



## Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Osmaniye Korkut Ata University Journal of The Institute of Science and Technology

**Year (Yıl): 2024, Volume (Cilt):7, Number (Sayı): 1**

### **Dergi Sahibi / Owner**

Prof. Dr. Turgay UZUN  
Rektör

### **Sorumlu Müdür / Director**

Prof. Dr. Eyyüp TEL  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

### **Baş Editör / Editor in Chief**

Doç. Dr. Tugay AYAŞAN

### **Yardımcı Editorler / Associate Editors**

Prof. Dr. Coşkun ÖZALP  
Doç. Dr. Özge SÜFER  
Dr. Öğretim Üyesi Aybüke LEBA  
Dr. Öğretim Üyesi Mustafa SÖYLER



## Osmaniye Korkut Ata University Journal of The Institute of Science and Technology

### Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

#### Editorial Board

#### (Editör Kurulu)

Prof. Dr. Özgecan KORKMAZ AĞAOĞLU	Mehmet Akif Üniversitesi, BURDUR	ozgecanagaoglu@mehmetakif.edu.tr
Prof. Dr. Mehmet BİLGİLİ	Çukurova Üniversitesi, ADANA	mbilgili@cu.edu.tr
Prof. Dr. Alpaslan DAYANGAÇ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	alpaslandayangac@osmaniye.edu.tr
Prof. Dr. Şeyma TÜLÜCÜ DEMİRAY	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	seymademiray@osmaniye.edu.tr
Prof. Dr. Güray ERENER	Ondokuz Mayıs Üniversitesi, SAMSUN	gerener@omu.edu.tr
Prof. Dr. Hasan Basri İLA	Çukurova Üniversitesi, ADANA	ila@cu.edu.tr
Prof. Dr. Önder KAŞKA	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	onderkaska@osmaniye.edu.tr
Prof. Dr. Murat KÖKSAL	Cumhuriyet Üniversitesi, SİVAS	mkoksal@cumhuriyet.edu.tr
Prof. Dr. Mustafa ÖZCANLI	Çukurova Üniversitesi, ADANA	ozcanli@cu.edu.tr
Prof. Dr. Hüsnüye Aka SAĞLIKER	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	hasaglikler@osmaniye.edu.tr
Prof. Dr. Ayşe Tülin ÖZ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	aysetulinoz@osmaniye.edu.tr
Prof. Dr. Bahri Devrim ÖZCAN	Çukurova Üniversitesi, ADANA	dozcan@cu.edu.tr
Prof. Dr. Eyyüp TEL	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	eyuptel@osmaniye.edu.tr
Prof. Dr. Khalid JAVED	University of Veterinary and Animal Sciences, PAKİSTAN	javeddrkhalid@yahoo.com
Prof. Dr. Kyung-WOO LEE	Konkuk University, Seoul, SOUTH KOREA	kyungwoolee@hotmail.com
Doç. Dr. Çağdaş AKPINAR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	cagdasakpinar@osmaniye.edu.tr
Doç. Dr. İsa COŞKUN	Kırşehir Ahievran Üniversitesi, KIRŞEHİR	isa.coskun@ahievran.edu.tr
Doç. Dr. Feridun DEMİR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	feridundemir@osmaniye.edu.tr
Doç. Dr. Jülide ÖNER	Uşak Üniversitesi, UŞAK	julide.oner@usak.edu.tr



Doç. Dr. Behlül SEVİM	Aksaray Üniversitesi, AKSARAY	behlu68@gmail.com
Doç. Dr. Dilek TEKDAL	Mersin Üniversitesi, MERSİN	dilektekdal@mersin.edu.tr
Doç. Dr. Esra TELLİ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	esratelli@osmaniye.edu.tr
Doç. Dr. Mustafa SEVİNDİK	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	mustafasevindik@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Hediye Kirli AKIN	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	hediyekin@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Hayriye Serra ALTINOLUK	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, MUĞLA	serraltinoluk@mu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Behçet DÜNDAR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	behcetdundar@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Betül GIDİK	Bayburt Üniversitesi, BAYBURT	betulgidik@bayburt.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Esra GÜRSOY	Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, AĞRI	egursoy@agri.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Sevdâ İNAN	Namık Kemal Üniversitesi, TEKİRDAĞ	sevdainan@nku.edu.tr
Dr. Muhammad SAEED	Cholistan University, PAKİSTAN	muhammad.saeed@nwafu.edu.cn
Dr. Mihaela SARACILA	National Research-Development Institute for Animal Biology and Nutrition, ROMANIA	mihaela.saracila@yahoo.com
Dr. Elena SIZOVA	Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, RUSSIA	sizova.l78@yandex.ru

#### Yazım Editörleri /Spelling Editors

Dr. Öğretim Üyesi Nesrin ADIGÜZEL	Atatürk Üniversitesi, ERZURUM	nesrin.adiguzel@atauni.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Dilek ŞENTÜRK DEMİREL	Dicle Üniversitesi, DİYARBAKIR	senturk@dicle.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Oğuzhan DER	Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi, BANDIRMA	oder@bandirma.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Merve GÖRE	Ege Üniversitesi Ödemiş Meslek Yüksekokulu, İZMİR	merve.gore@ege.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Emre YILDIRIM	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	emreyildirim@osmaniye.edu.tr
Ar. Gör. Dr. Buse EMİRLER	Çukurova Üniversitesi, ADANA	bemirler@cu.edu.tr

#### Dil Editörleri /Language Editors

Doç. Dr. Deniz ŞAHİN	Gazi Üniversitesi, ANKARA	dennoka1k@hotmail.com
Dr. Öğretim Üyesi Fatih ÜNAL BOZDAĞ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	fatihbozdog@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Tefide KIZILDENİZ	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, NİĞDE	tkizildeniz@ohu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Azime ÖZKAN KARABACAK	Bursa Uludağ Üniversitesi, BURSA	azimeozkan@uludag.edu.tr

### İstatistik Editörleri /Statistics Editors

Doç. Dr. Şenol ÇELİK	Bingöl Üniversitesi, BİNGÖL	senolcelik@bingol.edu.tr
Dr. Hatice HIZLI	Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, ADANA	haticehizli@gmail.com

### Alan Editörleri/KonuEditörleri/Subject Editors

Prof. Dr. Mustafa BOĞA	Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi, NİĞDE	mboga@nigde.edu.tr
Prof. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	ehurdogan@osmaniye.edu.tr
Doç. Dr. Nermin MERVE ÇETİNKAYA	Çukurova Üniversitesi, ADANA	nbaykan@cu.edu.tr
Doç. Dr. Jülide ÖNER	Uşak Üniversitesi, UŞAK	julide.oner@usak.edu.tr
Doç. Dr. Özge ÖZTEKİN	Gaziantep Üniversitesi, GAZİANTEP	ozgedzozr@gmail.com
Doç. Dr. Şeyda ŞAHİN	Cumhuriyet Üniversitesi, SİVAS	seydashin@cumhuriyet.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Didem DEMİR KARAKUŞ	Tarsus Üniversitesi, TARSUS	didemdemr@gmail.com
Dr. Öğretim Üyesi Muhammed ORDU	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	muhammedordu@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Mansur Seymen SEĞMENOĞLU	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	mansurseymen@gmail.com

### Mizanpaj Editörleri/Layout Editors

Prof. Dr. Özen ÖZER	Kırklareli Üniversitesi, KIRKLARELİ	ozenozer@klu.edu.tr
Doç. Dr. Nehir TOKGÖZ	Sakarya Üniversitesi, SAKARYA	nehirtokgoz@sakarya.edu.tr
Doç. Dr. Özlem KARADAĞOĞLU	Kafkas Üniversitesi, KARS	drozlemkaya@hotmail.com
Dr. Öğretim Üyesi Benian Pınar AKTEPE	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	benianaktepe@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Gör. Burcu Sünbül AYHAN	Türk-Alman Üniversitesi, İSTANBUL	burcu.ayhan@tau.edu.tr
Dr. Ar. Gör. Nuray İnan ÇANKIR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	nurayinan@osmaniye.edu.tr
Dr. Ar. Gör. Hatice TÜRK TEN	Ondokuz Mayıs Üniversitesi, SAMSUN	hatice.turkten@omu.edu.tr
Ar. Gör. Esra Zeynep ŞENSOY	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	ezeypensensoy@osmaniye.edu.tr

\*Mizanpaj editörleri, çıkan sayılara göre değişiklik gösterebilecektir.

### Son Okuyucu Editörleri /Final Reader Editors

Doç. Dr. Burcu TAYLAN	Ege Üniversitesi, İZMİR	burcu.taylan@ege.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Özlem VAROL AVCILAR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	ovarolavcilar@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Orhan ERMETİN	Yozgat Bozok Üniversitesi, YOZGAT	orhan.ermetin@yobu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Özlem ORHAN	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, BALIKESİR	oorhan@bandirma.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Cavidan GÜL VARIŞ	Adıyaman Üniversitesi, ADIYAMAN	cgul@adiyaman.edu.tr
Ar. Gör. Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	emriyecinar@osmaniye.edu.tr
Öğretim Gör. Tuba SAYGILI YILDIRIM	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	tubasaygiliyildirim@osmaniye.edu.tr

\*Birden fazla rolü olan editörler, tek bir kısımda yazılmıştır



**Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi** (OKÜ Fen Bil. Enst. Dergisi) hakemli bir dergidir.

**Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi** yılda 5 kez yayınlanmaktadır (Ocak, Mart, Haziran, Eylül ve Aralık).

**Osmaniye Korkut Ata University Journal of The Institute of Science and Technology** (OKU Journal of Institute of Sci and Tech) is a peer-reviewed journal.

**Osmaniye Korkut Ata University Journal of The Institute of Science and Technology** is published **five times in a year** (January, March, June, September and December).

**Dergi İçin Yazışma Adresi / Correspondence Address**

**Assoc. Prof. Dr. Tugay AYASAN (Editor in Chief)**

Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye-TURKEY

**e-mail:** tugayayasan@osmaniye.edu.tr

**Web link:** <https://dergipark.org.tr/tr/pub/okufbed>



## The referees list (Hakem listesi)

Year 2024, Volume 7, Issue 1 list of referees is given below.  
(2024 yılı, Cilt 7, Sayı 1'deki hakemlerin listesi aşağıda verilmiştir).

(in Degree and Alphabetical order /Unvan ve Alfabetik sıralı)

Hakemler	Kurum
Prof. Dr. Gülşen ÇOPUR AKPINAR	Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Hayvan Yetiştirme Anabilim Dalı, ANTAKYA
Prof. Dr. Duygu AKTÜRK	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü Tarım İşletmeciliği Anabilim Dalı, ÇANAKKALE
Prof. Dr. Uğur AKYOL	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı, TEKİRDAĞ
Prof. Dr. Akın Osman ATAGÜN	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü Cebir Ve Sayılar Teorisi Anabilim Dalı, KIRŞEHİR
Prof. Dr. Fikri BALTA	Ordu Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Meyve Yetiştirme Ve Islahı Anabilim Dalı, ORDU
Prof. Dr. İsmet BAŞER	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Tahıllar Ve Yemelik Tane Baklagiller Anabilim Dalı, TEKİRDAĞ
Prof. Dr. İsmail Naci CANGÜL	Bursa Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü Analiz Ve Fonksiyonlar Teorisi Anabilim Dalı, BURSA
Prof. Dr. Vedat CEYHAN	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü Tarım İşletmeciliği Anabilim Dalı, SAMSUN
Prof. Dr. Yasemin COŞKUN	Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Biyoloji Bölümü Genel Biyoloji Anabilim Dalı, ISPARTA
Prof. Dr. Yılmaz ÇAN	Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon Ve İmalat Anabilim Dalı, EDİRNE
Prof. Dr. Adnan ÇİÇEK	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü Tarım İşletmeciliği Anabilim Dalı, TOKAT
Prof. Dr. Halef DİZLEK	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, OSMANİYE
Prof. Dr. Nurhan ECEMİŞ	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İZMİR
Prof. Dr. Ramazan ERENLER	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Organik Kimya Anabilim Dalı, TOKAT

Prof. Dr. Yaşar ERTÜRK	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Meyve Yetiştirme Ve Islahı Anabilim Dalı, KIRŞEHİR
Prof. Dr. Hakan GEREN	Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, İZMİR
Prof. Dr. Hakan GÜRÜN	Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, ANKARA
Prof. Dr. Murat KARAKAŞ	Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü Analiz Ve Fonksiyonlar Teorisi Anabilim Dalı, BİTLİS
Prof. Dr. Binnur GÖREN KIRAL	Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Anabilim Dalı, İZMİR
Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU	Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Anabilim Dalı, TRABZON
Prof. Dr. Ayşe ÖNDÜRÜCÜ	Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Anabilim Dalı, ISPARTA
Prof. Dr. Fatih ÖZCAN	Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Anabilim Dalı, İÇEL
Prof. Dr. Gamze SANER	Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, İZMİR
Prof. Dr. Ashlhan SEZGİN	Amasya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Matematik Ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü Matematik Eğitimi Anabilim Dalı, AMASYA
Prof. Dr. Özlem TURGAY	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Gıda Bilimleri Anabilim Dalı, KAHRAMANMARAŞ
Prof. Dr. İsmail TÜRKER	Uşak Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Yemler Ve Hayvan Besleme Anabilim Dalı, UŞAK
Prof. Dr. Fatma Aysun UĞUR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Anabilim Dalı, OSMANİYE
Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Anabilim Dalı, AFYONKARAHİSAR
Prof. Dr. Rıdvan ÜNAL	Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, AFYONKARAHİSAR
Prof. Dr. İskender YILDIRIM	Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Hayvan Yetiştirme Anabilim Dalı, KONYA
Doç. Dr. Abdullah ASLAN	Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Anabilim Dalı, KONYA
Doç. Dr. Süleyman EDİZ	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Matematik Ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü Matematik Eğitimi Anabilim Dalı, VAN
Doç. Dr. Esmâ Nur GEÇER	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Zile Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü/Gıda Teknolojisi Pr. TOKAT
Doç. Dr. Mehmet Rifat KAHYAOĞLU	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı, MUĞLA
Doç. Dr. Hüseyin KAMACI	Yozgat Bozok Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü Cebir Ve Sayılar Teorisi Anabilim Dalı, YOZGAT
Doç. Dr. Serdar KAMANLI	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Hayvan Yetiştirme Ve Islahı Anabilim Dalı, KIRŞEHİR
Doç. Dr. Mustafa Burç KANDEMİR	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Fakültesi Matematik Bölümü Topoloji Anabilim Dalı, MUĞLA
Doç. Dr. Pınar KADİROĞLU KELEBEK	Adana Alparslan Türkeş Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Gıda Bilimleri Anabilim Dalı, ADANA
Doç. Dr. Erkan KIRIŞ	Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Atom Ve Molekül Fiziği Anabilim Dalı, RİZE
Doç. Dr. Ferhat KIZILGEÇİ	Mardin Artuklu Üniversitesi Kızıltepe Meslek Yüksekokulu Bitkisel Ve Hayvansal Üretim Bölümü Tohumculuk Teknolojisi Pr. MARDİN
Doç. Dr. Nesrin KORKMAZ	Yozgat Bozok Üniversitesi Kenevir Araştırma Enstitüsü Temel Bilimler Ve Sağlık Anabilim Dalı, YOZGAT

Doç. Dr. Burcu MESTAV	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü Uygulamalı İstatistik Anabilim Dalı, ÇANAKKALE
Doç. Dr. Özge TEMİZ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Tıbbi Hizmetler Ve Teknikler Bölümü İlk Ve Acil Yardım Pr. OSMANİYE
Doç. Dr. Arzuhan ŞİHOĞLU TEPE	Kilis 7 Aralık Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Eczane Hizmetleri Bölümü Eczane Hizmetleri Pr. KİLİS
Doç. Dr. Pınar OĞUZHAN YILDIZ	Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Su Ürünleri Avlama Ve İşleme Teknolojisi Bölümü Avlama Teknolojisi Anabilim Dalı, ERZURUM
Dr. Öğretim Üyesi Didem OVALI DÖNDAŞ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon Ve İmalat Anabilim Dalı, OSMANİYE
Dr. Öğretim Üyesi Nilüfer EVCİMEN DUYGULU	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İSTANBUL
Dr. Öğretim Üyesi Nazlı YAZICI GÖZÜTOK	Marmara Üniversitesi Fen Fakültesi Matematik Bölümü Matematiğin Temelleri Ve Matematiklojik Anabilim Dalı, İSTANBUL
Dr. Öğretim Üyesi Hasan GÜZEL	İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun-ANTAKYA
Dr. Öğretim Üyesi Tuğçem PARTAL	Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü Matematiğin Temelleri Ve Matematik Lojik Anabilim Dalı, RİZE
Dr. Öğretim Üyesi Mustafa Murat YAVUZ	İzmir Demokrasi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Anabilim Dalı, İZMİR
Ar. Gör. Nihan ARABACI	Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Moleküler Biyoloji Anabilim Dalı, ADANA



## Osmaniye Korkut Ata University Journal of The Institute of Science and Technology

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Year (Yıl): 2024, Volume (Cilt):7, Number (Sayı): 1

