made to determine the phytotoxic properties of the vermicompost produced. In addition, at the end of the study, young and adult worm counts in each case were made one by one. During the 90-day process, the ambient temperature, humidity and temperature of the vermicompost in the boxes were measured regularly.

### Findings

Temperature is the one of the most important parameters affecting the operation of worms in the vermicomposting process. During the 90-day process, temperature changes in all mixtures were between 20±1 °C. This temperature value was in the ideal operating temperature range for worms. Vermicompost mixtures started with 80% water content and at the end of the study, water content levels were found to be between 55.12-58.94%. Organic matter values decreased at the end of the process and were measured in the range of 65.26-68.11%. While the most important maturity parameter, C/N, was between 12.4-15.9 at the beginning of the process, it was between 11.9-12.8 at the end of the process. The final pH values of the vermicomposts were in the ideal range between 7.79 and 8.07 and electrical conductivity values were 0.61 -1.05 ds m<sup>-1</sup>, NH<sub>4</sub>-N values were found in the range of 227-1071 mg kg<sup>-1</sup>, NO<sub>3</sub>-N values in the range of 578-2358 mg kg<sup>-1</sup> and phosphorus values in the range of 0.75-1.36%. At the end of the process, according to the worm counts (young+adult) made in the vermicompost mixtures, it was determined that there were 2260, 2464, 3900, 1882 and 2253, respectively. Accordingly, it was observed that the highest worm proliferation was in the third box. However, considering the mass and volume reductions in the boxes, the highest mass loss (23.67%) and volume loss (46.27%) also occurred in the third box. According to the results of the germination index (GI) made to determine whether the vermicompost mixtures contain phytotoxic properties, the GI values of all the mixtures were determined to be above 50% at four different dilution ratios and it was determined that it was non-phytotoxic vermicompost. When the vermicompost mixtures were evaluated in terms of quality, it was seen that they were in appropriate with the legislation in terms of organic matter, total nitrogen and C/N parameters in terms of legal regulations in our country. In conclusion; it was seen that the third mixture from five different vermicomposts produced was the most ideal mixture with parameters such as worm increase, mass and volume changes.

### Originality

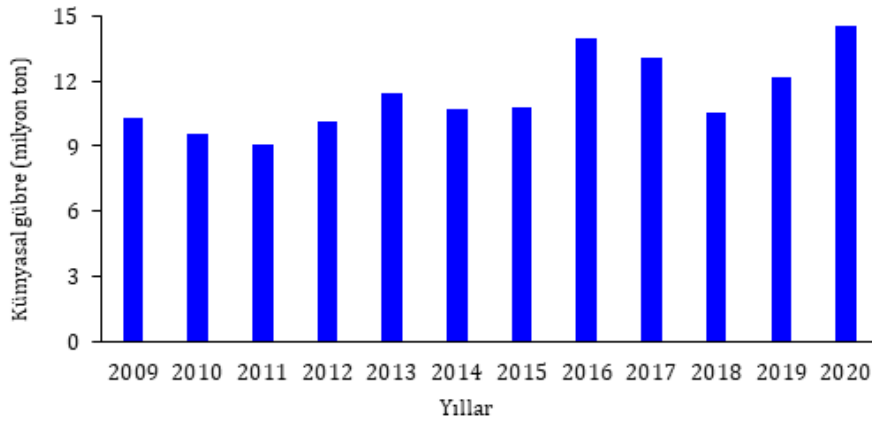
In studies on vermicomposting, evaluations are generally made on a single nutrient and mixture. In this study, physico-chemical analyses, worm counts and germination indices of five different vermicompost mixtures prepared with five different nutrients were analysed. In particular, the worm counting process played a key role in clarifying the result of the study. However, the absence of a vermicomposting study made with apple compost is another parameter that highlights the study.

---

† Corresponding author: kemalsuluk@gmail.com, 0436 249 1964

## 1. Giriş (Introduction)

Ülkemiz yoğun tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirildiği ve çok çeşitli türlerde meyve, sebze ve tahıl üretiminin yapıldığı ülkelerin başında gelmektedir. Artan nüfus ile birlikte orantılı olarak insani gıda tüketimi de artmakta ve çiftçiler buna cevap vermek ve kısa sürede ürün almak için aşırı ve bilinçsiz kimyasal gübreler kullanmaktadırlar. Kimyasal gübre kullanımı sonucunda uzun vadede bazı çevre sorunları meydana gelmekte olup toprakta, havada ve su ekosisteminde kirlilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle amonyum nitrat, üre ve amonyum sülfat gibi azotlu gübrelerin kullanımı; amonyak buharlaşması (Polat, 2020) sebebiyle sera gazı emisyonları oluşturarak hava kirliliğine, sızıntı suyu oluşumu ile yeraltı su kaynaklarının kirlenmesine (Şahin, 2016), toprakta tuzluluğun artmasına, ağır metal birikimine, pH değerinin düşmesine, besin elementlerinin toprak içinde dengesiz dağılmasına ve topraktaki mikroorganizmaların olumsuz etkilenerek etkin faaliyet gösterememesine neden olmaktadır (Söyler, 2020). TÜİK (2021) verilerine göre, 2009-2020 yılları arasında kimyasal gübre kullanımı %41,1'lik bir artış göstererek 10,27 milyon tondan 14,50 milyon tona yükselmiştir (Şekil 1). Bilinçsizce ve sürekli artan miktarlarda kullanılan kimyasal gübreler toprağa zarar vermenin yanında girdi maliyetlerinden kaynaklı üretim maliyetlerini artırmaktadır.



Şekil 1. Yıllara göre kimyasal gübre kullanım miktarları (Chemical fertilizer usage amounts by years)

Her geçen gün artarak devam eden hayvansal ve bitkisel üretim miktarları ile birlikte üretilen atık miktarları da artış göstermekte ve ciddi problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bitkisel ve hayvansal kaynaklı atıklar uygun stratejilerle yönetilmediği zaman, sızıntı suyu oluşumu ile yüzeysel ve yeraltı suyu kirliliği, hava kirliliği, koku ve görüntü kirliliği oluşturmakta olup çevre ve insan sağlığına zarar verecek tehlikeli sonuçlara yol açmaktadır. Bu atıkların bertarafında kullanılan etkili yöntemlerin başında kompostlaştırma işlemi gelmektedir. Kompostlaştırma işlemi, bitkisel ve hayvansal kaynaklı atıkların aerobik koşullarda mikroorganizmalar yardımıyla faydalı ürünlere dönüştüğü biyolojik bir süreçtir (Toledo vd., 2018). Solucan kompostlama işlemi ise, normal kompostlama işleminden farklı olarak organik atıkların solucanlar yardımıyla ayrıştırılması ile zengin besin ve mineral içeriğine sahip kaliteli bir toprak düzenleyici olarak tanımlanmaktadır (Doube ve Brown, 1998). Solucan kompostlama işleminde yaygın olarak *Eisenia foetida* türü solucanlar kullanılmakta olup, hayvansal ve bitkisel atıkları ayrıştırma, çevresel koşullara hızlı ve uzun süreli adapte olma ve hızlı çoğalma özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir (Sharma ve Garg, 2018).