### CONTENTS (İçindekiler)

RESEARCH ARTICLES ( ARAŞTIRMA MAKALELERİ)	Sayfalar
<b>Abdulkadir GÜLEÇ</b> <b>Farklı Su/Çimento Oranlarına Sahip Kalsiyum Alüminat Çimentolu Betonların Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımlarının ve Elastisite Modüllerinin İncelenmesi</b> <i>Investigation of Compressive Strength and Modulus of Elasticity of Calcium Aluminate Cement Concretes with Different Water/Cement Ratios at High Temperature</i>	1-12
<b>Esra Zeynep ŞENSOY, Tarık BARAN</b> <b>Haar Dalgacık Yöntemi ile Diferansiyel Denklemlerin Çözümü</b> <i>Solution of Differential Equations with the Haar Wavelets Method</i>	13-32
<b>Özge ÇOLAKOĞLU</b> <b>Reformulated Zagreb Indices of Some Cycle-Related Graphs and Linear [n]-phenylenes</b> <i>Devir İçeren Bazı Grafların ve Lineer [n]-phenylenlerin Yeniden Formüle Edilmiş Zagreb İndeksleri</i>	33-45
<b>Rojbin KAMAR, Mehmet Ali SARIDAŞ, Sevgi PAYDAŞ KARGI</b> <b>Çileklerin Yaprak Besin Elementi İçerikleri Üzerine Farklı Dozlarda Tuz Uygulamalarının Etkileri</b> <i>Effects of Different Salt Concentrations on Leaf Nutrient Content of Strawberries</i>	46-57
<b>Aslıhan SEZGİN, Naim ÇAĞMAN</b> <b>A New Soft Set Operation: Complementary Soft Binary Piecewise Difference (<math>\setminus</math>) Operation</b> <i>Yeni Bir Esnek Küme İşlemi: Tümlenli Esnek İkili Parçalı Fark (<math>\setminus</math>) İşlemi</i>	58-94
<b>Ayşe Metin KARAKAŞ, Mine DOĞAN, Sinan ÇALIK</b> <b>The Impact of the SAR-CoV-2 Epidemic on Oil Prices and BRICS Stock Markets: Dynamic Conditional Copula Approach</b> <i>SAR-CoV-2 Salgınının Petrol Fiyatlarına ve BRICS Hisse Senedi Piyasalarına Etkisi: Dinamik Koşullu Kopula Yaklaşımı</i>	95-109
<b>Burcu ERDAL, Tolga TIPI</b> <b>Does Increasing Number of Livestock Affect Climate Change? Evidence from Türkiye</b> <i>Hayvan Sayısında Artış İklim Değişikliğini Etkiler mi? Türkiye Örneği</i>	110-124
<b>Gizem HATİPOĞLU, Hüseyin ÜNAL, Salih Hakan YETGİN</b> <b>Cam Elyaf Takviyeli Poli-fital-amit Polimer Kompozitlerin Aşınma ve Sürtünme Performanslarının Araştırılması</b> <i>Investigation of Wear and Friction Performances of Glass Fiber Reinforced Poly-phthalate-amide Polymer Composites</i>	125-140

<b>Kadriye KURŞUN, Melis ÇELİK GÜNEY, Mikail BAYLAN</b> <b>Yerli ve Yabancı Yumurtacı Tavuk Hibritlerinde (Atabey, Decalp White ve Nick Chick) Yumurta İç ve Dış Kalite Özelliklerinin Karşılaştırılması</b> <i>Comparison of Egg Internal and External Quality Traits in Domestic and Foreign Layer Chicken Hybrids (Atabey, Decalp White and Nick Chick)</i>	141-149
<b>Mustafa OZEN, Gokhan DEMIRCAN, Abuzer ACIKGOZ, Huseyin ALPTEKIN, Murat KISA</b> <b>A Sustainable Bio-Filler for Epoxy Composites: Use of Pistachio Shell Powder</b> <i>Epoksi Kompozitler İçin Sürdürülebilir Bir Biyo-Dolgu: Antep Fıstığı Kabuğu Tozu Kullanımı</i>	150-165
<b>Aybek YİĞİT, Ayşe KARACALI TUNÇ, Büşra Merve SARITAŞ</b> <b>Investigation of the Antimicrobial and Antibiofilm Effects of Silver Nanoparticles Obtained From Aloe Vera Plant by Green Synthesis</b> <i>Aloe Vera Bitkisinden Yeşil Sentez Yöntemiyle Elde Edilen Gümüş Nanopartiküllerin Antimikrobiyal ve Antibiyofilm Etkilerinin Araştırılması</i>	166-176
<b>Tunay KARAN, Canan USTA, Ayşe KAYIR, Sude BOZKURT</b> <b>Phytochemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Essential Oils of Pinus sylvestris var. hamata</b> <i>Pinus sylvestris var. hamata Uçucu Yağlarının Fitokimyasal Bileşimi, Antioksidan ve Antimikrobiyal Aktiviteleri</i>	177-189
<b>Erdal KÜÇÜKÖNDER, Serdar GÜMBÜR</b> <b>Kahramanmaraş Onikişubat İlçesindeki Bazı Evlerde Radon Aktivite Konsantrasyonunun Belirlenmesi</b> <i>Determination of Radon Activity Concentration in Some Houses in Kahramanmaraş Onikişubat District</i>	190-199
<b>Ömer YEŞİLTEPE, Mehmet Şerif KAHRAMAN, Yakup TÜREDİ, Murat ÖRNEK</b> <b>Ring ve Daire Temellerde Taşıma Gücünün İncelenmesi: Mikrogrid Donatı ile Deneysel Uygulama</b> <i>Bearing Capacity Investigation of the Ring and Circular Footings: Experimental Investigation with Microgrid Reinforcement</i>	200-214
<b>Yaşar AKIŞCAN, Nazlı AYBAR YALINKILIÇ</b> <b>Amik Ovası Ekolojik Koşullarında Bazı Pamuk Çeşitlerinin Verim, Randıman ve Bazı Lif Kalite Özellikleri Yönünden İncelenmesi</b> <i>Investigation of Some Cotton Varieties in terms of Yield, Ginning Turnout and Some Fiber Quality Characteristics in Amik Plain Ecological Conditions</i>	215-223
<b>Selin TUNA, Elif ÖĞÜT</b> <b>Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı ve Soğutma Sistemi Analizi</b> <i>Plastic Injection Mold Design and Its Cooling System Analysis</i>	224-246
<b>Volkan ARIKAN</b> <b>Investigation of the Effect of Infill Parameters on the Mechanical Behavior of Sandwich Structures Fabricated via Fused Deposition Modeling (FDM)</b> <i>Tel Eritmeli İllkörnkleme (FDM) ile Üretilen Sandviç Yapıların Mekanik Davranışı Üzerinde Dolgu Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi</i>	247-262
<b>Barış UÇAR, Ali AŞKIN, Fatma SÖĞÜT, Ülkü ÇÖMELEKOĞLU, Hatice ORUÇ, Ş. Necat YILMAZ</b> <b>İmipraminin Mcf-7 Hücre Hattında Eag1 Potasyum Kanalları Üzerine Sitotoksik ve Elektrofizyolojik Etkileri</b> <i>Cytotoxic and Electrophysiological Effects of Imipramine on Eag1 Potassium Channels in The Mcf-7 Cell Line</i>	263-275
<b>Hilal AGAÇ, Günnur ERDOĞAN, F. Sevil YALÇIN</b> <b>Farklı Uygulama Seviyelerindeki Termik Santral Uçucu Külünün Buğday (<i>Triticum aestivum</i> L.) Bitki Gelişimi Parametreleri Üzerine Etkisi</b> <i>Effect of Thermal Power Plant Fly Ash at Different Application Levels on Plant Growth Parameters of Wheat</i>	276-293



<b>Pelin AKKAYA, Yusuf Kağan KADIOĞLU</b> <b>Cam Hatalarının Karakterizasyonunda Alternatif Tekniklerin Belirlenmesi</b> <i>Identifying Alternative Techniques for the Characterization of Glass Defects</i>	294-309
<b>Pembe SABANCIGİL</b> <b>Yeni Tip <math>q</math>-Stancu-Durrmeyer Operatörlerinin Lokal Yaklaşım Özellikleri</b> <i>Local Approximation Properties for the New Type <math>q</math>-Stancu-Durrmeyer Operators</i>	310-319
<b>Meral GÜREL, Yusuf Kağan KADIOĞLU</b> <b>Orta Anadolu Kristalen Kompleksi Metamorfik Kayalarının Petrolojisi, Jeokimyası ve Jeokronolojisi: Kırşehir (Karıncalı), Orta Anadolu, Türkiye</b> <i>Petrology, Geochemistry and Geochronology of the Central Anatolian Crystalline Complex Metamorphic Rocks: Kırşehir (Karıncalı), Central Anatolia, Turkey</i>	320-352
<b>Sunay GÜLER</b> <b>Açıklığı Olan Metalik Ekranlama Kutusunun Manyetik Ekranlama Parametreleri Üzerine Bir Çalışma</b> <i>A Study on Magnetic Shielding Parameters of Metallic Shielding Enclosure with Aperture</i>	353-366
<b>Özlem TÜZ EBESEK</b> <b>A Comparison of Home Purchase and Liquid Lazy Portfolio Returns in Turkey</b> <i>Türkiye’de Konut Satın Alma ve Likit Lazy Portföy Getirilerinin Karşılaştırılması</i>	367-377
<b>REVIEWS ( DERLEMELER)</b>	
<b>Kader YOLCU</b> <b>Süt İneklerinde Beslemenin Fertilitite ile İlişkisi</b> <i>The Relationship between Nutrition and Fertility in Dairy Cows</i>	378-398
<b>Merve KULOĞLU GENÇ, Selda MERCAN</b> <b>Deprem Sebebiyle Ortaya Çıkan Toksik Atıkların Sınıflandırması, Etkileri ve Bertaraf Yönetmelikleri</b> <i>Classification, Effects and Disposal Regulations of Toxic Wastes Caused by Earthquakes</i>	399-413
<b>Somayyeh SHABESTANI, Merve GEÇİKLİ</b> <b>Machine Learning Use For English Texts’ Classification (A mini-review)</b> <i>İngilizce Metinlerin Sınıflandırması İçin Makine Öğrenimi Kullanımı (A mini-review)</i>	414-423
<b>Efe SAVRAN, Mustafa BÜYÜK, Fatih KARPAT</b> <b>A Review on Recent Advances and Challenges of Fuel Cell Electric Vehicles</b> <i>Yakıt Hücreli Elektrikli Araçların Zorlukları ve Son Gelişmeleri üzerine Derleme</i>	424-439
<b>Çağlar BETGÜL, Mustafa ÜNAL</b> <b>Standart Askeri Yüklerin Askerlerin Görev Performansı Üzerindeki Etkilerini Belirlemek için Kullanılan Biyomekanik Test Yöntemleri</b> <i>Biomechanical Testing Methods Used to Determine the Effects of Standard Military Loads on the Mission Performance of Soldiers</i>	440-462
<b>İrem DEMİR, Gulsun AKDEMİR EVRENDİLEK</b> <b>Yüksek Hidrostatik Basınç Teknolojisinin Besin Maddelerinin Biyo-yararlılığı ve Biyo-erişilebilirliği Üzerine Etkileri</b> <i>Effects of High Hydrostatic Pressure on Bioavailability and Bioaccessibility of Food Components</i>	463-484

## Farklı Su/Çimento Oranlarına Sahip Kalsiyum Alüminat Çimentolu Betonların Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımlarının ve Elastisite Modüllerinin İncelenmesi

Abdülkadir GÜLEÇ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü, 46100, Kahramanmaraş

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-1518-4362>

\*Sorumlu yazar: abdulcadir.gulec@hotmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 29.03.2023

Kabul tarihi: 20.07.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Kalsiyum alüminat çimentolu beton

Yüksek sıcaklık

Su/çimento oranı

### ÖZ

Kalsiyum alüminat çimentosu hızlı sertleşme kabiliyetine sahip, agresif çevre koşullarına (yüksek sıcaklıklara ve asidik ortam) karşı dayanıklı özel bir çimento türüdür. Bu üstün özelliklerinin yanı sıra oldukça kararsız yapısı yapısal uygulamalarda kullanımını büyük ölçüde kısıtlar. Portland çimentosunun aksine hidrasyon mekanizması sıcaklık ve nemden büyük ölçüde etkilenir. Sıcaklık, nem ve zaman etkisiyle hidrasyon sonucu oluşan kararsız bileşikler belli dönüşümlere uğramak suretiyle kararlı hale geçme eğilimindedirler. Bu dönüşümler kalsiyum alüminat çimentolu betonun mekanik özelliklerini negatif biçimde etkiler. Bahsedilen dönüşüm reaksiyonlarına etki eden parametrelerden bir de su/çimento oranıdır. Bu çalışmada, yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalsiyum alüminat çimentolu betonlarda optimum su/çimento oranı araştırılmıştır. Bu kapsamda farklı su/çimento oranlarına sahip (0,35, 0,40, 0,45) kalsiyum alüminat çimentolu betonların normal ve yüksek sıcaklıkta (600 °C) işlenebilirlik durumları, basınç dayanımları ve elastisite modülleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda kalsiyum alüminat çimentolu betonda işlenebilirlik ve dayanım parametreleri birlikte değerlendirildiğinde 0,35-0,40 aralığındaki su/çimento oranının makul bir değer olabileceği tespit edilmiştir.

## Investigation of Compressive Strength and Modulus of Elasticity of Calcium Aluminate Cement Concretes with Different Water/Cement Ratios at High Temperature

### Research Article

#### Article History:

Received: 29.03.2023

Accepted: 20.07.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Calcium aluminate cement concrete

High temperature

Water/cement ratio

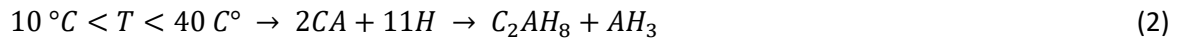
### ABSTRACT

Calcium aluminate cement is a special type of cement that has fast hardening ability and is resistant to aggressive environmental conditions (high temperatures and acidic environment). However, in addition to these superior features, its highly unstable structure greatly limits its use in structural applications. Unlike Portland cement, the hydration mechanism is greatly affected by temperature and humidity. Unstable compounds formed as a result of hydration tend to become stable by undergoing certain transformations with the effect of temperature, humidity and time. These transformations negatively affect the mechanical properties of calcium aluminate cemented concrete. One of the parameters affecting these conversion reactions is the water/cement ratio. In the present study, optimum water/cement ratio was investigated in calcium aluminate cement concrete exposed to high temperatures. In this context, workability degrees, compressive strength and elasticity modules of calcium aluminate cement concretes with different water/cement ratios (0,35, 0,40, 0,45) at normal and high temperatures (600 °C) were investigated. As a result of the study, the water/cement ratio in the range of 0,35-0,40 can be a reasonable value in terms of workability and strength parameters in calcium aluminate cement concrete.

## 1. Giriş

Günümüzde yüksek dayanıma ve dayanıklılığa sahip beton üretiminde kalsiyum alüminat çimentosu bağlayıcı olarak kullanılabilir. Kalsiyum alüminat çimentosu yüksek sıcaklık, asidik ortam ve aşınma kuvvetlerine karşı üstün bir performans gösterir (Scrivener ve ark., 1999; Vafaei ve Allahverdi, 2016). Ayrıca hızlı dayanım kazanma yeteneği sayesinde tamir harcı olarak da kullanılabilir (Ideker ve ark., 2013). Ancak tüm bu üstün özellikleri yanı sıra hidrasyon sürecindeki kararsız yapıları nedeniyle yapısal uygulamadaki kullanımı oldukça sınırlıdır. Portland çimentosuyla üretilen betonlarda hidrasyon sonucu oluşan bileşikler düşük ortam sıcaklıklarından (<100 °C) etkilenmez. Ancak sıcaklık ve nem etkisi ile birlikte kalsiyum alüminat çimentolu betonlarda hidrasyon sonucu oluşan düşük yoğunluklu yarı kararlı bileşikler (CAH<sub>10</sub>, C<sub>2</sub>AH<sub>8</sub>) yüksek yoğunluklu kararlı bileşiklere (C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub>, AH<sub>3</sub>) dönüşme eğilimindedirler. Bu dönüşüm, betonda gözenek oluşumuna ve dolayısıyla dayanım kaybına neden olabilir. Bu nedenle kalsiyum alüminat çimentosunun hidrasyon mekanizmasına etki eden parametrelerin araştırılması dayanım ve dayanıklılık açısından önemli bir konudur. Hidrasyon mekanizmasına etki edebilecek parametrelerden birisi su/çimento oranıdır.

Beton karışım hesabında, su/çimento oranının tespit edilmesi en kritik parametrelerden biridir. Beton karışımında hidrasyon olayının gerçekleşebilmesi için su gereklidir. Çimento su ile reaksiyona girerek karışıma giren diğer bileşenler arasındaki bağı kurar. Suyun bir diğer görevi ise işlenebilirliği artırmaktır (Panda ve ark., 2020). Taze betonun kıvamı ve işlenebilirliği, sertleşmiş betonun performansını önemli ölçüde etkiler. Bu nedenle betonda su/çimento oranının araştırıldığı çalışmalarda işlenebilirlik durumunun da araştırılması gerekir. Bilindiği üzere genel olarak su/çimento oranı ile beton basınç dayanımı arasında ters bir ilişki vardır (Apebo ve ark., 2013). Su/çimento oranı arttıkça gözeneklilik artacağından beton dayanımı azalır (Popovics ve Ujhelyi, 2008). Buna ek olarak, sıcaklık etkisiyle kalsiyum alüminat çimentolu betonlarda hidrasyon sonucu oluşan bileşiklerin dönüşümü sırasında yoğunluk farklılıkları nedeniyle betonda gözeneklilik meydana gelebilir. Kalsiyum alüminat çimentolu betonun sıcaklığa bağlı olarak hidrasyon mekanizması denklem (1-3) de belirtilen kimyasal reaksiyonlarla ifade edildiği gibidir.



Literatür incelendiğinde son yıllarda kalsiyum alüminat çimentolu betonlar ile ilgili çalışmalarda dikkate değer bir artış görülmüştür. Özellikle literatürde konu ile ilgili çalışmaların geniş bir yelpazede var olması inşaat piyasasında kullanımı henüz sınırlı olan kalsiyum alüminat çimentosuna olan ilginin giderek arttığına işaret etmektedir. Roig-Flores ve ark. (2023) kalsiyum alüminat çimentolu

betonlarda farklı agrega tiplerinin betonun termal performansına etkilerini araştırmışlardır. Buna göre kalsiyum alüminat çimentolu betonda termal olarak kararlı ve uygun tane boyutu dağılımına sahip agrega kullanımının yüksek sıcaklıklarda betonda oluşabilecek bozulmaları azaltabildiği bildirilmiştir. Bir başka çalışmada kalsiyum alüminat çimentolu betonda alev geciktirici polimer kullanımının yüksek sıcaklıklarda betonun dayanımını koruma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı (800 °C’de %45’den daha az dayanım kaybı) ve betonun yüksek sıcaklıklarda patlayarak dağılmasını önlediği bildirilmiştir (Zhang ve ark., 2023). Benzer bir çalışmada yüksek dayanımlı beton tasarımında normal çimento yerine kalsiyum alüminat çimentosu kullanımının yüksek sıcaklıklarda betonun parçalanarak dağılmasını büyük oranda engellediği bildirilmiştir. Buna göre normal çimentolu betonda 500 °C’de parçalanma görülebilirken, kalsiyum alüminat çimentolu betonda 1000 °C’de bile parçalanma görülmediği ifade edilmiştir (Khan ve ark., 2023). Kalsiyum alüminat çimentolu betonların yüksek sıcaklıklardaki performansına ilişkin daha önceki yıllarda yapılan çalışmalarda da kalsiyum alüminat çimentolu beton numunelerinin yüksek sıcaklıklardaki dayanım kayıplarının normal çimentolu numunelere kıyasla daha düşük olduğu belirtilmiştir (Khaliq ve Khan, 2015; Baradaran-Nasiri ve Nematzadeh, 2017). Kalsiyum alüminat çimentolu betonlarda su/çimento oranının mekanik özelliklere etkisi ile ilgili çalışmalar ise oldukça sınırlı sayıdadır. Abolhasani ve ark. (2020) konu ile ilgili yaptığı çalışmada su/çimento oranının artmasıyla mikro çatlakların arttığını ve bundan dolayı dayanım özelliklerinin azaldığını bildirmişlerdir. Taramalı elektron mikroskopu görüntülerinde su/çimento oranı 0,5 olan numunelerde daha düşük su/çimento oranına sahip numunelere kıyasla daha yoğun mikro çatlak oluşumu gösterilmiştir. Bununla birlikte su/çimento oranının artmasıyla süneklik ve kırılma tokluğu gibi parametrelerin arttığı belirtilmiştir.

Literatür incelendiğinde yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalsiyum alüminat çimentolu betonların optimum su/çimento içeriğinin tespitine yönelik çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Mevcut çalışmada farklı su/çimento oranlarına sahip kalsiyum alüminat çimentolu betonların normal sıcaklıkta ve yüksek sıcaklıkta (600 °C) basınç dayanımları ve elastisite modülleri tespit edilmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma neticesinde işlenebilirlik durumu da göz önünde bulundurularak kalsiyum alüminat çimentolu betonun optimum su/çimento oranı tespit edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Mevcut çalışmada beton karışımlarında 0,35, 0,40 ve 0,45 olmak üzere 3 farklı su/çimento oranı kullanılmıştır. Karışım oranları Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** 1 m<sup>3</sup> beton için karışım oranı (kg)

Su/çimento oranı	Çimento	Su	İnce Agrega	Kaba agrega	SP
0,35	460	162	892	955	1,76
0,40	460	185	860	925	1,76
0,45	460	207	830	892	-

Her oran için 12 silindir (100x200 mm), 12 küp numune (150x150x150 mm) üretilmiştir. Kontrol dışı parametreleri minimize etmek için tüm numuneler aynı gün aynı laboratuvar koşullarında hazırlanmışlardır. Döküm prosedürü tüm numuneler için tamamen aynıdır. Tüm numunelerde KAÇ-40 tipi çimento kullanılmıştır. KAÇ çimentosunun özgül ağırlığı 3,30, Blaine değeri 3200 cm<sup>2</sup>/g'dır. Kullanılan çimentonun bünyesinde bulunan önemli bileşikler aşağıdaki Tablo 2'de ifade edilmiştir. Beton karışımlarında Kahramanmaraş bölgesinden elde edilen kalker kökenli kırma agregalar kullanılmıştır. İnce agrega olarak 0-4 mm, kaba agrega olarak 4-8 mm tane çapı aralığına sahip agrega kullanılmıştır. Agrega özgül ağırlığı 2,65 olarak tespit edilmiştir. Kullanılan agregaların granülometrisi TS 802 (2016) standartlarına uygundur. Karışımda kullanılan agregalar karışıma girmeden önce 24 saat suda bekletilerek kuru yüzey doygun hale getirilmişlerdir. Beton karışımlarında akışkanlaştırıcı olarak Glenyum 51 tipi akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Beton karışımı hazırlanırken yapılan pilot çalışmalarda kalsiyum alüminat çimentolu beton karışımının normal beton karışımına kıyasla malzemelerin ağırlıklarına ve nem durumlarına çok daha fazla duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle karışıma giren malzemelerin tartım ve nem durumuna yüksek hassasiyet gösterilmiştir. Hazırlanan taze betonların işlenebilirlik durumlarının değerlendirilebilmesi için her gruba ayrı ayrı çökme deneyleri yapılmıştır. Sonrasında taze betonlar kalıplara dökülmüş ve 24 saat sonra kalıplardan çıkartılmışlardır. Kalıptan çıkarılan tüm numuneler 28 gün 23 °C suda kürlenmişlerdir. Kür sonrası betondaki serbest suyu uzaklaştırmak için numuneler 100 °C'de fırında 24 saat bekletilmişlerdir. Bu sayede numunelerden serbest su uzaklaştırılırken aynı zamanda kalsiyum alüminat çimentolu betonlarda dönüşüm reaksiyonlarının oluşması sağlanmış ve nispeten numunelerin daha kararlı bir halde testlerinin yapılması hedeflenmiştir. Basınç testleri TS EN12390-3 standartlarına uygun bir biçimde 2000 kN kapasiteli cihazda, 0,25 MPa/s yükleme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Elastisite modülleri ASTM C469/C469M şartnamesine göre gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Test iki etapta gerçekleştirilmiştir. İlk etapta herhangi bir yüksek ısıyla maruz bırakılmamış numuneler test edilmiş, ikinci etapta ise 600 °C sıcaklıkta 2 saat bekletilen numuneler test edilmişlerdir. 600 °C sıcaklıkta 2 saat bekletilen numuneler test öncesi 24 saat oda sıcaklığında soğutulmuştur ve herhangi bir ön yük uygulamadan teste tabi tutulmuşlardır. Isıtma hızı 0,5 °C/dk olarak belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. Elastisite modülü deneyi



Şekil 2. 600 °C'de ısıtma işlemi

Tablo 2. Kalsiyum alüminat çimentosu kimyasal bileşimi

Çimento	Bileşikler (%)			
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
KAÇ-40	39,92	34,10	3,23	15,44

### 3. Bulgular ve Tartışma

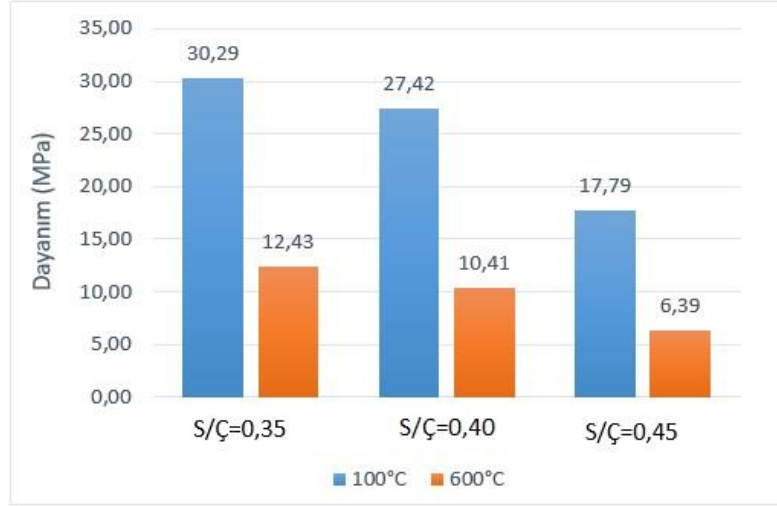
Taze betonda TS EN 12350-2 standartlarına uygun olarak çökme deneyleri yapılmıştır. Su/çimento oranının değişmesiyle birlikte işlenebilirlik durumu da değişmiştir. Çökme deneyi esnasında herhangi bir segregasyon ile karşılaşılmamıştır. Buna göre su/çimento oranı 0,35 olan beton S2 (65 mm) kıvam sınıfında, su/çimento oranı 0,40 ve 0,45 oranlarındaki betonlar ise sırasıyla S4 (210 mm) ve S5 (240 mm) kıvam sınıflarında yer almaktadırlar (Şekil 3). Su/çimento oranı 0,35 olan numunelerin işlenebilirliklerinin diğer oranlardaki numunelere kıyasla oldukça düşük olduğu değerlendirilebilir. Yüksek su/çimento oranına sahip beton karışımındaki fazla su iç sürtünmeyi azaltarak işlenebilirliği artırmıştır (Arslan ve ark., 2005). Çökme deneyi sonucu kalsiyum alüminat çimentolu betonun işlenebilirlik durumunun normal çimentolu betona göre su/çimento oranındaki artıştan daha fazla etkilendiği değerlendirilebilir. Aynı tespit akışkanlaştırıcı oranı için de geçerlidir. Pilot çalışmalarda akışkanlaştırıcı miktarının gereğinden bir miktar fazla kullanıldığı veya su/çimento oranının 0,50'nin üzerinde olduğu durumlarda agrega tanelerinin harçtan kolaylıkla ayrılabilirdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Çökme deneyi

Basınç testi sonuçları Şekil 4 ve Tablo 3'te gösterilmiştir. Basınç testi yapılmadan önce betonun içindeki serbest suyun uzaklaştırılması için numuneler 24 saat 100 °C fırında bekletilmişlerdir. Normal betonda bu uygulama sonrası herhangi bir dayanım kaybı görülmez iken kalsiyum alüminat çimentolu beton dayanımında azalma görülebilir. Bunun nedeni ısı sebebiyle hidrasyon ürünlerinin dönüşüme uğramasıdır. Bu sayede hiç ısıtılmamış numunelere kıyasla daha kararlı hale gelen numunelerin 600 °C'ye kadar ısıtılmaları sonrasında yaşayacağı basınç dayanım kaybı oranları daha gerçekçi olarak tespit edilebilmiştir. Portland çimentolu normal betonda olduğu gibi su/çimento oranı arttıkça basınç dayanımları tüm numunelerde azalmıştır. Yüksek ısıya maruz kalmamış su/çimento oranı 0,35 olan numunelerin silindir basınç dayanımı ortalamaları 30,29 MPa, küp basınç dayanımları ortalaması 37,94 MPa'dır. Yüksek ısıya maruz kalmamış su/çimento oranı 0,40 ve 0,45 olan numuneler için silindir basınç dayanımları ortalamaları sırasıyla su/çimento oranı 0,35 olan numunelere göre %9,5 ve %41,30 oranında azalmıştır. Ortalama küp basınç dayanımları ise sırasıyla %7,20 ve %32,90 oranında

azalmıştır. Su/çimento oranının 0,40 oranının üzerine çıkmasıyla basınç dayanımda ciddi bir kayıp olduğu değerlendirilebilir. Bunun nedeni, su/çimento oranının artmasıyla birlikte hidrasyon işleminde kullanılmayan suyun boşluk oluşturması ve bunun neticesinde betonun daha gözenekli bir yapıya sahip olmasıdır. Gözenek miktarının artması nihai basınç dayanımını azaltır (Chen ve ark., 2013).



Şekil 4. Sıcaklığa bağlı basınç dayanımı sonuçları

Tablo 3. Basınç dayanımı ve elastisite modülü testi sonuçları

Su/çimento oranı	Sıcaklık	Numune tipi	Dayanım (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
0,35	100 °C	Silindir	30,29	32451
		Küp	37,94	
	600 °C	Silindir	12,43	5951
		Küp	19,30	
0,40	100 °C	Silindir	27,42	30112
		Küp	35,21	
	600 °C	Silindir	10,41	5002
		Küp	16,02	
0,45	100 °C	Silindir	17,79	26931
		Küp	25,48	

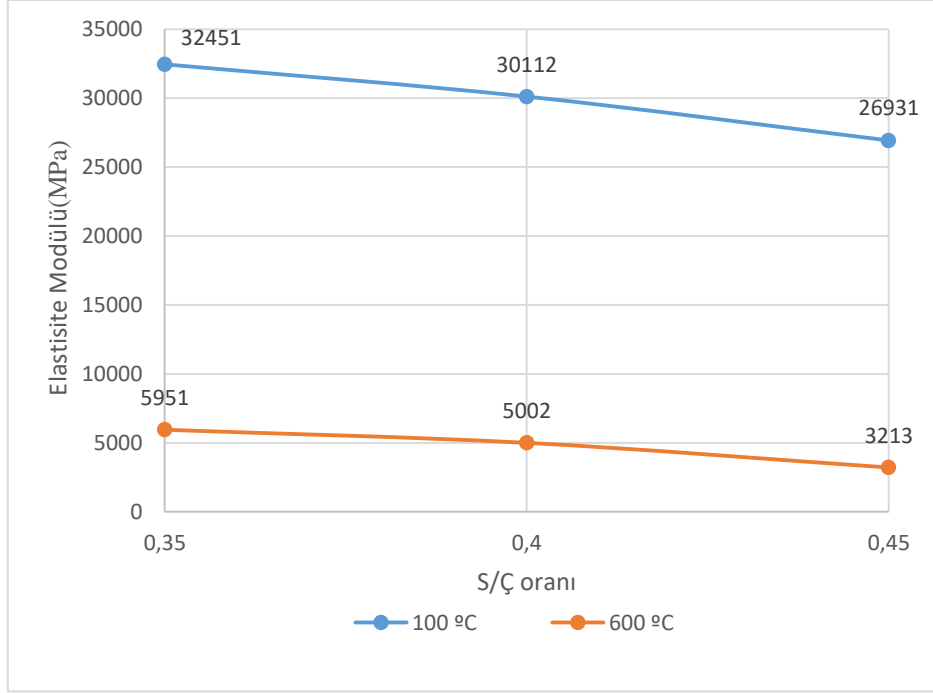


600 °C	Silindir	6,39	3213
	Küp	10,43	

Yüksek ısıya maruz kalmış (600 °C) tüm numunelerin basınç dayanımları beklenildiği gibi azalmıştır. Normal çimentolu betonda 300 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda büyük ölçüde betonun basınç dayanımından sorumlu olan CSH bileşiğinin dehidratasyonu başlar. Bu nedenle bu sıcaklığın üzerinde betonun basınç dayanımı azalmaya başlar. 530 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise Ca(OH)<sub>2</sub> ayrışarak CaO bileşiğine dönüşür. Bu durum büzölmeye neden olur. Soğuma sonrası bu kimyasal dönüşüm tersine hareket eder ve hacim artışına neden olur. Tekrarlanan hacim değişimleri betonda çatlaklara neden olur ve dayanım özelliklerini olumsuz etkiler (Arioz, 2007). Kalsiyum alüminat çimentolu betonların yüksek ısılar altındaki davranışı normal çimentolu betondan farklıdır. 200 °C-300 °C'de AH<sub>3</sub> ve C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub> dehidratasyonu başlar. Isı yükseldikçe 500 °C-800 °C arasında C<sub>12</sub>A<sub>7</sub> bileşiği oluşmaya başlar (Antonovič ve ark.,2013). Bu nedenle yüksek ısılar altında normal çimentolu betonun davranışı ile kalsiyum alüminat çimentolu betonun davranışı farklı su/çimento oranları için farklılık gösterebilir. Mevcut çalışmada, yüksek sıcaklık etkisiyle su/çimento oranı 0,35, 0,40 ve 0,45 olan numunelerin ortalama silindir basınç dayanımları sırasıyla %59,01, %62,10 ve %64,09 oranlarında azalmıştır. Ortalama küp basınç dayanımları ise sırasıyla %49,14, %54,51, %59,07 oranlarında azalmıştır. Yüksek sıcaklıklarda basınç dayanımındaki bu düşüşler literatürdeki benzer çalışma sonuçları ile örtüşmektedir (Khaliq ve Khan, 2015). En yüksek dayanım kaybı ve en yoğun çatlak oluşumu, su/çimento oranı 0,45 olan numunelerde gözlemlenmiştir. Bunun sebebi su/çimento oranı arttıkça çimento matrisindeki ve çimento agrega ara yüzündeki gözenek miktarının artması ve dolayısıyla bağ kuvvetinin azalması olabilir. Yüksek sıcaklıklar altında beton dayanımındaki düşüşler genel olarak dönüşüm reaksiyonları sonucu mikro yapının bozulmasına atfedilebilir. Boyut etkisine bağlı olarak silindir/küp basınç dayanımı oranlarının normal çimentolu betonlardaki silindir/küp basınç dayanımı oranlarına benzer olduğu değerlendirilmesi yapılabilir. Normal betonlarda olduğu gibi düşük basınç dayanımı seviyelerinde silindir/küp basınç dayanımı oranının azaldığı görülmüştür. Literatüre benzer şekilde basınç dayanımı azaldıkça silindir numunelerin basınç dayanımı değerleri küp numunelerin basınç dayanımı değerlerinden uzaklaşmıştır (Şanal, 2018).