Solucan gübresi bünyesinde barındırdığı bakteriler sayesinde topraktaki zararlı bakterileri inhibe ederek toprak ve bitki direncini artırmaktadır. Genellikle nötr pH seviyesinde olan solucan gübresi toprağın pH'sını da düzenleyerek toprak yapısının iyileşmesine, mikroorganizmalar için yaşanabilir bir ortamın oluşmasına ve toprağın su tutma kapasitesinin artmasına katkı sağlayarak toprak üzerinde uzun vadeli olumlu etkiler oluşturmaktadır (Demir, 2010). Solucan gübresinin düzenli olarak kullanımı kimyasal gübre kullanımının zamanla azalmasına katkı sağlayacak ve kimyasal gübrelerin zarar verdiği toprak fiziksel ve biyolojik özelliklerinin düzelmesi sağlanabilecektir.

Bu çalışmada, elma işleme atıklarının farklı bitkisel ve hayvansal atıklar ile kompostlaştırılmasından sonra elde edilen ürünün solucan kompostlama çalışmasında besi maddesi olarak kullanılması gerçekleştirilmiştir. Solucan kompostlama işleminde fiziksel ve kimyasal analizler yapılarak solucan kompost kalitesi ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Elma kompostunun besi maddesi olarak kullanıldığı bu çalışmada solucanlar için en ideal elma kompostu karışımı belirlenmeye çalışılmıştır.

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

### 2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada, materyal olarak daha önceden üretilen elma işleme atıkları (EİA), tavuk gübresi (TG), sığır gübresi (SG) ve saman materyallerinden oluşan beş farklı elma kompostu (K1, K2, K3, K4 ve K5) kullanılmıştır (Sülük, 2022). Solucan kompostlama işleminde besi maddesi olarak kullanılan materyaller SK1, SK2, SK3, SK4 ve SK5 olarak isimlendirilmiştir (Örnek: K1→SK1). Solucan kompostlamada kullanılan elma kompostlarının SM, OM, pH, EC, C/N, TP, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

### 2.2. Solucan Kompostlama Metodu (Vermicomposting Method)

Solucan kompostlama işleminde Kırmızı Kaliforniya solucanı olarak bilinen *Eisenia Foetida* türü (Şekil 2) solucan kullanılmış olup Isparta’nın Sav beldesinde ticari faaliyet gösteren “Yeşil Vadi Kırmızı Solucan Çiftliği’nden” temin edilmiştir. Solucan kompostlama işlemi Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Katı Atık Laboratuvarında 90 gün süreyle takip edilmiştir. Solucan kompostlama işlemi 49,5×34,0×25,5 cm ölçülerinde 5 adet delikli mavi hal sebze kasasında (SK1, SK2, SK3, SK4 ve SK5) gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Çalışmada her kasaya su muhtevası %80 olan olgun kompostlar doldurulmuş, kompostların üzerine 500’er adet yetişkin solucan bırakılmıştır. Ayrıca kasaların içerisine kompostların dökülmemesi ve solucanların çıkmaması için kasaların içerisine 1,5m x 1,5m boyutlarında ve 1,6 mm gözenekli sineklik tülü yerleştirilmiştir. Gece boyunca solucanlara ısı takviyesi için, analog zaman ayarlı priz yardımıyla 20.00-07.00 saatleri arasında aydınlatma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Deneme süresince sızıntı suyu oluşmayacak şekilde haftalık olarak yüzeyden nemlendirme işlemi yapılmıştır.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan Kırmızı Kaliforniya solucanları Red California worms used in the study)



(Dara : 2 kg , İç ölçüler: 495x340x255 mm, Dış ölçüler: 525x368x320 mm)

Şekil 3. Solucan kompostlama işleminde kullanılan delikli plastik kasalar Perforated plastic boxes used in the vermicomposting process)



Şekil 4. Solucan kompostlama kasaları ve aydınlatma düzeneği (Vermicomposting boxes and lighting assembly)

### 2.3. Fiziksel ve Kimyasal Analizler (Physical and Chemical Analysis)

Solucan kompostlama işlemi kapsamında proses başlangıcında besi maddelerinin (kompostların) ve sonrasında solucan kompostlarının su muhtevası (SM), organik madde (OM), pH ve iletkenlik, karbon/azot oranı (C/N), toplam fosfor, amonyum azotu (NH<sub>4</sub>-N) ve nitrat azotu (NO<sub>3</sub>-N) analizleri iki tekerrürlü olarak yapılmıştır. Ayrıca çalışma sonunda büyüklükleri göz önüne alınarak her kasadaki genç ve yetişkin solucanların sayımı yapılmıştır.

SM analizleri, örneklerin 65 °C'de 3 gün süreyle kurutulması öncesi ve sonrasındaki tartımlar esas alınarak hesaplanmıştır. OM analizleri kuru örneklerin 550 °C'de 4 saat süreyle yakılması öncesi ve sonrasındaki tartımlar esas alınarak hesaplanmıştır. Yaş örnekler saf su ile 1:10 oranında seyreltilerek 180 rpm'de 20 dk çalkalanmış ve probalar ile pH ve EC ölçümleri yapılmıştır (USCC, 2002). Toplam C ve N analizleri Elementar Vario MACRO CN analizörü ile gravimetrik olarak belirlenmiştir. Toplam Fosfor analizinde kalay klorür metodu kullanılmış ve HACH DR 6000 spektrofotometrede 690 nm dalga boyunda tayin edilmiştir (APHA, 1998). NH<sub>4</sub>-N analizi Nessler metoduna göre ve NO<sub>3</sub>-N analizi de nitrat kiti kullanılarak spektrofotometre yardımıyla belirlenmiştir (Sülük, 2016; Şevik, 2018). Çimlenme indeksi analizi Zucconi vd., (1981) kullandıkları yöntem esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