Elastisite modülü basınç dayanımı ile doğrudan ilişkilidir. Bundan dolayı şartnamelerde teorik elastisite modülü hesaplamaları basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Şekil 5'te de görülebileceği gibi su/çimento oranı arttıkça elastisite modülü azalmıştır. Normal sıcaklıktaki elastisite modülündeki azalma trendi literatürle uyumludur (Felekoğlu ve ark., 2007). 600 °C'ye kadar ısıtılmış numunelerde, su/çimento oranı 0,45 olan numunelerde elastisite modülündeki azalma miktarı diğer oranlara göre en yüksektir. Su/çimento oranı 0,35, 0,40 ve 0,45 olan numunelerde sıcaklık artışı ile birlikte sırasıyla elastisite modülündeki azalma miktarı %81,67, %83,39, %88,07 oranlarındadır.

Yüksek su/çimento oranına sahip numunelerin çimento matrisindeki ve çimento agrega ara yüzündeki gözenek miktarı daha çoktur (Yıldırım ve Sengul, 2011). Bu nedenle sıcaklık artışına bağlı olarak dönüşüm reaksiyonları sonucu su/çimento oranı yüksek olan numunelerin mikro yapılarının daha çok bozulduğu yorumu yapılabilir. Şekil 5'te yüksek sıcaklığa bağlı olarak elastisite modülündeki azalma trendi ifade edilmiştir. Su/çimento oranı yüksek olan numunelerde 600 °C ısı sonrası çatlak oluşumunun diğer numunelere göre daha çok olması bu durumu doğrulayabilir. Şekil 6'da su/çimento oranı 0,45 olan numunedeki çatlak oluşumunun su/çimento oranı 0,35 olan numuneye kıyasla daha belirgin olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Sıcaklığa bağlı elastisite modül değişimleri



Şekil 6. Yüksek sıcaklık sonrası çatlak oluşumları

#### **4. Sonuçlar**

Mevcut çalışmada farklı su/imento oranlarına sahip kalsiyum alüminat çimentolu numunelerin işlenebilirlik durumları incelenmiş bununla beraber normal sıcaklıkta ve yüksek sıcaklıkta (600 °C) basınç dayanımları ve elastisite modülleri tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1-Mekanik testler öncesinde yapılan ön ısıtma kalsiyum alüminat çimentolu numunelerde dönüşüm reaksiyonlarını tetiklemiş ve testler yapılmadan önce numuneler basınç dayanımlarının önemli bir kısmını kaybetmişlerdir. Böylece nispeten daha kararlı numuneler üzerinde testler yapılmıştır. Yüksek ısıya maruz kalmamış numunelerde su/imento oranının 0,40'ın üzerine çıkmasıyla numunelerde basınç dayanımı ve elastisite modülündeki azalma miktarında artış gözlemlenmiştir.

2-Su/imento oranı yüksek olan numunelerde hidrasyon sürecine katılmayan su, imento matrisindeki ve imento-agrega ara yüzündeki gözenek miktarını ve kılcal çatlakları artırmıştır. Bu nedenle yüksek sıcaklıkla birlikte imento matrisi nispeten daha az rijit olan yüksek su/imento oranına sahip numunelerde mikroyapı diğer numunelere göre daha fazla bozulmuş ve bu nedenle basınç dayanımı ve elastisite modülleri diğer numunelere göre daha fazla miktarda azalmıştır.

3-Su/imento oranı 0,35 olan numunelerin normal ve yüksek sıcaklıkta basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri diğer numunelere kıyasla en yüksektir. Ancak yapılan çökme deneylerinde işlenebilirlik performansının diğer numunelerin gerisinde kaldığı tespit edilmiştir. Özellikle hızlı sertleşme ve düşük işlenebilirlik durumunun birlikte olduğu bu durumda taze betonun kalıplara yerleştirilmesinde belirli sıkıntıların yaşanabileceği tespit edilmiştir. Bu nedenle kalsiyum alüminat çimentolu betonlarda hem işlenebilirlik hem de dayanım özellikleri göz önünde bulundurulduğunda su/imento oranının 0,35-0,40 arasında seçilmesi daha uygun olabileceği değerlendirmesi yapılmıştır.

#### **Teşekkür**

Bu alışma 2021/2-31 M proje numarası ile Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

#### **ıkar atışması Beyanı**

Çalışmada belirtilecek çıkar atışması bulunmamaktadır.

#### **Araştırmacı Katkı Oranı Beyanı Özeti**

Yazar bu çalışmaya % 100 oranında katkı sağlamıştır.

## **Kaynaklar**

- Abolhasani A., Nazarpour H., Dehestani M. The fracture behavior and microstructure of calcium aluminate cement concrete with various water-cement ratios. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* 2020; 109: 102690.
- Antonovič V., Kerienė J., Boris R., Aleknevičius M. The effect of temperature on the formation of the hydrated calcium aluminate cement structure. *Procedia Engineering* 2013; 57: 99-106.
- Apebo NS., Shiwua AJ., Agbo AP., Ezeokonkwo JC., Adeke PT. Effect of water-cement ratio on the compressive strength of gravel-crushed over burnt bricks concrete. *Civil and Environmental Research* 2013; 3(4): 74-81.
- Arioz O. Effects of elevated temperatures on properties of concrete. *Fire Safety Journal* 2007; 42(8): 516-522.
- Arslan EI., Aslan S., Ipek U., Altun S., Yazicioğlu S. Physico-chemical treatment of marble processing wastewater and the recycling of its sludge. *Waste Management and Research* 2005; 23(6): 550-559.
- ASTM C469/C469M Standard test method for static modulus of elasticity and poisson's ration of concrete in compression. ASTM International West Conshohocken, 2014.
- Baradaran-Nasiri A., Nematzadeh M. The effect of elevated temperatures on the mechanical properties of concrete with fine recycled refractory brick aggregate and aluminate cement. *Construction and Building Materials* 2017; 147: 865-875.
- Chen X., Wu S., Zhou J. Influence of porosity on compressive and tensile strength of cement mortar. *Construction and Building Materials* 2013; 40: 869-874.
- Felekoğlu B., Türkel S., Baradan B. Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete. *Building and Environment* 2007; 42(4): 1795-1802.
- Ideker JH., Gosselin C., Barborak R. An alternative repair material. *Concrete International* 2013; 35(4): 33-37.
- Khaliq W., Khan HA. High temperature material properties of calcium aluminate cement concrete. *Construction and Building Materials* 2015; 94: 475-487.
- Khan M., Lao J., Ahmad MR., Kai MF., Dai JG. The role of calcium aluminate cement in developing an efficient ultra-high performance concrete resistant to explosive spalling under high temperatures. *Construction and Building Materials* 2023; 384: 131469.
- Panda S., Sarkar P., Davis R. Effect of water-cement ratio on mix design and mechanical strength of copper slag aggregate concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2020; 936: 012019.
- Popovics S., Ujhelyi J. Contribution to the concrete strength versus water-cement ratio relationship. *Journal of Materials in Civil Engineering* 2008; 20(7): 459-463.

- Roig-Flores M., Lucio-Martin T., Alonso MC., Guerreiro L. Evolution of thermo-mechanical properties of concrete with calcium aluminate cement and special aggregates for energy storage. *Cement and Concrete Research* 2021; 141: 106323.
- Scrivener KL., Cabiron JL., Letourneux R. High-performance concretes from calcium aluminate cements. *Cement and Concrete Research* 1999; 29(8): 1215-1223.
- Şanal İ. Beton basınç dayanım testlerinde küçük ebatlı küp beton numunelerin yaygın kullanımı için şekil-boyut etkisinin detaylı incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 2018; 20(58): 103-120.
- TS EN 12350-2 Testing fresh concrete- Part 2: Slump test. Turkish Standards Institute Ankara, 2010.
- TS EN 12390-3 Concrete-Hardened concrete tests- Part 3: Determination of compressive strength in test samples. Turkish Standards Institute Ankara, 2019.
- TS 802 Design of concrete mixes. Turkish Standards Institute Ankara, 2016.
- Vafaei M., Allahverdi A. Influence of calcium aluminate cement on geopolymerization of natural pozzolan. *Construction and Building Materials* 2016; 114: 290-296.
- Yıldırım H., Sengul O. Modulus of elasticity of substandard and normal concretes. *Construction and Building Materials* 2011; 25(4): 1645-1652.
- Zhang T., Zhang M., Chen Q., Zhu H., Yan Z. Enhancing the thermo-mechanical properties of calcium aluminate concrete at elevated temperatures using synergistic flame-retardant polymer fibres. *Cement and Concrete Composites* 2023;140: 105088.

## Haar Dalgacık Yöntemi ile Diferansiyel Denklemlerin Çözümü

Esra Zeynep ŞENSOY<sup>1\*</sup>, Tarık BARAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye

<sup>2</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8305-6373>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4977-9951>

\*Sorumlu yazar: ezeynepsensoy@osmaniye.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 06.04.2023

Kabul tarihi: 21.07.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Haar dalgacıkları

Diferansiyel denklemler

Sayısal çözüm

Haar matrisleri

Üniform ve üniform olmayan çözüm aralığı

### ÖZ

Bu makalede, diferansiyel denklemlerin Haar dalgacık yöntemi ile sayısal çözümü, çözüm aralığının üniform (eşit alt aralıklı) veya üniform olmayan (eşit olmayan alt aralıklı) olmasına göre iki kategoride incelenmiştir. Sayısal çözümün yapıldığı aralıkta artımların üniform olup olmaması Haar dalgacıkları ve integrallerinin hesaplanmasında etkili olmaktadır. Haar dalgacıkları  $[0, 1]$  aralığında tanımlanır.  $[0, 1]$  aralığından farklı bir aralıktaki bir diferansiyel problem için, çözüm aralığı alt sınır ve üst sınır farkı ve bu farkın kuvvetlerinin kullanılması ile  $[0, 1]$  aralığındaki Haar matrislerinin çözüm aralığına taşınabildiği görülmüştür. Böylece farklı bir dönüşüme gerek kalmaz. Üniform olmayan Haar matrisleriyle, çözüm aralığının kritik bölgelerinde hassasiyet artırılabilir. Kesinliği iyileştirmek için, çözüm bölgesinde bir kollokasyon noktası sıklaştırma tekniği geliştirilmiştir. Hem geliştirilen hem de literatürde mevcut olan sıklaştırma teknikleri ile yapılan sayısal çözümler, kesin çözümlerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada incelenen diferansiyel denklemler için geliştirilen sıklaştırma yöntemi kullanılarak elde edilen sayısal sonuçlar ile kesin çözümler arasında yüksek bir uyum gözlemlenmiştir.

## Solution of Differential Equations with the Haar Wavelets Method

### Research Article

#### Article History:

Received: 06.04.2023

Accepted: 21.07.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Haar wavelets

Differential equations

Numerical solution

Haar matrices

Uniform and non-uniform interval solution

### ABSTRACT

In this paper, the numerical solution of differential equations with the Haar wavelet method is examined in two categories according to whether the solution interval is uniform (equal sub-spaced) or non-uniform (unequal sub-spaced). Whether the increments are uniform or not in the range of numerical solution is effective in the calculation of Haar wavelets and their integrals. Haar wavelets are defined in the range  $[0, 1]$ . For a differential problem is defined in an interval different from the interval  $[0, 1]$ , it is seen that the matrices defined in the solution interval can be defined by multiplying a coefficient obtained depending on the interval and the powers of this coefficient with the Haar matrices. Thus, there is no need for a different transformation. With non-uniform Haar matrices, the precision can be increased in the critical regions of the solution range. To improve the precision a collocation point increment method was developed in the solution region. Numerical solutions both developed and available in the literature are compared to exact solution. For the examined differential equations in this work, good agreements have been observed between the obtained numerical results that employ developed increment method and the exact solutions.

## 1. Giriş

Dalgacıklar dönüşümü doğal bilim, mühendislik, astronomi, akustik, nükleer mühendislik, alt bant kodlaması, nörofizyoloji, müzik, manyetik rezonans görüntüleme, konuşma ayırt etme, optik, fraktallar, türbülans, deprem-tahmin, kısmi diferansiyel denklemlerin çözülmesi, görüntü sıkıştırma, sinyal işleme ve radar uygulamaları gibi birçok alandaki uygulamada kullanılmaktadır (Graps, 1995). Dalgacık terimi, küçük bir dalga anlamına gelir. Bu tanım, fonksiyonun sonlu uzunlukta olması ve fonksiyonun salınımlı olması koşulunu ifade eder (Berwal ve ark., 2013). Dalgacıklar, verileri farklı frekans bileşenlerine bölen ve ardından her bileşeni kendi ölçeğine uygun bir ayrıştırma ile inceleyen matematiksel işlevlerdir. Dalgacık analizinde verileri çözümlmek için kullanılan ölçek özel bir rol oynar. Dalgacık algoritmaları, verileri farklı ölçeklerde veya çözünürlüklerde işlemektedir (Graps, 1995). Dalgacık dönüşümünde kullanılacak çok sayıda dalgacık tipi vardır. Haar, Daubechies, Mexican Hat, Symlet, Morlet, Coiflet, Coiflet-Daubechies-Feauveau, Meyer, Shannon, Legendre, Gaussian, Villasenor örnek olarak verilebilecek öne çıkan dalgacık aileleridir (Mehra ve ark., 2009; Lepik ve Hein, 2015).

Dalgacıklar konusunda ilk çalışma Alfred Haar'ın çalışmasıdır (Haar, 1910). Haar, çalışmasında sonlu bir aralığın dışında kaybolan, sürekli olarak türevlenmeyen bir yapıyı ortaya koymuştur.  $[0, 1]$  aralığında tanımlı bir ortogonal sistemi ortaya koyan bu yapıya Haar dalgacıkları denir. En basit dalgacıklardan olan Haar dalgacı, tekli dikdörtgen basamaklardan (block-pulse) oluşur (Stanković ve Falkowski, 2003). Bu tanımlama ile Haar, problemin sonsuz sayıda çözümü olduğunu gösterir. Varolüneş'in bildirdiğine göre Levy ise, parçacıkların hareketini modellemede, Haar dalgacıklarının, Fourier temel fonksiyonlarına oranla daha iyi sonuç verdiğini ispatlamıştır (Varolüneş, 2013). Sinyal işleme, fonksiyonların enerjisini hesaplama gibi alanlarda en çok kullanılan dalgacık türü Daubechies dalgacıklarıdır. 1980'lerde Haar fonksiyonunun aslında 1. dereceden Daubechies dalgacı olduğu da gösterilmiştir (Lepik ve Hein, 2014). Haar dalgacıkları sinyal işleme vb. işlemler yanında karmaşık diferansiyel denklemlerin çözümünde de etkin olarak kullanılabilir. Haar dalgacı fonksiyonları topolojik uzayın dışında da sıfır değerini alabilen en basit ortonormal dalgacık türü olarak da tanımlanmaktadır. Haar dalgacı yapısı gereği bazı noktalarda süreksizdir ve bu noktalarda türevler mevcut olmadığından diferansiyel denklem çözümlerinin Haar dalgacığına doğrudan uygulanması mümkün olmamaktadır (Lepik, 2005).