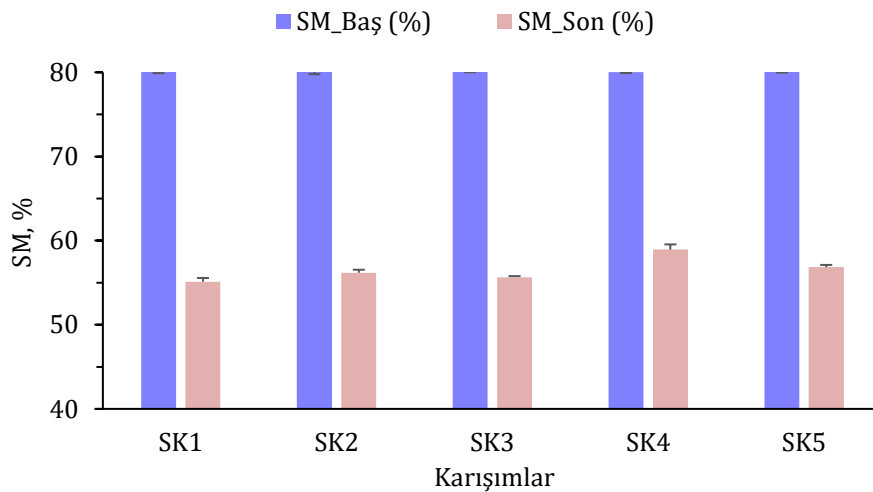
### 3. Deneysel Çalışmalar (Experimental Studies)

#### 3.1. Sıcaklık Değişimleri (Temperature Changes)

Solucan kompostlama işleminde bakterilerin ve solucanların faaliyetleri için sıcaklık önemli bir parametredir. Sıcaklık ölçümleri proses boyunca yığın ortasından günlük olarak aynı saatte metal uçlu dijital termometre ile yapılmıştır. Bütün karışımların sıcaklık değişimleri 20±1 °C arasında değişiklik göstermiştir. Ayrıca solucan kompostlamanın yapıldığı laboratuvaradaki iç ortam sıcaklığı kontrollü olarak 25±2 °C aralığında seyretmiştir. *Eisenia foetida* türü solucanlar yüksek adaptasyon yeteneğine sahip olmakla birlikte 7-8 °C aralığında düşük ve 15-25 °C aralığında yüksek performans göstermektedir (Abacıoğlu vd., 2020).

#### 3.2. Su Muhtevası (Water Content)

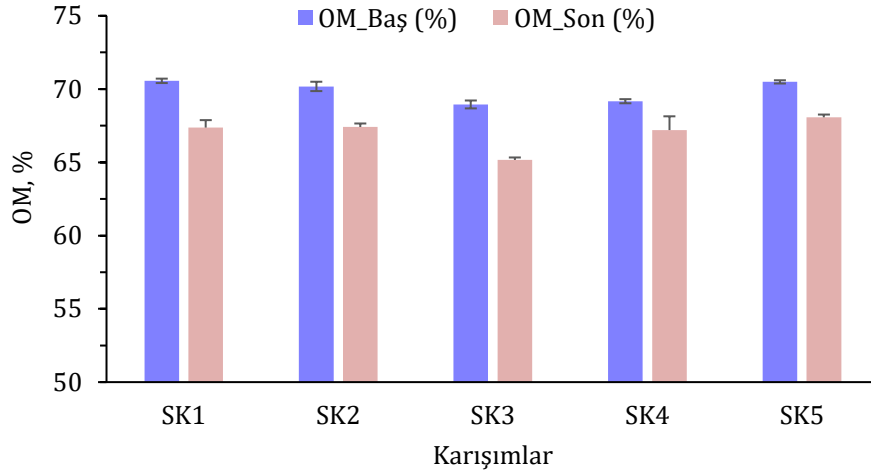
Solucanların optimum düzeyde besin ortamı için ortalama %65-75 oranında neme ihtiyaç duyarlar (Rostami vd., 2010). Kırmızı Kaliforniya solucanları bu su seviyelerinde aktif gelişim gösterdikleri için solucan kompostlama için hazırlanan besi maddelerinin başlangıç su muhtevası %80 olacak şekilde nemlendirilmiştir. Haftalık aralıklarla yüzeyden su ilavesi yapılarak ortamın nemli kalması sağlanmıştır. Proses bitimine 2 hafta kala sulama işlemine son verilmiştir. Proses sonrasında karışımların su muhtevası seviyeleri %55,12-58,94 aralığında gerçekleşmiştir (Şekil 5, Tablo 1). Silva vd. (2021) solucan kompostlama çalışmasında başlangıç SM değerini %75'e ayarlamışlar ve ortamı bu oranda tutabilmek için spreyleme yöntemi ile haftalık 2 l su ilave yapmışlardır.



Şekil 5. SK karışımlarının SM değişimleri (WC changes of VC mixtures)

### 3.3. Organik Madde (Organic Matter)

Organik madde değerleri proses başlangıcında %68,90-70,50 aralığında iken, proses boyunca azalarak %65,26-68,11 seviyesine kadar düşmüştür (Şekil 6, Tablo 1). Bu düşüş solucan kompostlama sırasında CO<sub>2</sub> formundaki karbon salınımlarından kaynaklanmaktadır. Silva vd. (2021) 120 gün süren solucan kompostlama çalışmasında yaklaşık %30'luk bir OM azalması olduğunu ifade etmişlerdir. Solucan kompostunda OM azalması, karışım içerisindeki biyolojik dönüşümün devam ettiğinin bir kanıtı olup, toprak kalitesi ve verimliliğini artıran olgun bir materyal olmasını sağlamaktadır (Pellejero vd., 2017; Chander vd., 2018; Rajkhowa vd., 2019).



Şekil 6. SK karışımlarının OM değişimleri (OM changes of VC mixtures)

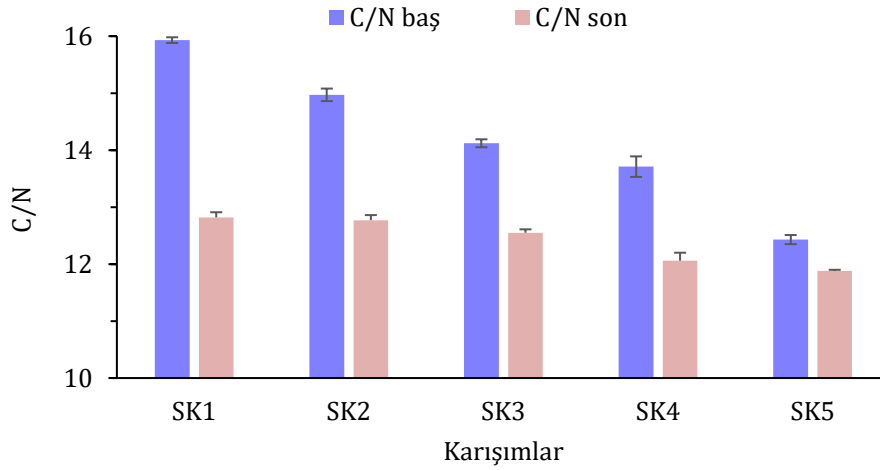


**Tablo 1.** Solucan kompostu karışımlarının fiziko-kimyasal özellikleri (Physico-chemical properties of vermicompost mixtures)

Parametre	SK1_baş	SK1_son	SK2_baş	SK2_son	SK3_baş	SK3_son	SK4_baş	SK4_son	SK5_baş	SK5_son
SM (%)	80,11±0,25	55,12±0,44	80,13±0,31	56,25±0,36	80,10±0,09	55,73±0,13	80,00±0,12	58,94±0,62	80,16±0,17	56,90±0,27
OM (%)	70,52±0,15	67,34±0,51	70,17±0,32	67,44±0,24	68,90±0,27	65,26±0,17	69,23±0,14	67,22±0,94	70,50±0,11	68,11±0,19
pH	8,56±0,09	8,07±0,10	8,37±0,16	8,22±0,19	8,23±0,12	8,03±0,14	8,19±0,31	7,88±0,12	8,05±0,05	7,79±0,21
EC (dS m <sup>-1</sup> )	2,19±0,13	1,05±0,22	1,76±0,08	0,94±0,28	1,33±0,15	0,87±0,18	1,12±0,12	0,76±0,13	0,87±0,17	0,61±0,11
C/N	15,93±0,05	12,82±0,09	14,97±0,11	12,77±0,09	14,12±0,07	12,55±0,06	13,71±0,18	12,06±0,14	12,43±0,08	11,88±0,02
TP (%)	0,61±0,08	0,75±0,17	0,80±0,10	0,99±0,14	0,92±0,05	1,11±0,13	1,05±0,09	1,19±0,09	1,30±0,12	1,36±0,11
NH <sub>4</sub> -N (mg kg <sup>-1</sup> )	301±12	227±25	598±17	419±19	875±22	751±21	1027±38	916±16	1238±15	1071±11
NO <sub>3</sub> -N (mg kg <sup>-1</sup> )	1941±35	2358±28	1065±46	1830±35	612±27	926±31	535±34	777±19	301±39	578±22
Yetişkin solucan	500	1134	500	1311	500	2712	500	1038	500	1151
Genç solucan	-	1126	-	1153	-	1188	-	844	-	1102
Yumurta	-	27	-	35	-	44	-	40	-	23
Kütle azalması (%)	18,82		20,31		23,67		15,23		16,68	
Hacim azalması (%)	40,39		41,57		46,27		41,18		42,35	

### 3.4. C/N Oranı (Carbon/Nitrogen Ratio)

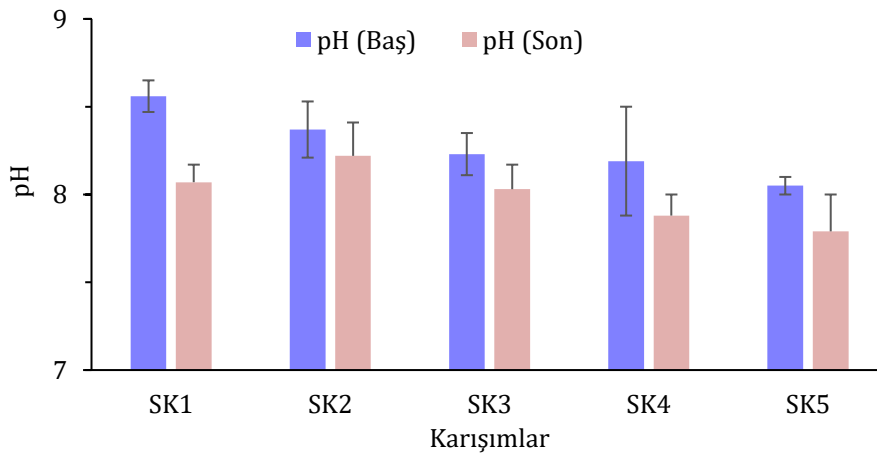
Kompost olgunluğunun bir göstergesi olan C/N oranı, bu çalışmanın başlangıcında besi maddesi karışımlarının C/N oranı 12,4-15,9 aralığında iken, proses sonunda solucan kompostlarının C/N oranı 11,9-12,8 aralığında gerçekleşmiştir (Şekil 7, Tablo 1). C/N oranındaki düşüş; mikroorganizmaların azot fiksasyonu ve solucanların serbest bıraktığı azot bileşikler yoluyla azot içeriğinin artması, mikroorganizmalar ve solucanların besi maddesi olarak karbonu kullandıklarından dolayı karbon içeriğinin azalmasından kaynaklanmaktadır (Vig vd., 2011; Wong vd., 2012). Sharma vd., (2021) yaptıkları kompostlama çalışmasında, başlangıç C/N oranı 22-26 aralığında iken, 45 günlük solucan kompostlaması sonunda 15-12 aralığına düştüğünü belirlemişlerdir. Aynı şekilde çiçek atıkları, tekstil çamuru atıkları, gıda endüstrisi atıkları ve arıtma çamuru ile yapılan solucan kompostlama çalışmalarında da C/N oranında benzer düşüşler gözlenmiştir (Su vd., 2015; Negi ve Suthar, 2018; Yadav ve Garg, 2019).



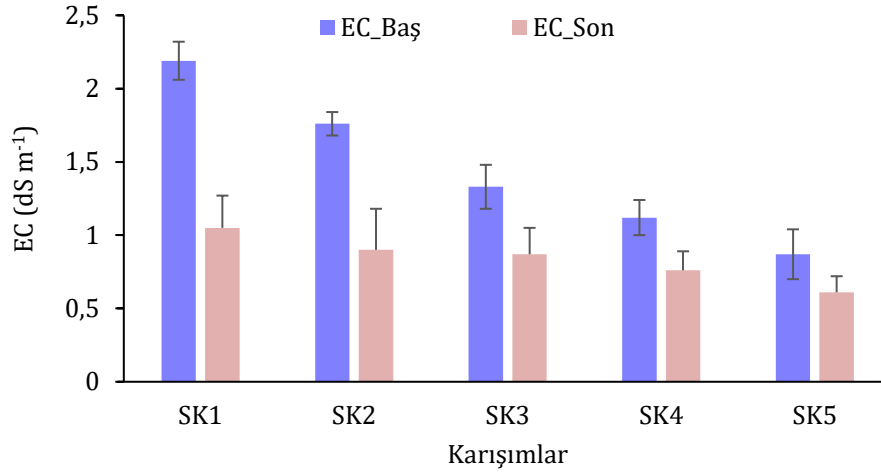
Şekil 7. SK karışımlarının C/N oranı değişimleri (C/N changes of VC mixtures)