Cattani, süreksizlik problemini, parçalı sabit Haar fonksiyonunu bağ interpolasyonları (spline) ile birleştirerek çözmüştür. Böylece, belirsizliğin olduğu yerlerde çok parçalı eğrilerin oluşturduğu yüksek derecede türevlenebilir sistem ortaya çıkmıştır (Cattani ve Pecoraro, 2000; Cattani, 2004). Chen ve Hsiao (1997) farklı olarak, diferansiyel denklemdeki en yüksek türevin Haar serisine genişletildiği integral yöntemi kullanmıştır. Bu yöntemde türevli fonksiyonların integrali alınıp, sınır

koşullarının dahil edilmesiyle integral sabitleri hesaplanır. Böylece, diferansiyel denklem doğrusal bir denkleme dönüşür. Cattani (2004), integral aralığının parçalara ayrıldığında, hesaplamadaki karmaşıklığın azaltılabileceğini göstermiştir ve bu yöntemle Haar dönüşümü adını vermiştir.

Lepik (2005), çalışmasında adi ve kısmi diferansiyel denklemlerin Haar dalgacıkları yardımı ile sayısal çözümleri için segmentasyon yöntemini önermiştir. Majak ve ark. (2018) ise, diferansiyel ve integral denklemlerin çözümleri için yüksek mertebeden Haar dalgacık yöntemi geliştirmişlerdir. Chen ve Hsiao'dan farklı olarak, daha yüksek dereceli fonksiyonların dalgacık açılımı konusunda çalışmalar yapmışlardır. Bu yeni yöntemde, integrasyon sabitlerinin sayısı; problemin mevcut sınır koşulları sayısını aşmaktadır. Bu integrasyon sabitlerini belirlemek için bazı ek koşullar ve kavramlar önermişlerdir. Bu yöntemle göre dalgacık genişletme suretiyle yakınsamanın artıp, mutlak hatanın azaldığını göstermişlerdir. Maleknejad ve Mirzaee (2005), rasyonelleştirilmiş Haar dalgacığı ile Fredholm integral denklemlerini çözmüşlerdir. Dalgacığın çözünürlüğünün artması ile kesin sonuca yakınsamanın arttığını belirtmişlerdir. Lepik (2007), Haar dalgacığı yöntemine uzaysal operatörler uygulayarak bazı özel kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde yeni bir yöntem önermiştir. Lepik (2011), diğer bir çalışmasında Poisson denklemi ve Difüzyon denklemi örneklerini kısmi diferansiyel denklem çözümünde Haar dalgacıkları kullanarak hesaplamıştır. Heydari ve ark. (2022), yüksek dereceden adi diferansiyel denklemleri çözmek için problemin başlangıç ve sınır koşullarından bazılarının bilinmediği durumlarda bir çözüm önermişlerdir. Üniorm kollokasyon değerleri ile sisteme dahil olan denklemlerin kendi içinde çözülmesini örneklendirmişlerdir.

Haar dalgacıkları ile diferansiyel denklem çözümünde yaygın olarak kabul gören Lepik ve Hein'in çalışmaları, çözüm aralığının üniform ve üniform olmaması durumuna göre yapılandırılmıştır (Lepik ve Hein, 2014). Problemin çözülemediği veya grafiğine ait pik noktalarındaki sapmalar için üniform olmayan yapıya özel grid noktaları tanımlanmıştır (Lepik, 2008). Ayrıklaştırma işlemi ile diferansiyel denklem çözümünü sayısallaştırmıştır. Majak ve ark. (2015) yaptığı çalışmada, Haar dalgacıkları, parçalı sabit fonksiyon ikililerinden meydana geldikleri için ayrıklaştırmanın kolay olduğunu belirtmiştir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalardan yola çıkılarak, diferansiyel denklemlerin sayısal çözümünde ayrıklaştırmadan faydalanarak, bu çalışmada eşit alt aralıklı ve eşit olmayan alt aralıklı çözümün kesin çözüme yakınsamaya etkisi incelenmiştir. Bu çalışma için Lepik ve Hein (2014) tarafından verilen Haar matrisi algoritmaları kullanılarak diferansiyel denklem çözümleri için bir bilgisayar programı hazırlanmış ve seçilmiş denklemler sayısal olarak çözülmüştür. Problemin sınır değerleri veya bazı pik noktalarındaki sapmalar için sıklaştırma algoritmaları kullanılarak hata oranı düşürülmüştür. Lepik'in vermiş olduğu sıklaştırma algoritmasına ek olarak bu çalışmada oluşturulan yeni bir sıklaştırma algoritmasının da oldukça etkin olduğu örneklerle gösterilmiştir. Üniform Haar matrislerinin çözümde kullanılması durumunda, üst sınır alt sınır farkı ile elde edilen sayının ve kuvvetlerinin matrislerde çarpan olarak kullanıldığında, matrislerin çözüm aralığına genişletilebildiği de görülmüştür. Çalışmada ilk kısımda Haar matrisleri tanıtılacak, daha sonra diferansiyel



denklemlerin Haar matrisleri ile çözümü açıklanacak ve sayısal uygulamalar ve doğrulamalar yapılacaktır. Geliştirilen aralık genişletme ve sıklaştırma algoritmaları literatürdeki sonuçlar ve analitik çözümler ile karşılaştırılarak etkinliği gösterilecektir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Haar Dalgacıkları

Haar dalgacık ailesi,  $A$  ve  $B$  sabit değerler olmak üzere  $x \in [A, B]$  aralığında aşağıdaki gibi tanımlanır (Lepik ve Hein, 2014):

$$h_i(x) = \begin{cases} 1 & x \in [\xi_1(i), \xi_2(i)), \\ -1 & x \in [\xi_2(i), \xi_3(i)), \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de yer alan dönüşüm uzayı değişkenleri aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} \xi_1(i) &= A + 2k \mu \Delta x, \\ \xi_2(i) &= A + (2k + 1)\mu \Delta x, \\ \xi_3(i) &= A + 2(k + 1)\mu \Delta x, \quad \mu = \frac{M}{m}. \end{aligned} \quad (2)$$

Eşitlikte,  $J$  maksimum çözünürlük seviyesini belirtir,  $M$  dalgacık aralığının yarı mesafesini gösterir ve  $M = 2^J$  olarak kullanılır.  $[A, B]$  aralığı  $2M$  şeklinde eşit uzunluktaki alt aralıklara bölündüğünde her bir alt aralığın uzunluğu  $\Delta x = \frac{B-A}{2M}$  ile ifade edilir.  $j$  ölçek parametresi ( $j = 0, 1, \dots, J$ ),  $k$  ise kaydırma parametresidir.  $k$  dalgacığın  $x$  eksenindeki konumunu belirler ve  $k = 0, 1, \dots, m - 1$  ( $m = 2^j$ ) olarak tanımlanır. Dalgacık numarasını ifade eden  $i$  parametresi ise  $i = m + k + 1$  eşitliğinden bulunur. Bu eşitlikler  $i > 2$  koşulu için geçerlidir.  $x \in [A, B]$  aralığında,  $i = 1$  olması durumunda ölçek fonksiyonu  $h_1(x) = 1$ , diğer yerlerde  $h_1(x) = 0$  olacaktır.  $i = 2$  için,  $\xi_1(2) = A$ ,  $\xi_2(2) = 0.5(2A + B)$ ,  $\xi_3(2) = B$  olarak alınır.  $i$ .inci dalgacık genişliği aşağıdaki gibidir:

$$\xi_3(i) - \xi_1(i) = 2 \mu \Delta x = (B - A)m^{-1} = (B - A)2^{-j} \quad (3)$$

Haar fonksiyonunda  $j$  artırılırsa dalgacıklar arası mesafe kısalmakta, çözünürlük ve yakınsamalar daha belirgin olmaktadır.  $k$ ,  $0$ 'dan  $m - 1$ 'e değişirse,  $i$ .dalgacık  $\xi_1(i)$  başlangıç noktası  $x = A$ 'dan  $x = \frac{A+(m-1)B}{m}$ 'ye hareket eder.  $j$  ve  $k$  parametreleri adım sayısının sıklığını belirler.

Haar dalgacık ailesi, ortogonal fonksiyonlardan oluşur yani aşağıdaki bağıntı geçerlidir:

$$\int_A^B h_i(x)h_l(x)dx = \begin{cases} (B - A)2^{-j}, & l = i \\ 0, & l \neq i \end{cases} \quad (4)$$

Haar dalgacıklarının integralleri Lepik tarafından analitik olarak aşağıdaki gibi verilir (Lepik, 2005):

$$p_{v,i}(x) = \int_A^x \int_A^x \dots \int_A^x h_i(t)dt^v = \frac{1}{(v-1)! \int_A^x (x-t)^{v-1} h_i(t)dt} \quad (5)$$

$v = 1, 2, \dots, n \quad i = 1, 2, \dots, 2M$

Burada  $A$  problem aralığının başlangıç değerini,  $t$  türev değişkenini,  $v$  ise Haar dalgacık ailesini ifade eder. Eşitlik (1) dikkate alınarak, yüksek dereceden türevlerin integralinin alınması ile Eşitlik (6)

oluşturulur. Eşitliklerin sınır koşulları ile integral sabitleri bulunur. Diferansiyel denklem çözümlerinde ihtiyaç duyulan Haar dalgacıklarının integralleri aşağıdaki gibi belirlenebilir (Lepik ve Hein, 2014):

$$p_{\alpha,i}(x) = \begin{cases} 0, & x < \xi_1(i) \\ \frac{1}{\alpha!} [x - \xi_1(i)]^\alpha, & x \in [\xi_1(i), \xi_2(i)] \\ \frac{1}{\alpha!} \{ [x - \xi_1(i)]^\alpha - 2[x - \xi_2(i)]^\alpha \}, & x \in [\xi_2(i), \xi_3(i)] \\ \frac{1}{\alpha!} \{ [x - \xi_1(i)]^\alpha - 2[x - \xi_2(i)]^\alpha + [x - \xi_3(i)]^\alpha \}, & x > \xi_3(i) \end{cases} \quad (6)$$

Bu eşitlikler  $i > 1$  durumu için geçerlidir.  $i = 1$  durumunda,  $\xi_1 = A$ ,  $\xi_2 = \xi_3 = B$  olur ve Eşitlik (6) kullanılarak  $i = 1$  durumu yazılabilir:

$$p_{\alpha,1}(x) = \frac{1}{\alpha!} (x - A)^\alpha \quad (7)$$

Haar dalgacıklarının integralleri  $p_{\alpha,i}(x)$  vektörlerini, bu vektörler de  $2M \times 2M$  boyutlu  $\mathbf{P}$  matrislerini oluşturur. Diferansiyel denklem çözümlerinde Haar matrisi ise  $\mathbf{H}$  ( $2M \times 2M$ ) ile gösterilir (Lepik, 2005).  $x \in [A, B]$  aralığında integrali alınabilen  $f = f(x)$  fonksiyonunun Haar dalgacıkları ile ifadesi  $f(x) = \sum_{i=1}^{2M} a_i h_i(x)$  şeklindedir. Burada  $a_i$ , Haar dalgacık katsayılarıdır. Bu eşitlik matris formunda aşağıdaki verilebilir:

$$\mathbf{f} = \mathbf{aH} \quad (8)$$

Burada,  $\mathbf{a} = (a_i)$  ve  $\mathbf{f} = (f_i)$  ise  $2M$  boyutlu satır vektörleridir. Eşitlik (8)'in matris formundaki çözümü için öncelikle, hesaplamalarla katsayı vektörü  $\mathbf{a}$  aşağıdaki gibi bulunur:

$$\mathbf{a} = \mathbf{fH}^{-1} \quad (9)$$

Eşitlikte  $\mathbf{H}^{-1}$ ,  $\mathbf{H}$  Haar matrisinin tersidir. Hesaplanan  $\mathbf{a}$  vektörü, Eşitlik (8)'de yerine yazılarak fonksiyonun ifadesi elde edilir.

Diferansiyel denklemlerin sayısal çözümleri için Haar dalgacıkları ayrık formda elde edilmelidir. Ayrıklaştırma için, kollokasyon metodu yaygın olarak kullanılan yöntemdir (Lepik ve Hein, 2014). Değer hesaplanacak noktalar sabit aralıklarla (uniform grid) kullanılacaksa aralıklar aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{x}_l = A + l\Delta x \quad l = 0, 1, \dots, 2M \quad (10)$$

Kollokasyon noktaları ise, iki grid noktasının Haar grafiğindeki basamakların orta noktası olarak tanımlanır:

$$x_l = 0.5 (\tilde{x}_{l-1} + \tilde{x}_l) \quad l = 1, \dots, 2M \quad (11)$$

$h_i(x)$  Haar dalgacığı,  $p_{\alpha,i}(x)$  integralleri ve  $p_{\alpha,1}(x)$  özel koşulu eşitliklerinde (Eşitlikler 1, 6, 7)  $x$  yerine  $x_l$  yazılması ile ilgili noktalarda tanımlı Haar matrisleri elde edilir. Her biri  $2M \times 2M$  boyutlu  $H, P_1, P_2, \dots, P_v$  matrisleri oluşturulmuş olur. Ayrıklaştırma ile matrisler  $H(i, l) = h_i(x_l)$ ,  $P_v(i, l) = p_{vi}(x_l)$ , ( $v = 1, 2, \dots$ ) olarak yazılır (Lepik ve Hein, 2014).

Diferansiyel denklemlerin Haar dalgacı ile ayrıklaştırılması ile Eşitlik (8)'in ayrık formu,  $x_l$  kollokasyon noktaları olmak üzere  $\hat{f}(x_l) = \sum_{i=1}^{2M} a_i h_i(x_l)$  ile ifade edilir. Eşitlik (8)'den bulunan  $a$  vektörü, yerine yazıldığında,  $J$  çözünürlük seviyesi için  $f(x)$  fonksiyonunun dalgacık yaklaşımı elde edilmiş olur.  $\hat{f}(x_l)$ ,  $f(x)$ 'in yaklaşık ifadesidir. Bu durumda hata fonksiyonu  $\Delta_J$  ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\Delta_J = \Delta x \sum_{l=1}^{2M} [f(x_l) - \hat{f}(x_l)]^2 \quad (12)$$

Haar dalgacıları, parçalı sabit fonksiyonlar grubuna ait olduğu için eğer fonksiyon yeterince düzgünse, parçalı sabit fonksiyon için yakınsama hızı olan  $O(M^{-2})$  ifadesi Haar dalgacıları için de geçerli kabul edilebilir. Dolayısıyla, adım noktalarının sayısının iki katına çıkarılmasıyla hatanın kabaca dört kat azalması beklenir (Lepik ve Hein, 2014).

### 2.1.1. Çözüm Aralığının Düzenlenmesi

Dalgacık analizinde  $x \in [A, B]$  aralığı genellikle eşit uzunlukta düzgün alt aralıklara ayrılır. Eşit uzunluktaki alt aralıklar için en temel kavram Haar dalgacık için  $A = 0$  ve  $B = 1$  olduğu durumdur. Çözüm aralığı sınırlarının farklı değerlerde olması durumunda problem formülasyonu düzenlenerek sınırlar  $[0, 1]$  aralığına taşınır. Bu çalışmada literatürden farklı olarak, sınırlar formülasyon esnasında düzenlenmek yerine asıl aralıkta problemin tanımlanması için,  $\mathbf{P}$  integral matrisleri Eşitlik (13)'teki gibi elde edilen bir katsayı ile çarpılarak matrisler istenilen aralığa taşınır. Bu işlem sayısal olduğu için sınırların çözümden önce analitik işlemlerle çözüm aralığının taşınmasına göre daha hızlı ve zahmetsizdir. Yapılan işlem basit bir skaler, matris çarpımı olduğu için hassasiyet kaybı oluşmamaktadır. Çözümde eşit olmayan alt aralıklar kullanılırsa Haar matrisleri otomatik olarak bu aralıklarda türetildiğinden ayrıca matrislerin bu çarpıma ihtiyacı olmaz.

$$\gamma = (B - A)^\alpha \mathbf{P} \quad (13)$$

Eşitlik (13)'teki  $\alpha$  parametresi, ilgili  $\mathbf{P}$  integral matrisine ait integral derecesini ifade etmektedir.

### 2.1.2. Üniorm Haar Dalgacıları

$x \in [A, B]$  aralığı eşit uzunluklu alt aralıklara ayrıldığında, bu tip seriye üniform Haar dalgacıları adı verilir. Üniform Haar dalgacıları ile çalışmak işlem ve hesap kolaylığı sağlar. Ancak çözümün kararsız, asimptotik vb. durumlarında iyi hassasiyet vermez.