### 3.5. pH ve Elektriksel İletkenlik (pH and Electrical Conductivity)

Solucan kompostlama işleminde solucanların faaliyetlerini devam ettirebilmesi için kontrol edilmesi gereken önemli parametrelerden biri pH (Sharma vd., 2021) olup, solucanlara verilen besi maddesinin pH'sı 5-9 aralığında olması gerekmektedir (Abacıoğlu vd., 2020). Çalışmada başlangıç pH değerleri 8,05-8,56 aralığında iken, proses sonunda düşerek 7,79-8,07 aralığında gerçekleşmiştir (Şekil 8, Tablo 1). pH düşüşü genellikle organik moleküllerin karboksilik, aromatik ve alifatik asitlere biyolojik olarak dönüşmesinin yanında CO<sub>2</sub> üretimi ve NO<sub>3</sub>/NO<sub>2</sub> yapısındaki azotun mineralizasyonu ile ilgili olduğu görülmüştür (Ndegwa vd., 2000; Ndegwa ve Thompson, 2000). Elektriksel iletkenlik değerleri çalışmanın başlangıcında 0,87-2,19 dS m<sup>-1</sup> aralığında iken, proses sonunda düşerek 0,61-1,05 dS m<sup>-1</sup> aralığında gerçekleşmiştir (Şekil 9, Tablo 1). Bu düşüş, karışımların belirli aralıklarla sürekli nemlendirilmesi sonucu fazla gelen suyun yıkama etkisinden kaynaklanmaktadır.



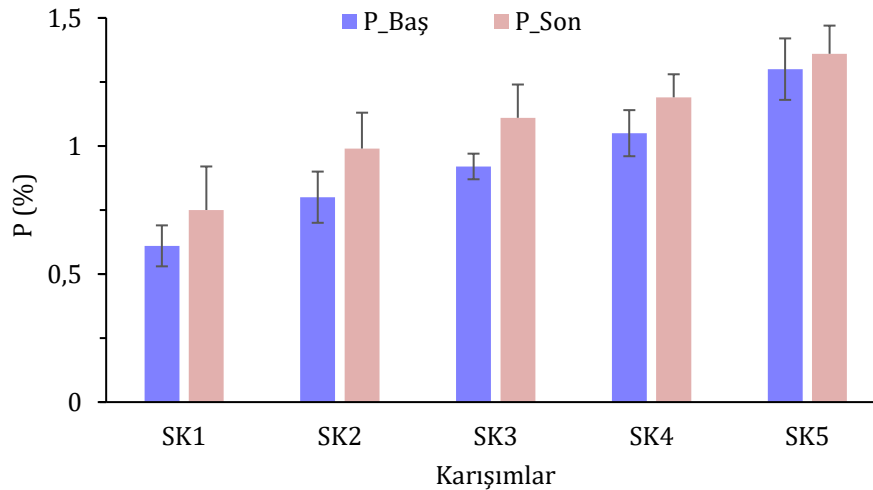
Şekil 8. SK karışımlarının pH değişimleri (pH changes of VC mixtures)



Şekil 9. SK karışımlarının EC değişimleri (EC changes of VC mixtures)

### 3.6. Toplam Fosfor (Total Phosphorus)

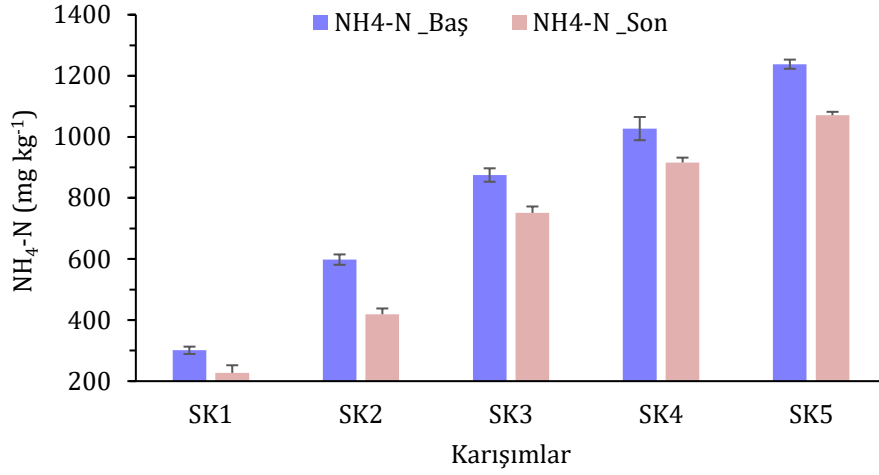
Fosfor, bitki hücre yapısının ve metabolizmasının gelişmesinde önemli etkidir (Sharma vd., 2021). Solucan kompostlama işleminde, organik atıklar solucanın bağırsak sisteminden geçtikten sonra organik atıkların bünyesindeki besin maddeleri bitkiler tarafından kullanılabilir hale gelmektedir (Ndegwa vd., 2000). Bu çalışmada solucan kompost karışımlarının P değerleri başlangıçta %0,6-1,30 arasında iken, proses sonunda %0,75-1,36 aralığına artmıştır (Şekil 10, Tablo 1). Bu artış kompostlama süresi boyunca kütle kaybından ve enzim aktivitesinden kaynaklanabilmektedir. Sharma vd., (2021) tarafından yapılan solucan kompostlama çalışmasında, başlangıç P değerleri 2,0-4,2 g kg<sup>-1</sup> aralığında iken, kompostlama sonunda artarak 2,9-5,2 g kg<sup>-1</sup> aralığında olduğu tespit edilmiş ve bu artışın, solucanlar tarafından doğrudan ve dolaylı olarak üretilen enzimler ve karbon bileşiklerinden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Bununla birlikte solucan kompostlama işlemi sırasında organik maddeyi ayrıştıran mikroorganizmalar asit üretmekte ve bu asidin daha sonra solucan kompost kütlesi içerisindeki çözünmeyen fosforu çözüdümesi ile mevcut fosfor içeriğini artırmaktadır (Lazcano vd., 2008).



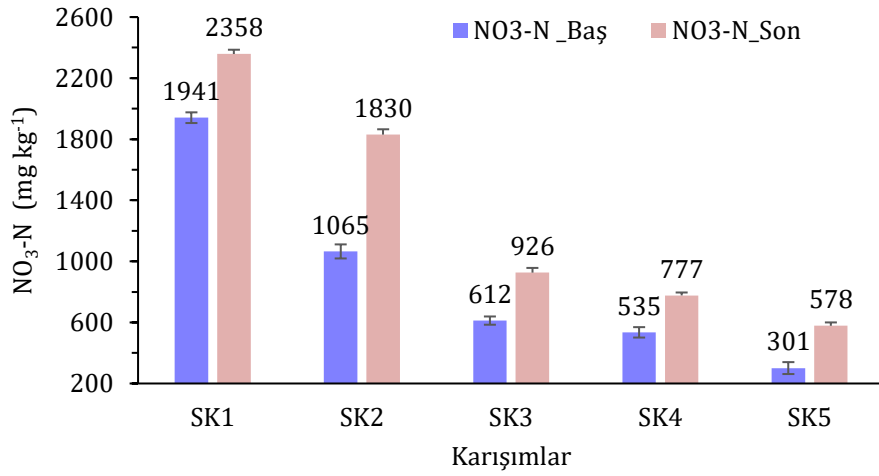
Şekil 10. SK karışımlarının Fosfor değişimleri (Phosphorus changes of VC mixtures)

### 3.7. Amonyum ve Nitrat (Ammonium and Nitrate)

Bu çalışmada karışımların başlangıç ve bitiş NH<sub>4</sub>-N ve NO<sub>3</sub>-N değerleri sırasıyla Şekil 11 ve Şekil 12'de gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde, tüm karışımların başlangıç ve bitiş NH<sub>4</sub>-N değerlerinin 301-1238 mg kg<sup>-1</sup> seviyesinden 227-1071 mg kg<sup>-1</sup> seviyesine düştüğü, buna karşın NO<sub>3</sub>-N değerlerinin ise 301-1941 mg kg<sup>-1</sup> seviyesinden 578-2358 mg kg<sup>-1</sup> seviyesine arttığı görülmektedir. Bu değişim amonyum azotunun nitrat azotuna dönüşmesi ile ilişkilidir. Solucan kompostlama süresince NH<sub>4</sub>-N değerleri, azot içerikli organik maddenin parçalanması, amonyak azotunun solucanlar ve mikroorganizmalar tarafından asimilasyonu, nitrifikasyonu ve buharlaşması sebebiyle azalmaktadır (He vd., 2001; Levis ve Barlaz, 2011).



Şekil 11. SK karışımlarının NH<sub>4</sub>-N değişimleri (NH<sub>4</sub>-N changes of VC mixtures)



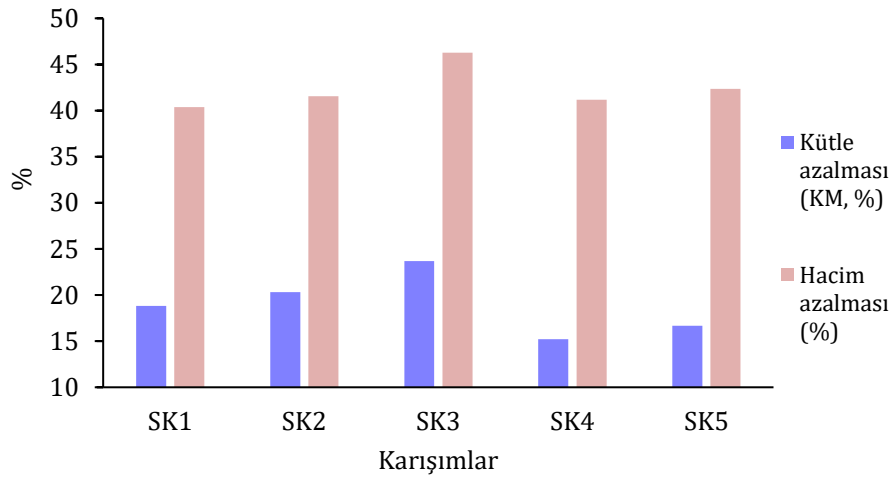
Şekil 12. SK karışımlarının NO<sub>3</sub>-N değişimleri (NO<sub>3</sub>-N changes of VC mixtures)

### 3.8. Solucan Sayıları (Number of Worms)

Bu çalışmada farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda olduğu gibi (Sharma vd., 2021; Esmaili vd., 2020) kompost karışımlarının her birine 500'er adet solucan bırakılarak çalışmaya başlanmıştır. Proses boyunca solucan sayılarında artış gözlenmiş ve çalışma sonunda sayımlar yapılmıştır. Buna göre proses sonunda solucan (genç+yetişkin) sayıları SK1'den SK5'e doğru sırasıyla 2260, 2464, 3900, 1882 ve 2253 olarak tespit edilmiştir. SK3 karışımında en fazla solucan çoğalması belirlenmiştir (Tablo 1). Sharma vd., (2021) yaptıkları çalışmada, 28 günlük kompostlama süresince solucan sayısının 110 adetten 150 adede ulaştığını tespit etmişlerdir.

### 3.9. Kütle ve Hacim Değişimleri (Mass and Volume Changes)

Solucan kompostlama süresince kütle ve hacimde azalmalar meydana gelmektedir. Bu çalışmada kütle kaybı, kompost materyalinin başlangıç ve son tartımları alınarak hesaplanmıştır. Kütle kaybı %23,67 oranı ile en fazla SK3 karışımında meydana gelmiştir. Hacim değişimleri, solucan kompostlama işleminin başlangıç ve sonunda solucan kompost kasalarının üst boşlukları ölçülerek hesaplanmıştır. Kütlede olduğu gibi hacimde de en fazla azalma (%46,27) SK3 karışımında meydana gelmiştir (Şekil 13, Tablo 1).



Şekil 13. SK karışımlarının kütle ve hacim değişimleri (Mass and volume changes of VC mixtures)

### 3.10. Çimlenme İndeksi (Germination Index)

Çimlenme indeksi parametresi kompost ve solucan kompostunun fitotoksitesinin belirlenmesinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Luo vd., 2018., Yang vd., 2021). Çimlenme indeksi değeri %50'nin üzerinde olan kompostlar, olgunlaşmış ve fitotoksik özellik içermeyen kompost olarak değerlendirilmektedir (Zucconi vd.,1981). Bu çalışmada dört farklı seyrelme oranında (%100, %75, %50 ve %25) çimlenme indeksi değerleri belirlenmiş ve tüm karışımlarda bu değer %50'nin üzerinde gerçekleşmiştir (Tablo 2). Buna göre tüm karışımlardaki kompostların olgunlaşmış ve fitotoksik özellik içermeyen kompost olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Solucan kompostu karışımlarının farklı seyrelme oranlarında çimlenme indeksi değerleri (%) (Germination index values of vermicompost mixtures at different dilution ratios (%))