### 2.1.3. Üniorm Olmayan Haar Dalgacıları

Haar dalgacık serisine açılan fonksiyonlarda problem sınır değer veya başlangıç değer problemi değilse, sınır şartları türev ifadelerine bağlı ise, tekillik (singularity) veya  $x \in [A, B]$  aralığında sonsuz durum söz konusu ise üniform yaklaşımla hassas çözüme ulaşmak mümkün değildir. Çünkü fonksiyonların süreksiz olduğu noktalarda türevleri mevcut değildir. Bu tip problemlere; sınır değer problemleri, zayıf tekil integral denklemler, süreksizlikler ve sistemin ani değiştiği problemler örnek

olarak verilebilir. Bu tür durumlarda ani değişen bölgelerde veya belli bir aralıkta daha hassas çözüm istenen bölgelerde kollokasyon noktalarının artırılması gerekir. Belirli aralıkta sıklaştırma yapılmasıyla kesin çözüme yakınsama elde edilir (Lepik ve Hein, 2014).

$x \in [A, B]$  aralığı, her bir aralığın eşit olup olmadığı fark etmeksizin istenilen biçimde  $2M$  alt aralığa ayrılır.  $l = 0, 1, \dots, 2M - 1$  için  $\tilde{x}(0) = A$ ,  $\tilde{x}(2M) = B$ ,  $\tilde{x}(l + 1) > \tilde{x}(l)$ .

$i$  dalgacık sayısı olmak üzere Haar dalgacık ailesi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$h_i(x) = \begin{cases} 1 & x \in [\xi_1(i), \xi_2(i)), \\ -c_i & x \in [\xi_2(i), \xi_3(i)), \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (14)$$

Eşitlik (14)'te yer alan değişkenler

$$\begin{aligned} \xi_1(i) &= x(2k\mu) \\ \xi_2(i) &= x[(2k + 1)\mu] \\ \xi_3(i) &= x[2(k + 1)\mu], \quad \mu = \frac{M}{m} \end{aligned} \quad (15)$$

olmak üzere,  $c_i$  katsayıları aşağıdaki koşuldan hesaplanır:

$$\int_A^B h_i(x) dx = 0 \quad (16)$$

$$c_i = \frac{\xi_2(i) - \xi_1(i)}{\xi_3(i) - \xi_2(i)} \quad (17)$$

Bu eşitlikler  $i > 2$  için geçerlidir.  $i = 1$  ve  $i = 2$  durumunda  $\xi_1(1) = A$ ,  $\xi_2(1) = \xi_3(1) = B$ ,  $\xi_1(2) = A$ ,  $\xi_2(2) = \tilde{x}(M)$ ,  $\xi_3(2) = B$  geçerlidir. Alt aralıklara bağlı olarak değişen sıklaştırma ile Eşitlik (14)'ün  $\alpha$  defa integralinin alınması sonucu  $p_{\alpha,i}(x)$  vektörleri aşağıdaki gibi elde edilir (Lepik ve Hein, 2014).

$$p_{\alpha,i}(x) = \begin{cases} 0 & x < \xi_1(i) \\ \frac{1}{\alpha!} [x - \xi_1(i)]^\alpha & x \in [\xi_1(i), \xi_2(i)] \\ \frac{1}{\alpha!} \{ [x - \xi_1(i)]^\alpha - (1 + c_i) [x - \xi_2(i)]^\alpha \} & x \in [\xi_2(i), \xi_3(i)] \\ \frac{1}{\alpha!} \{ [x - \xi_1(i)]^\alpha - (1 + c_i) [x - \xi_2(i)]^\alpha + c_i [x - \xi_3(i)]^\alpha \} & x > \xi_3(i) \end{cases} \quad (18)$$

Sayısal çözümde kullanılmak üzere kollokasyon noktaları ile sıklaştırma yapmak çözüme yakınsama sağlar. Lepik (2008)'in verdiği sıklaştırma algoritmaları şöyledir:

$$\begin{aligned} x(l) &= l\Delta x_1 & l &= 1, \dots, \frac{M}{2} \\ x\left(l + \frac{M}{2}\right) &= x_* + l\Delta x_2 & l &= 1, \dots, M \\ x\left(l + \frac{3M}{2}\right) &= x_{**} + l\Delta x_3 & l &= 1, \dots, \frac{M}{2} \end{aligned} \quad (19)$$

Lepik, ara bölgelerde çalışması için  $\Delta x_i$  ara mesafelerini önermiştir. Burada  $\Delta x_1, \Delta x_2$  ve  $\Delta x_3$  arasındaki mesafeler ile özel olarak seçilen  $x_*$  ve  $x_{**}$  değerleri problemin çözüm aralığında eşit olmayan alt aralıklar oluşturup sıklaştırma yaparak üniform olmayan durumun sebep olduğu

çözüksüzlüğün veya çözümdeki ani sıçramalara yakınsama sağlar. Eşitlik (19)'da  $x_l$  kollokasyon noktaları olmak üzere, Eşitlik (8) yeniden düzenlenirse;

$$Y^n = aH$$

Burada  $Y$  çözümün vektörü,  $Y(l) = y[x_c(l)]$ 'dir. Problemde yer alan en yüksek türevli ifadenin Haar fonksiyonu olduğu kabulüne göre,  $n$ .dereceden türev sonucu elde edilecek eşitliklerde görülen  $X_c$  vektörü  $x_c(l)$  kollokasyon noktalarından oluşan bileşenlerdir.

Lepik (2005), üst sınır noktalarında geçerli olmak üzere  $q$  ifadeleri ile gösterilen ikinci bir sıklaştırma algoritması önermiştir.  $q < 1$  için  $\Delta x_l = q\Delta x_{l-1}$  alt aralık uzunlukları koşulu vardır ( $l = 1, \dots, 2M$ ). Elde edilen alt aralıkların uzunlukları toplamı aşağıda tanımlanmıştır:

$$\Delta x_l(1 + q + q^2 + \dots + q^{2M-1}) = 1 \quad (20)$$

Eşitlik (20)'deki geometrik seri toplamı ile sıklaştırma alt aralığı aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\Delta x_l = \frac{1-q}{1-q^{2M}} \quad (21)$$

Bu yönteme göre grid noktaları gösterimi şöyledir:

$$\tilde{x}_l = \frac{1-q^l}{1-q^{2M}}, \quad l = 0, 1, \dots, 2M \quad (22)$$

Lepik tarafında verilen algoritmadan farklı olarak bu çalışmada, kollokasyon noktalarını istenilen aralıkta yoğunlaştırmak için bir algoritma geliştirilmiştir. İlk önce sıklaştırmanın istendiği aralık ve aralıkta kaç kollokasyon noktası kullanılacağı sorgulanır. Bu veriler sırasıyla;  $x_{ara-baş}$ ,  $x_{ara-bit}$ ,  $M_{nokta}$ , aralık başlangıç noktası, bitiş noktası ve aralıktaki nokta sayısıdır. Çözümlemelerde toplam  $2M$  adet çözüm noktalarından  $M$  adedinin istenilen hassasiyet için yeterli olduğu görülmüştür. Sıklaştırma aralığında en fazla  $2M - 2$  adet nokta kullanılabilir. Kalan noktalar, problemin sıklaştırma aralığı dışında kalan bölgeler için ayrılmıştır. Doğal olarak sıklaştırma bölgesi dışında kalan bölge için daha fazla nokta kullanmak çözüm açısından önemlidir. İleride sayısal uygulamalardan görüleceği üzere çözümde ani değişimlerin ve tutarsız bölgelerin olduğu kısımlarda sıklaştırma yapmak gereklidir.

Çözüm aralığı  $[A, B]$  olan bir problemde, kollokasyon noktaları  $2M$  adet olmak üzere aşağıdaki gibi çözüm bölgesine dağıtılabilir:

$$\begin{aligned} x_1(l) &= l\Delta x_1 & l &= 1, \dots, \frac{M}{2}, & x_1(l) &\in [A, x_{ara-baş}] \\ x_2(l) &= x_1\left(\frac{M}{2}\right) + l\Delta x_2 & l &= 1, \dots, M, & x_2(l) &\in [x_{ara-baş}, x_{ara-bit}] \\ x_3(l) &= x_2(M) + l\Delta x_3 & l &= 1, \dots, \frac{M}{2}, & x_3(l) &\in [x_{ara-bit}, B] \end{aligned} \quad (23)$$

Eşitlik (23)'te  $\Delta x_1 = \frac{x_{ara-baş} - A}{\frac{M}{2}}$ ,  $\Delta x_2 = \frac{x_{ara-bit} - x_{ara-baş}}{M}$ ,  $\Delta x_3 = \frac{B - x_{ara-bit}}{\frac{M}{2}}$  şeklindedir.

Geliştirilen algoritma ile bu sıklaştırma, Lepik sıklaştırmalarından farklı olarak istenilen hassasiyete daha fazla yaklaştırılabilir.

Bu çalışmada önerilen sıklaştırma algoritması Eşitlik (19) ile verilen algoritmanın geliştirilmiş halidir. Bununla birlikte iki bölgede sıklaştırma algoritması da ayrıca geliştirilmiş ancak sonuçlarda anlamlı

bir iyileşme sağlamamıştır. Bu iyileşmenin çözünürlüğün çok artırılması ile ortaya çıkacağı öngörülebilir.

## 2.2. Haar Dalgacıkları ile Diferansiyel Denklem Çözümü

Haar dalgacıkları cinsinden  $n$ . Derece bir diferansiyel denklem aşağıdaki gibidir:

$$\sum_{\nu}^n A_{\nu}(x)y^{(\nu)}(x) = f(x), \quad x \in [\alpha, \beta] \quad (24)$$

$n$ . dereceden doğrusal adi diferansiyel denklem için başlangıç koşulları ise  $y^{(\nu)}(A) = y_0^{(\nu)}$  ( $\nu = 0, 1, \dots, n - 1$ ) olarak tanımlanmıştır (Lepik, 2009a). Eşitlik (24)'te  $A_{\nu}(x)$  ve  $f(x)$  probleme ait bilinen fonksiyonlar,  $y_0^{(\nu)}$  ise başlangıç koşulunda verilen sabit değerdir. Haar dalgacığı çözümü için en yüksek dereceden türevli ifadenin (Eşitlik 25),  $n - \nu$  defa integrali alınır.

$$y^{(n)}(x) = \sum_{i=1}^{2M} a_i h_i(x_l) \quad (25)$$

$$y^{(\nu)}(x) = \sum_{i=1}^{2M} a_i p_{n-\nu,i}(x) + Z_{\nu}(x), \quad Z_{\nu}(x) = \sum_{\sigma=0}^{n-\nu-1} \frac{1}{\sigma!} (x - A)^{\sigma} y_0^{(\nu+\sigma)} \quad (26)$$

Burada  $a_i$  dalgacık katsayılarıdır. Kollokasyon noktaları için  $x$  yerine  $x_l$  kullanılır. Eşitlik (8) ve (9)'daki adımlar izlenerek  $a_i$  katsayıları bulunur.  $\nu = 0$  varsayılarak istenilen fonksiyon  $y = y(x)$  elde edilir (Lepik, 2009a).

### 2.2.1. Haar Dalgacıklarının Yakınsaklığı

Haar dalgacıkları ile çözülen denklemin, gerçek değerle ne kadar tutarlı sonuç verdiğini hata oranı belirler.  $y = y_{ex}(x)$  kesin çözüm olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanır (Lepik, 2009a).

$$\delta_{ex} = \max_l \left| \frac{y(x_l)}{y_{ex}(x_l)} - 1 \right| \quad \text{Yerel hata} \quad (27)$$

$$\sigma_{ex} = \left\| y - \frac{y_{ex}}{2M} \right\| \quad \text{Genel hata} \quad (28)$$

## 3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde kesin çözümü olan ve literatürden seçilen diferansiyel denklem çözümleri Haar dalgacık yöntemi ile çözülmüş ve elde edilen bulgular verilmiştir. Hesaplamalar MATLAB (2020b) kullanılarak yapılmıştır. Analitik ve sembolik işlemlerdeki tanımlamalar ve hesap kolaylığı sebebiyle MATLAB kullanımı öne çıkmaktadır.

**Uygulama 1.**  $y^{(6)}(x) + y(x) = \sin\left(\frac{3}{2}\right)x \sin\left(\frac{1}{2}\right)x$ ,  $x \in [0, \pi]$  denklemini için başlangıç değerleri  $y_0 = 1$ ,  $y_0' = -1$ ,  $y_0'' = 0.3$ ,  $y_0''' = 0$ ,  $y_0^{IV} = 0$ ,  $y_0^V = 1$  olarak verilen denklem Lepik'in (Lepik,

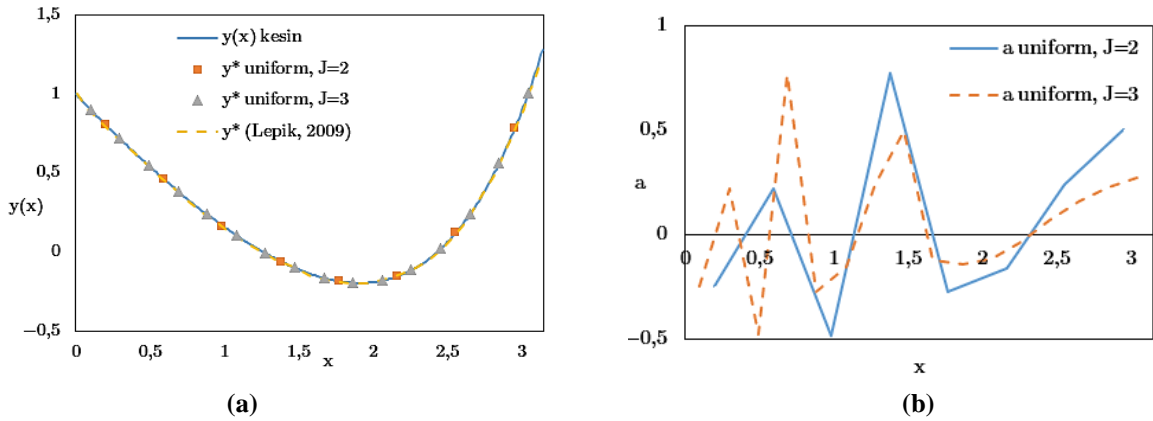
2009a) çalışmasında yer almaktadır. Bu çalışmaya katkı olarak sunulan Eşitlik (13)'ten yararlanılarak, Haar dalgacıkları ile çözüm aşamaları ve sonuçları aşağıda yer almaktadır.

Problem aralıklarına ait kollokasyon noktaları hesaplanır. Diferansiyel denklemi ifade eden Eşitlik (24)'e göre bu denklemin en yüksek dereceden Haar fonksiyonunun gösterimi

$$y^{(6)}(x) = \sum_{i=1}^{2M} a_i h_i(x_i) \quad \text{Eşitlik (24) ile belirlenir. Eşitlik (25)'e göre } y(x) = \sum_{i=1}^{2M} a_i p_{6,i}(x) +$$

$$\sum_{\sigma=0}^6 \frac{1}{\sigma!} (x-0)^\sigma y_0^{(\sigma)} \quad \text{işlemleri yapılır. Eşitlik (9)'daki gibi bilinmeyen } \mathbf{a} \text{ vektörlerini bulmak için}$$

Eşitlik (9)'un sağ tarafında yer alan Haar integral matrisleri aralığının düzenlenmesi gerekir. Sınırların dönüştürülmesi yerine, problem formülasyonunda yapılan bu değişiklik; integral matrislerini, fonksiyonun yer aldığı derecenin katsayı çarpanı olarak kullanılması ile işlemleri genelleştirmeyi amaçlar. Bu örnek için problem çözümünde yer alan 6.dereceden Haar integral matrisi için düzenleme  $(\pi-0)^6 P_6$  olacaktır. Eşitlik (9)'un sağ tarafının bu düzenleme ile çözülmesi ile diferansiyel denkleme ait sonuç aşağıdaki gibidir. Bu örnek üniform aralıklı olarak çözülmüştür.



**Şekil 1.** (a)  $J = 2$  ve  $J = 3$  için diferansiyel denklem çözümü, (b)  $J = 2$  ve  $J = 3$  değerlerine karşılık  $a$  katsayılarındaki değişim

Çözünürlük seviyesini ifade eden  $J$  parametresi arttıkça denklem çözümde kullanılan kollokasyon nokta sayısı da artar. Böylece sayısal sonuçlar kesin çözüme daha fazla yakınsar. Eşitlik (27) ve (28) ile denklemin kesin çözümüne ait hata oranları hesaplanmıştır.

**Tablo 1.**  $J = 2$  ve  $J = 3$  için hata oranları

	Yerel Hata	Genel Hata
$J = 2$	0,119644	0,004674
$J = 3$	0,03489	0,00085

Şekil 1(b),  $a$ 'daki değişim ile hata oranları arasındaki ilişkiyi gösterir.  $a$ 'ların sifıra yakınsaması hatanın azaldığının göstergesidir. Şekil 1(b)'den görüldüğü gibi,  $J$  çözünürlük değerlerinin artmasıyla Haar fonksiyonundaki  $a$  katsayı vektöründeki değerler sifıra yakınsamaktadır. Bu durumda Şekil

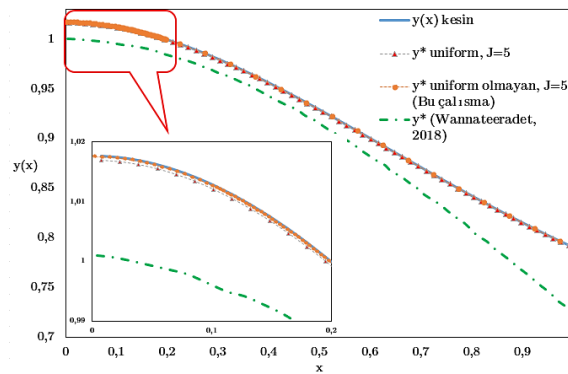
1(a)'da görülen karşılaştırmalı grafiklerinden görüldüğü gibi, Haar çözümleri kesin çözüme daha fazla yakınsar. Tablo 1'de verilen hata oranları çözünürlükteki ( $J$ ) artışın hata oranında büyük oranda azalmaya yol açtığını sayısal olarak ortaya çıkartmaktadır.