Karışımlar	%0*	%100	%75	%50	%25
SK1	94,9	50,4	55,6	80,5	87,0
SK2	94,9	55,3	62,8	87,7	90,4
SK3	94,9	70,5	82,9	96,6	102,2
SK4	94,9	71,2	84,3	97,9	103,1
SK5	94,9	76,9	86,4	99,4	107,6

### 3.11. Kalite Değerlendirmesi (Quality Assessment)

Çalışmada üretilen solucan kompostunun analiz sonuçları 23.02.2018 tarih ve 30341 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik" değerleri ile kıyaslanmıştır (Tablo 3). Tablo incelendiğinde, SM değeri haricindeki diğer parametrelerin (OM, Toplam azot, C/N) yönetmelikte belirtilen sınır değerleri sağladığı görülmektedir. SM değeri, %55,1-58,9 aralığında olup, yönetmelikte verilen kriteri (en fazla %35) sağlamadığı, ancak kurutma işlemleri ile SM değerleri yönetmelikte verilen sınır değerinin altına düşürülebilecektir. Ayrıca solucan kompost karışımları çimlenme indeksi değerleri açısından değerlendirildiğinde, karışımların tamamının olgun kompost niteliğinde ve tarımsal faaliyetlerde kullanılabilir nitelikte olduğu görülmüştür.

**Tablo 3.** Solucan kompostu kalite parametreleri ile çalışma sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of vermicompost quality parameters and study results)

Parametreler	Solucan kompostları (bu çalışma)	Kriter*
Organik madde (%)	%65,16-67,20	En az %20
Toplam azot (%)	%2,68-3,03	En az % 0,5
Nem (%)	%55,12-58,83	En fazla %35
C/N oranı	11,88-12,82	8-22

\* Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik

#### 4. Sonuç Ve Tartışma (Result And Discussion)

Yapılan solucan kompostlama çalışması 90 gün süreyle takip edilmiştir. Solucan kompostlamasında besi maddesi olarak kullanılan olgun elma kompost karışımları içinde en yüksek verim K3 karışımından (EİA:%45, TG:%7,5, SG:%46,6 ve Saman:%0,84) elde edilen SK3 solucan kompostu karışımından elde edilmiştir. Solucan kompost karışımlarında en fazla ayrışma SK3 karışımında meydana gelmiş, bu karışımdaki kütle azalması %23,67 ve hacim azalması %46,27 olarak gerçekleşmiştir. Solucan kompostlama işlemi her bir karışıma 500 adet yetişkin solucan eklenerek çalışmalara başlanmış, tüm karışımlarda zamanla bu miktarlarda artış olmuş SK3 karışımında %680'e varan artışlar tespit edilmiştir. Solucan kompost karışımları fiziko-kimyasal analizler ve çimlenme indeksi parametreleri açısından değerlendirildiğinde tüm solucan kompostlarının olgunlaşmış ve fitotoksik özellik içermeyen tarımsal faaliyetlerde kullanılabilir kompost olduğu görülmektedir.

#### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma bir doktora tezinden hazırlanmış olup FDK-2018-6012 No'lu Proje ile tezi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Reaktör kompostlama çalışmalarının gerçekleştirilmesi için kompost laboratuvarının imkânlarını bize sunan Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'ne ve solucan kompostlama işleminin gerçekleştirildiği Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne teşekkür ederim.

Solucan kompostlama hazırlık aşamasında ve solucan temininde yardımcı olan Yeşil Vadi Kırmızı Solucan Çiftliği yetkilileri Gültekin GÜRELLİ ve Ünzile ÇAKMAK'a destek ve katkıları için teşekkür ederim.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

#### Kaynaklar (References)

- Abacıoğlu, E., Yatgın, S., Tokel, E., Yücesoy, P. 2020. Vermikompostun (Solucan Gübresi) Üretimi Ve Bitki Beslemesindeki Önemi. Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences. 3(1), 1-10.
- APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA.
- Chander, G., Wani, S.P., Gopalakrishnan, S., Mahapatra, A., Chaudhury, S., Pawar, C.S., Kaushal, M., Kesava Rao, A.V.R. 2018. Microbial consortium culture and vermicomposting technologies for recycling on - farm wastes and food production. Int. J. Recycl. Org. Waste Agric. 7, 99-108.
- Demir H., Polat E., Sönmez İ. 2010. Ülkemiz için yeni bir organik gübre: solucan gübresi. Tarım aktüel, 14, 54-60.
- Doube, B.M., Brown, G.G. 1998. Life in a complex community: Functional interactions between earth-worms, organic matter, microorganisms, and plants. Earthworm Ecology, Ed. Clive Edwards, St Lucie Press, 179-211.
- Esmaili, A., Khoram, M.R., Gholami, M., Eslami, H. 2020. Pistachio waste management using combined composting-vermicomposting technique: Physico-chemical changes and worm growth analysis. Journal of Cleaner Production. 242, 118523.
- He, Y., Inamori, Y., Mizuochi, M., Kong, H., Iwami, N., Sun, T., 2001. Nitrous oxide emissions from aerated composting of organic waste. Environmental Science & Technology. 35 (11), 2347-2351.

- Ju, X.T., Xing, G.X., Chen, X.P., Zhang, S.L., Zhang, L.J., Liu, X.J., Cui, Z.L., Yin, B., Christie, P., Zhi, Z.L., Zhang, F.S. 2009. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. The Proceedings of the National Academy of Sciences. 106(9), 3041-3046. <https://doi.org/10.1073/pnas.0813417106>.
- Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., Domínguez, J. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. Chemosphere. 72(7), 1013-1019.
- Levis, J.W., Barlaz, M.A. 2011. What is the most environmentally beneficial way to treat commercial food waste? Environmental Science & Technology. 45 (17), 7438-7444.
- Luo, Y., Liang, J., Zeng, G., Chen, M., Mo, D., Li, G., Zhang, D., 2018. Seed germination test for toxicity evaluation of compost: Its roles, problems and prospects. Waste Management. 71, 109-114.
- Ndegwa, P.M., Thompson, S.A. 2000. Effects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids. Bioresource Technology. 75, 7-12.
- Ndegwa, P.M., Thompson, S.A., Das, K.C. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. Bioresource Technology. 71(1), 5-12.
- Negi, R., Suthar, S. 2018. Degradation of paper mill wastewater sludge and cow dung by brown-rot fungi *Oligoporus placenta* and earthworm (*Eisenia fetida*) during vermicomposting. Journal of Cleaner Production. 201, 842-852.
- Pellejero, G., Miglierina, A., Aschkar, G., Turcato, M., Jimenez-Ballesta, R. 2017. Effects of the onion residue compost as an organic fertilizer in a vegetable culture in the Lower Valley of the Rio Negro. Int. J. Recycl. Org. Waste Agric. 6, 159-166.
- Polat, H. 2020. Türkiye’de Kimyasal Azotlu Gübre Tüketim Durumunun ve Toprak Analizi Zorunluluğunun Azotlu Gübre Kullanımına Etkilerinin Değerlendirilmesi. Toprak Su Dergisi. 9(2), 60-71.
- Rajkhowa, D.J., Sarma, A.K., Bhattacharyya, P.N., Mahanta, K. 2019. Bioconversion of agricultural waste and its efficient utilization in the hilly ecosystem of Northeast India. Int. J. Recycl. Org. Waste Agric. 8, 11-20.
- Resmi Gazete, 2018. Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik. Tarih: 23.02.2018, Sayı: 30341.
- Rostami R., Nabaei A., Esлами A., Najafi S.H. 2010. Survey of optimal conditions for worm’s growth and vermicompost production of prepared food wastes. Internal Medicine Today. 15 (4), 76-83.
- Sharma, D., Pandey, A.K., Yadav, K.D., Kumar, S. 2021. Response surface methodology and artificial neural network modelling for enhancing maturity parameters during vermicomposting of floral waste. Bioresource Technology. 324, 124672.
- Sharma, K., Garg, V.K. 2018. Solid-state fermentation for vermicomposting, in: Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, 373-413.
- Silva, J.C., Siqueira, A.J.N., Maia, H.B., Nunes, R.R. 2021. Vermicomposting corn waste under cultural and climatic conditions of the Brazilian Backwoods. Bioresource Technology Reports. 15, 100730.
- Söyler, O. 2020. Türkiye’de Tarımsal Üretimde Kimyasal Gübre Kullanımı ile İlgili Problemler ve Çözüm Yolları Üzerine Bir Araştırma. 5. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi tam metin kitabı (ISBN:978-605-70159-9-0) 26-27 Aralık 2020, Diyarbakır.
- Su, J-Q., Wei, B., Qu-Yang, W-Y., Huang, F-Y., Zhao, Y., Xu, H-J., Zhu, Y-G. 2015. Antibiotic Resistome and Its Association with Bacterial Communities during Sewage Sludge Composting. Environ. Sci. Technol. 49(12), 7356-7363.
- Sülük, 2022. Sabit C/N Oranında Farklı Materyallerden Kompost Ve Solucan Kompost Çayı Üretimi, Üretilen Kompost Çaylarının Zenginleştirilmesi Ve Etkilerinin Belirlenmesi: Elma İşleme Atıkları Örneği, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Sülük, K., Tosun, İ., Ekinci, K. 2016. Co-composting of two-phase olive-mill pomace and poultry manure with tomato harvest stalks. Environmental Technology. 38(8), 923-932.
- Şahin, G. 2016. Türkiye’de Gübre Kullanım Durumu ve Gübreleme Konusunda Yaşanan Problemler. Tarım Ekonomisi Dergisi. 22 (1), 19-32.
- Şevik, F., Tosun, İ., Ekinci, K. 2018. The effect of FAS and C/N ratios on co-composting of sewage sludge, dairy manure and tomato stalks. Waste Management. 80, 450-456.
- Toledo, M., Gutiérrez, M.C., Siles, J.A., Martín, M.A. 2018. Full-scale composting of sewage sludge and market waste, Stability monitoring and odor dispersion modeling. Environmental Research. 167, 739-750.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, İstatistiksel Tablolar, Kimyasal gübre kullanımı (2009-2021). <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111> (Erişim tarihi: 14.11.2022)
- USCC. 2002. The US Composting Council Research and Education Foundation, and the United States Department of Agriculture. Test methods for the examination of composting and compost (TMECC). Edaphos International, Houston, TX.
- Vig, A.P., Singh, J., Wani, S.H., Dhaliwal, S.S. 2011. Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung into valuable manure using earthworm *Eisenia fetida* (Savigny). Bioresource Technology. 102, 7941-7945.
- Wong, J.W.C., Lee, D.J., Nair, J., Garg, V.K., Suthar, S., Yadav, A. 2012. Management of food industry waste employing vermicomposting technology. Bioresource Technology. 126, 437-443.
- Yadav, A., Garg, V.K. 2019. Biotransformation of bakery industry sludge into valuable product using vermicomposting. Bioresource Technology. 274, 512-517.
- Yang, Y., Wang, G., Li, G., Ma, R., Kong, Y., Yuan, J. 2021. Selection of sensitive seeds for evaluation of compost maturity with the seed germination index. Waste Management, 136, 238-243.
- Zucconi, F.M., Forte, M., Monaco, A., De Bertoldi, M. 1981. Biological evaluation of compost maturity. BioCycle. 22, 27-29.



## Düzeltilme / *Corrigendum*



## DÜZELTME: YENİLENEBİLİR ENERJİ OLARAK BİYOGAZ: AKSARAY İLİ ÖRNEĞİ

Hatice ET YAPILCAN<sup>1</sup>, Hülya BAKIRTAŞ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Ufuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Aksaray Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Aksaray, Türkiye

### Alıntı / Cite

Et Yapılcan, H. & Bakırtaş, H. (2023). Yenilenebilir Enerji Olarak Biyogaz: Aksaray İli Örneği Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, Düzeltilme, 11(2), 857.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
H. Et Yapılcan, 0000-0002-9062-5260	Başvuru Tarihi / Submission Date
H. Bakırtaş, 0000-0003-3473-0098	Revizyon Tarihi / Revision Date
	Kabul Tarihi / Accepted Date
	Yayın Tarihi / Published Date
	Düzeltilme Tarihi / Corrigendum Date
	Onay Tarihi / Approved Date
	Yayın Tarihi / Published Date

### 1. Düzeltilme / Corrigendum

Bu düzeltilme yazısı, " Et Yapılcan, H. & Bakırtaş, H. (2023). Yenilenebilir Enerji Olarak Biyogaz: Aksaray İli Örneği. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi , 11 (1) , 298-309 . DOI: 10.21923/jesd.1049878" künyeli makaleye ait bir düzeltilme yazısıdır. Makalenin aslı 27 Mart 2023'te yayımlanmıştır. Makalenin 298 ve 299. sayfalarında bulunan dipnot aşağıdaki şekilde düzeltilmiştir.

\* İlgili yazar / Corresponding author: hbakirtas@aksaray.edu.tr +90-382-288-2499

Bu çalışma, Hatice Et Yapılcan'ın yüksek lisans tezinden üretilmiştir. / This study was produced from Hatice Et Yapılcan's master's thesis.