**Uygulama 2.**  $y''(x) + y'(x) + y(x) = \sin x$  için  $[0, 1]$  çözüm aralığında sınır değerler  $y'(0) = 0$ ,  $y(0,2) = 1$  olarak verilen denklem Wannateeradet'in (2018) çalışmasından alınmıştır. Üniform ve üniform olmayan aralıklara  $J$  çözünürlük değerleri 3, 5, 7 ve 9 alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Üniform olmayan hesaplamada sıklaştırma noktaları problemde verilen sınır şartları  $(0, 0,2)$  aralığında ve sayıları en fazla  $\frac{2m}{2} - 2$  kadarı bu aralıkta kalacak şekilde çözülmüştür. Tablo 2'de yer alan sonuçlara göre sıklaştırma yapılması durumunda hata oranlarının azaldığı görülür. Haar çözümünde uygulanan sıklaştırma ile kesin çözüm sonuçlarına, Wannateeradet tarafından verilen sonuçlardan daha iyi bir yakınsama elde edilmiştir.

**Tablo 2.**  $J = 3, 5, 7$  ve  $9$  için sıklaştırma kullanılmadığında ve sıklaştırma varken hata oranları

	Yerel Hata		Genel Hata	
	Sıklaştırma olmadan ( $\times 10^{-7}$ )	Sıklaştırma varken ( $\times 10^{-7}$ )	Sıklaştırma olmadan ( $\times 10^{-7}$ )	Sıklaştırma varken ( $\times 10^{-7}$ )
$J = 3$	6602,34	1308,55	1444,15	242,20
$J = 5$	775,19	261,12	48,56	16,56
$J = 7$	452,33	68,13	7,19	1,08
$J = 9$	109,13	19,84	0,43	0,08

Üniform aralıklı çözüm yönteminde  $J$  çözünürlüklerinin artması ile kesin çözüme yakınsama sınırlı kalmakta iken, üniform olmayan aralıklı çözümde aralıkların sıklaştırılması ile kesin çözüme yakınsama artmaktadır. Bu sonuçlar Şekil 2'de ve Tablo 2'de verilen hata değerlerinde açıkça görülmektedir.



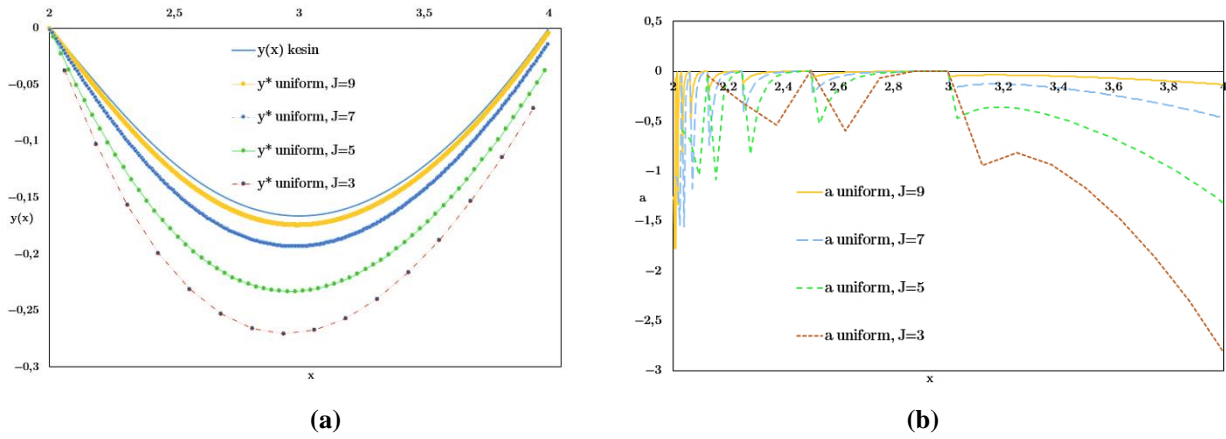
**Şekil 2.** Wannateeradet'in Haar çalışması (Wannateeradet, 2018), sıklaştırma yokken ve varken geliştirilen algoritmaya göre Haar ile çözümdeki yakınsamaların karşılaştırılması

**Uygulama 3.**  $x^2 y''' + 6xy'' + 6y' = 6$   $x \in [2, 4]$  denklemi için sınır koşulları  $y(2) = y(4) = 0$ ,  $y'(3) = 0$  olarak verilen denklem Lepik ve Hein (2014)'in çalışmasında yer almaktadır. Çözümde sınır şartları kullanılırken, hesaplamalarda denklem sistemindeki katsayılarda eşitlik durumu ortaya çıktığı için denklemler sadeleşmekte ve sistem çözümsüzleşmektedir. Lepik, bu tip sistemleri çözmek



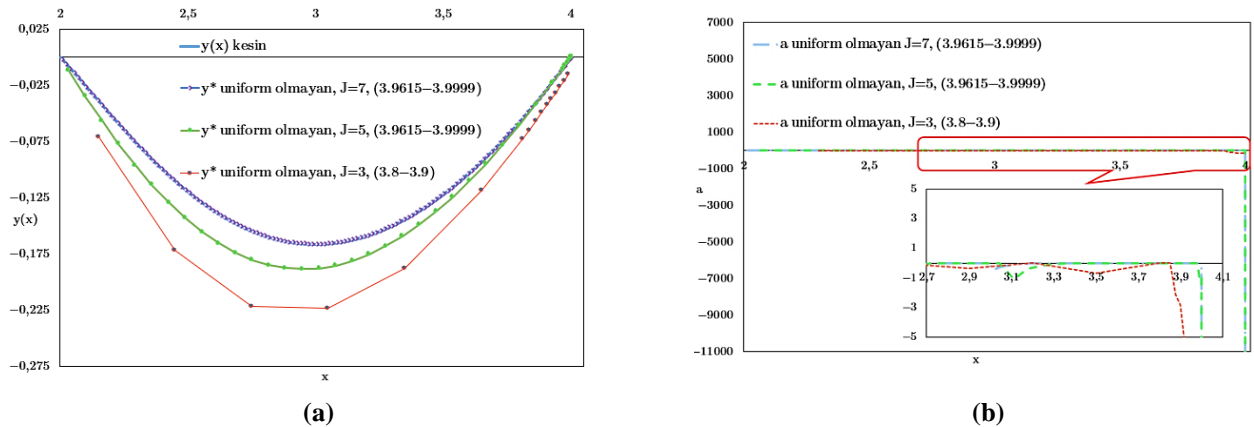
için çözümsüz sistemi  $\mu=0$  olarak tanımlamış, çözüm için  $\mu=1$  şeklinde başka bir tanım yapmıştır.  $\mu=0$  durumunda Haar serisine açılım  $y^{(n)}$  teriminden başlarken,  $\mu=1$  durumu  $y^{(n+v)}$  teriminden başlar ( $v=1, 2, \dots$ ) (Lepik, 2009b).  $\mu=1$  durumu ile genişletilmiş Haar serisine açılımı kullanılarak denklem çözülebilir.

Sınır değer problemi olarak verilen diferansiyel denklem üniform olarak ele alındığında,  $J$  değerinin üniform çözümde artırılmasının problemde etkili bir yakınsama sunmadığı Şekil 3(a)'da görülmektedir. Şekil 3(b)'de Haar katsayıları, sınır şartlarında hatayı artıran bir grafik çizmektedir.



Şekil 3. (a)  $J = 3, 5, 7$  ve  $9$  için diferansiyel denklemin üniform aralıklı olarak çözümü, (b)  $J = 3, 5, 7$  ve  $9$  için diferansiyel denklemin üniform aralıklı çözümü ile  $a$  katsayılarındaki değişim

Diferansiyel denklemin üniform aralıklı çözümünün kesin sonuca iyi bir yakınsama sağlamadığı açıktır.  $a$  katsayılarındaki sapma miktarı  $x = 3$  değerlerinden sonra oldukça büyük bir artış gösterdiği için özellikle bu bölgede üniform olmayan çözümde sıklaştırma ile yakınsama elde edilmelidir. Şekil 4'te sınır şartının verildiği  $x = 4$  noktasına, Haar kollokasyon noktasının yakın oluşması için yapılan çözümü göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi kesin çözüme en iyi yaklaşıklık yüksek çözünürlük ve sınır şartının bulunduğu noktada sıklaştırmanın yapıldığı olduğu  $J = 7$  durumundadır. Haar kollokasyon noktasının  $x = 4$ 'e en yakın olduğu durumda en iyi yaklaşıklık elde edilmiştir.



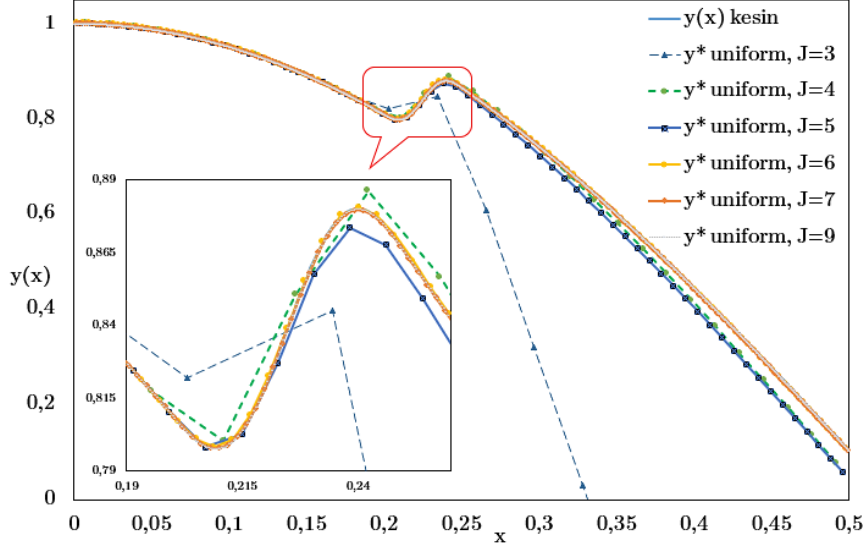
**Şekil 4. (a)**  $J = 3, 5$  ve  $7$  için diferansiyel denklemin bu çalışmadaki sıklaştırma kullanılarak üniform aralıklı olmayan çözümü, **(b)**  $J = 3, 5$  ve  $7$  için diferansiyel denklemin bu çalışmadaki sıklaştırma kullanılarak üniform aralıklı olmayan çözümü ile  $a$  katsayılarındaki değişim ( $J$  çözünürlükleri hesabında sıklaştırma uygulanan aralık  $(3,9615-3,9999)$  ve  $(3,8-3,9)$  olarak ifade edilmiştir.)

**Tablo 3.**  $J = 3, 5$  ve  $7$  için sıklaştırma kullanılmadığında ve sıklaştırma varken hata oranları

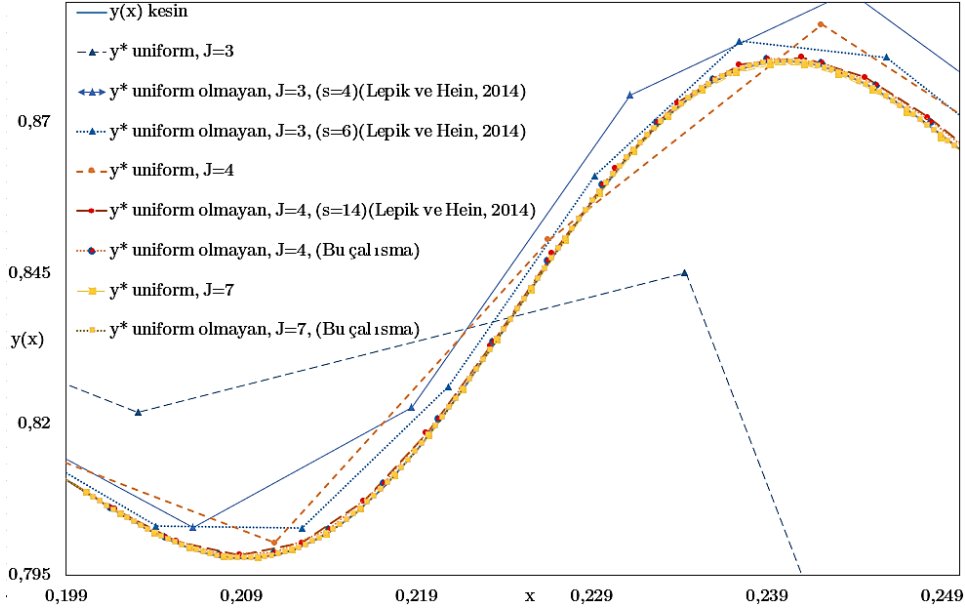
	Sıklaştırma varken aralıklar ve kollokasyon sayıları (k.s.)		Yerel Hata		Genel Hata	
			Sıklaştırma olmadan $\mu=1$ ( $\times 10^{-4}$ )	Sıklaştırma varken $\mu=1$ ( $\times 10^{-4}$ )	Sıklaştırma olmadan $\mu=1$ ( $\times 10^{-4}$ )	Sıklaştırma varken $\mu=1$ ( $\times 10^{-4}$ )
$J = 3$	(3,8-3,9)	k.s.=4	27249,06	47306,70	209,94	81,94
$J = 5$	(3,8-3,9)	k.s.=4	9115,11	8037,10	26,35	27,71
	(3,8-3,9)	k.s.=12		358,77		1,95
	(3,9615-3,9999)	k.s.=4		4073,23		13,41
	(3,92-3,9999)	k.s.=20		392,29		1,21
$J = 7$	(3,8-3,9)	k.s.=4	3746,19	5287,35	0,94	2,16
	(3,9615-3,9999)	k.s.=4		34,32		0,02

Sınır şartlarının olduğu  $x = 4$  noktasına yakın olduğu için bu nokta civarında kollokasyon noktalarının sıklaştırılmasının daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Tablo 3'te görüldüğü gibi yerel ve genel hata oranları  $J$  değerlerinin artması ile azalma göstermektedir. Çözünürlüğün katkısının yanısıra sıklaştırma uygulanması ile kesin çözüme yakınsamanın daha iyi olduğu açıkça görülmektedir. Sıklaştırma bölgesinde kollokasyon nokta sayılarının etkisi,  $J = 5$  için Tablo 3'te ayrıntılı olarak verilmiştir. Kollokasyon noktalarının artırılması ile yerel hata 0,036 değerine kadar düşmektedir.

**Uygulama 4.**  $y'' + k^2y = f$   $x \in [2, 4]$  denklemi için  $f = \begin{cases} d \sin(\alpha x) & x \in [x_*, x_{**}] \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases}$  ve sınır koşulları  $y(2) = y(4) = 0$ ,  $y'(3) = 0$  olarak verilen denklem, Lepik ve Hein (2014)'in çalışmasında yer almaktadır.  $k = \pi$ ,  $d = 400$ ,  $\alpha = 40\pi$ ,  $x_* = 0,2$ ,  $x_{**} = 0,25$  seçimi ile problem, çözüm aralığı  $\Delta x_l$  şeklinde 3 alt aralığa ayrılmış olup Eşitlik (19) sıklaştırma algoritması ve Eşitlik (23)'te verilen denklemin grafiğinde ani değişim gösteren bölgelerde alt aralıklarda sıklaştırma yaparak üniform olmayan metot kullanılarak kesin çözüme daha iyi bir yakınsama sağlanmaktadır.



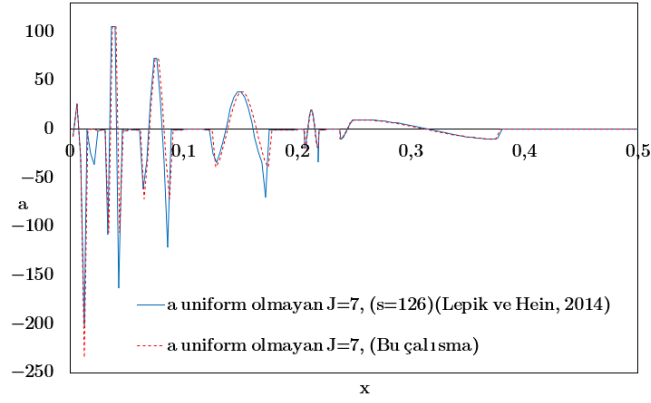
Şekil 5.  $J = 3, 5, 7$  ve  $9$  için diferansiyel denklemin üniform aralıklı olarak çözümü



Şekil 6.  $J = 3, 4$  ve  $7$  için diferansiyel denklemin üniform ve üniform olmayan aralıklı çözümü (s: Lepik ve Hein'in yönteminde seçilen bölgede kullanılan nokta sayısı)

Şekil 5'te üniform aralıklı çözümde asimptotik davranışın bulunduğu aralıkta sıklaştırma uygulanarak Şekil 6'daki çözüme ulaşılır. Lepik ve Hein'nin kullandığı sıklaştırma algoritmasına ilave olarak geliştirilen bu çalışmadaki sıklaştırmanın en iyi sonuç verdiği grafikten görülmektedir. Çözünürlüğün artmasının kesin çözüme yakınsamaya katkısı ve sıklaştırma algoritmasının istenilen aralıkta istenilen sayıda kollokasyon noktalarının seçimi ile en uygun çözüm elde edilmektedir.

Şekil 7'de görülen ve  $J = 7$  için verilen  $a$  katsayıları Şekil 5 ve 6 ile incelendiğinde, yüksek çözünürlük durumu için sıfıra yakınsamanın arttığı ve kesin çözüme yakınsaklığında paralel olarak arttığı görülmektedir. Bu çalışmada geliştirilen sıklaştırma algoritmasının Lepik tarafından verilene göre daha küçük  $a$  değerleri türettiği Şekil 7'den anlaşılabilir.



Şekil 7.  $J = 7$  için diferansiyel denklemin üniform olmayan aralıklı çözümü ile  $a$  katsayılarındaki değişim

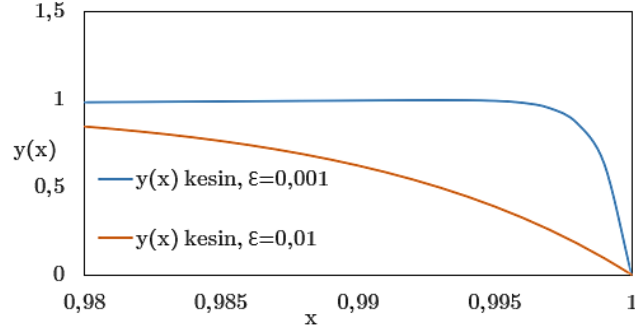
Tablo 4.  $J = 3, 4, 5, 6, 7$  ve  $9$  için sıklaştırma kullanılmadığında ve sıklaştırma varken hata oranları

	Sıklaştırma varken kollokasyon sayıları (k.s.) ve sıklaştırma yöntemi	Yerel Hata		Genel Hata	
		Sıklaştırma olmadan ( $\times 10^{-6}$ )	Sıklaştırma varken ( $\times 10^{-6}$ )	Sıklaştırma olmadan ( $\times 10^{-6}$ )	Sıklaştırma varken ( $\times 10^{-6}$ )
$J = 3$	k.s.=4 (Lepik ve Hein, 2014)	9671528,340	73148,999	177451,183	2691,144
	k.s.=6 (Lepik ve Hein, 2014)		32429,223		1172,136
$J = 4$	k.s.=14 (Lepik ve Hein, 2014)	421434,577	7896,411	3915,388	152,278
	k.s.=16 (Bu çalışma)		6723,423		121,313
$J = 5$	k.s.=30 (Lepik ve Hein, 2014)	514453,713	2138,714	3437,260	23,872
	k.s.=30 (Bu çalışma)		2014,612		21,477
$J = 6$	k.s.=62 (Lepik ve Hein, 2014)	26210,634	575,220	97,317	4,126
	k.s.=62 (Bu çalışma)		561,696		3,934
$J = 7$	k.s.=126 (Lepik ve Hein, 2014)	34505,264	151,913	103,910	0,956
	k.s.=126 (Bu çalışma)		150,383		0,946
$J = 9$	k.s.=510 (Lepik ve Hein, 2014)	2210,901	26,630	3,228	0,315
	k.s.=510 (Bu çalışma)		26,621		0,316

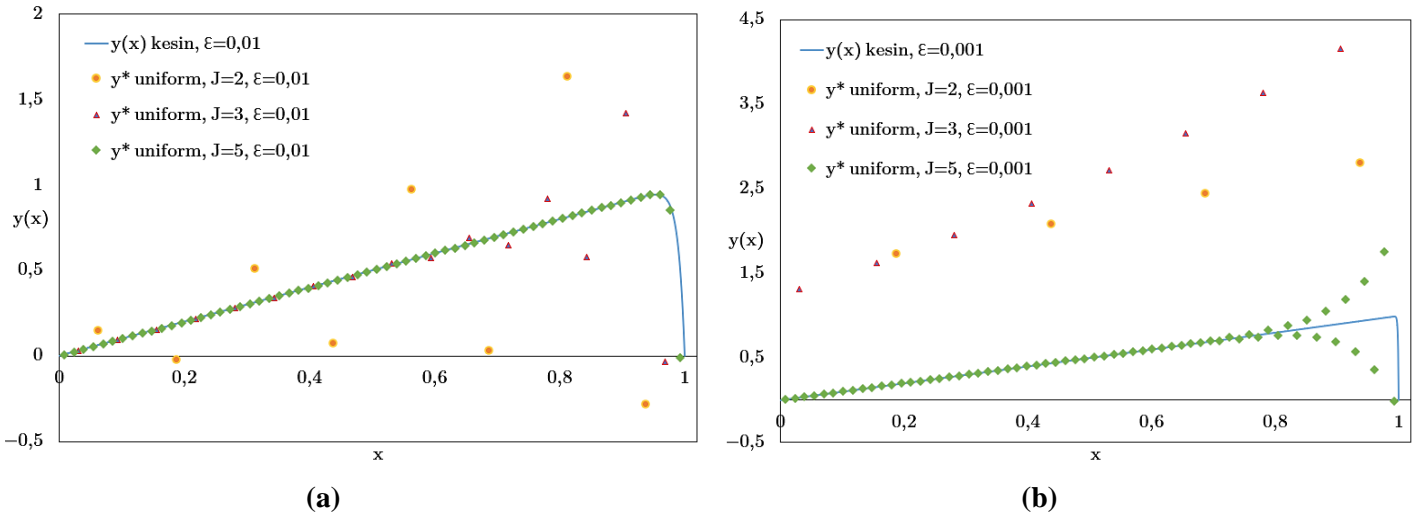
Tablo 4'te görüldüğü gibi üniform grid aralıklarıyla, tüm durumlarda hata değerleri yüksektir. Sıklaştırma için Lepik ve Hein (2014)'in önerdiği algoritma kullanıldığında kesin değere yakınsamanın arttığı görülür. Bu çalışmada sunulan sıklaştırma algoritması ile de sayısal çözüm sonuçları oldukça tutarlı olarak kesin değerlere yaklaşmıştır.  $J = 7$  alınarak üniform olmayan durumda sıklaştırma değerleri hata miktarları yerel noktalarda  $150,383 \times 10^{-6}$ 'e, genel hata durumunda  $0,946 \times 10^{-6}$ 'e kadar küçülmüştür.

**Uygulama 5.**  $-\varepsilon y'' + y' = 1 \quad x \in [0, 1]$  denklemi  $\varepsilon > 0$ ,  $y(0) = y(1) = 0$  sınır koşulları verilen bir denklemdir (Lepik ve Hein, 2014). Denklemin çözümünde  $\varepsilon$  değeri 1'den oldukça küçük bir değer

seçildiğinde problemin kesin çözümü için ekstra noktalara ihtiyaç duyulur. Sınırlardaki belirsizliği ortadan kaldırmak için Lepik, Eşitlik (22)'deki sıklaştırma algoritmasını önermiştir, üniform olmayan alt aralıklar ile kesin çözüme yakınsamanın arttığını belirtmiştir (Lepik, 2005). Bu çalışmada, Lepik'in algoritmasına ilave olarak çalışmada önerilen sıklaştırma algoritması kullanılmıştır.  $\varepsilon$  değerinin 0,01 ve 0,001 olduğu durum için Şekil 8'de diferansiyel denklemin kesin çözümü kritik bölgede görülmektedir. Şekil 8'den görüldüğü gibi  $\varepsilon$  değeri çözümü büyük oranda değiştirmektedir.



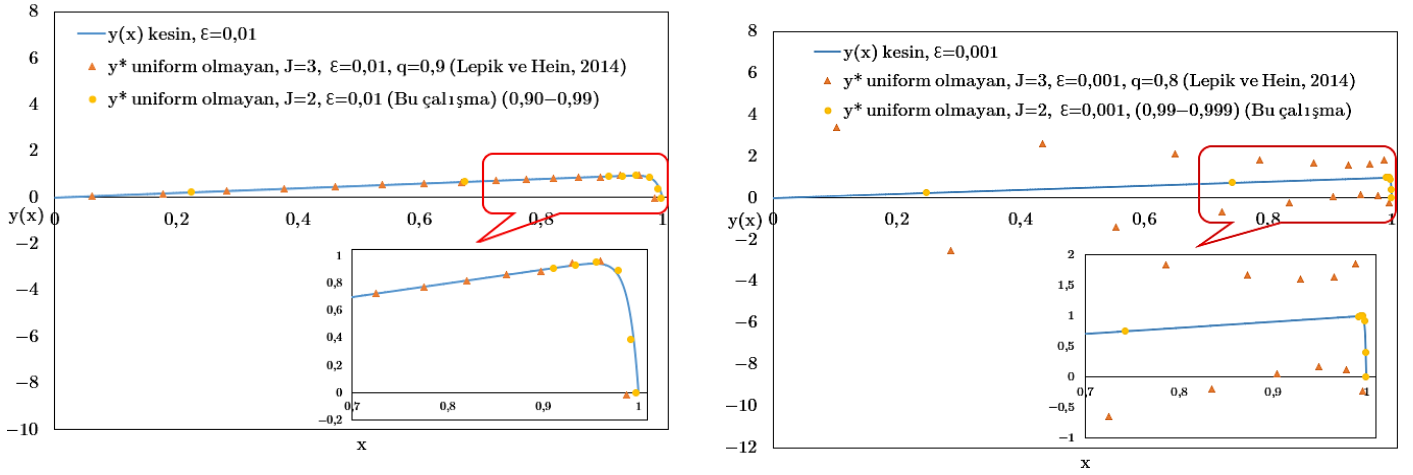
Şekil 8.  $\varepsilon = 0,01$  ve  $\varepsilon = 0,001$  için diferansiyel denklemin çözüm grafiğindeki değişim



Şekil 9. (a)  $\varepsilon = 0,01$  için  $J = 2, 3$  ve  $5$  için diferansiyel denklemin üniform aralıklı çözümü, (b)  $\varepsilon = 0,001$  için  $J = 2, 3$  ve  $5$  için diferansiyel denklemin üniform aralıklı çözümü

Üniform kollokasyon noktaları ile Haar dalgacık çözümlerinin yüksek çözünürlükte bile iyi sonuç vermeyeceği aşikardır. Bu yüzden üniform olmayan kollokasyon noktaları kullanan Haar dalgacık çözümleri çeşitli çözünürlük seviyeleri için Lepik tarafından önerilen ve bu çalışmada önerilen sıklaştırmalar ile Şekil 10 (a) ve (b)'de ve Tablo 5 ve 6'da sunulmuştur. Tablo 5'te üniform aralıklı çözümün hata oranları düşük görünse de aynı çözümlere ait grafiklerden özellikle düşük çözünürlük seviyelerinde aslında kesin çözümü yakalamadığı anlaşılmaktadır. Üniform aralıklı çözüm sonuçları, kesin çözüm etrafında salınım yaptığı için sayısal olarak hata düşük ancak grafik olarak kesin çözümden oldukça farklıdır. Şekil 9'dan ve Tablo 5'ten görüldüğü gibi hata oranı yüksek çözünürlükte

düşse de kritik bölge olan 0,9 – 1 aralığında nokta sayısının az olması sıklaştırmaz analizdeki düşük yerel hata oranlarını açıklamaktadır. Şekil 10 (a) ve (b) kısa ve öz olması için karşılaştırılan sıklaştırma algoritmalarının en başarılı en düşük çözünürlüğü için sunulmuştur.



(a)

(b)

**Şekil 10.** (a)  $\varepsilon = 0,01$  için  $J = 3$  ve  $J = 2$  için diferansiyel denklemin üniform olmayan aralıklı çözümü, (b)  $\varepsilon = 0,001$  için  $J = 3$  ve  $J = 2$  için diferansiyel denklemin üniform olmayan aralıklı çözümü

Şekil 10 (a) ve (b)'den ve Tablo 5 ve 6'dan görüldüğü gibi Lepik tarafından önerilen sıklaştırma algoritması düşük çözünürlük seviyelerinde başarısız olmaktadır. Bu çalışmada önerilen sıklaştırmannın ise düşük çözünürlükte bile iyi sonuç verdiği ancak sıklaştırma aralığının seçiminin önemi yine Şekil 10 (a) ve (b), Tablo 5 ve 6'dan takip edilebilir.

**Tablo 5.**  $\varepsilon = 0,01$ ,  $J = 2, 3$  ve  $5$  için sıklaştırma kullanılmadığında ve sıklaştırma varken hata oranları

		Yerel Hata		Genel Hata	
	Sıklaştırma varken sıklaştırma yöntemi	Sıklaştırma olmadan	Sıklaştırma varken	Sıklaştırma olmadan	Sıklaştırma varken
$J = 2$	$q=0,9$ (Lepik ve Hein, 2014)	1,41742	2,15950	0,21576	0,21859
	$q=0,8$ (Lepik ve Hein, 2014)		2,69233		0,20448
	$q=0,7$ (Lepik ve Hein, 2014)		3,20971		0,17201
	(0,90-0,99) (Bu çalışma)		1,01148		0,03223
$J = 3$	$q=0,9$ (Lepik ve Hein, 2014)	1,03388	1,01792	0,07059	0,04489
	$q=0,8$ (Lepik ve Hein, 2014)		1,01206		0,02034
	$q=0,7$ (Lepik ve Hein, 2014)		1,01047		0,00658
	(0,99-0,999) (Bu çalışma)		1,01192		0,00278
$J = 5$	$q=0,9$ (Lepik ve Hein, 2014)	1,01462	1,01013	0,00848	0,00037
	$q=0,8$ (Lepik ve Hein, 2014)		1,01010		0,00006
	$q=0,7$ (Lepik ve Hein, 2014)		1,01010		0,00013
	(0,99-0,999) (Bu çalışma)		1,01012		0,00021

**Tablo 6.**  $\varepsilon = 0,001$ ,  $J = 2, 3, 5, 6$  ve  $7$  için sıklaştırma kullanılmadığında ve sıklaştırma varken hata oranları

	Sıklaştırma varken sıklaştırma yöntemi	Yerel Hata		Genel Hata	
		Sıklaştırma olmadan	Sıklaştırma varken	Sıklaştırma olmadan	Sıklaştırma varken
$J = 2$	q=0,9 (Lepik ve Hein, 2014)	22,57536	34,99602	0,57971	0,87710
	q=0,8 (Lepik ve Hein, 2014)		67,09280		1,75555
	q=0,7 (Lepik ve Hein, 2014)		208,34699		5,99076
	(0,99-0,999) (Bu çalışma)		1,00158		0,02263
$J = 3$	q=0,9 (Lepik ve Hein, 2014)	40,85360	52,41618	0,59939	0,60881
	q=0,8 (Lepik ve Hein, 2014)		31,89938		0,39123
	q=0,7 (Lepik ve Hein, 2014)		1,00163		0,02824
	(0,99-0,999) (Bu çalışma)		1,00159		0,00474
$J = 5$	q=0,9 (Lepik ve Hein, 2014)	1,00158	1,00158	0,07948	0,00110
	q=0,8 (Lepik ve Hein, 2014)		-		0,00314
	q=0,7 (Lepik ve Hein, 2014)		-		0,00249
	(0,99-0,999) (Bu çalışma)		1,00158		0,00272
$J = 6$	q=0,9 (Lepik ve Hein, 2014)	1,00401	1,01010	0,00956	0,02927
	(0,95-0,999) (Bu çalışma)		1,01011		0,00007
$J = 7$	q=0,9 (Lepik ve Hein, 2014)	1,00229	1,01009	0,00360	0,04605
	(0,95-0,999) (Bu çalışma)		1,01010		0,00623

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada Haar dalgacık yöntemi ile kesin çözümü bilinen diferansiyel denklemlerin sayısal çözümleri yapılmıştır. Sayısal sonuçların kesin çözüme yaklaşıklığını etkileyen faktörlerin başarı oranları tablo ve şekiller ile raporlanmıştır.

Diferansiyel denklemlerin Haar dalgacığı ile çözümünde, üniform ve üniform olmayan türdeki çözümlerde; aralığın düzenlenmesi sonucu üniform olmayan çözümün kesin çözüme daha iyi yakınsama sağladığı görülmektedir. Üniform olmayan çözümde sıklaştırma algoritmaları kullanılması; problemde karşılaşılan ani değişim ve çözümün stabilitesinin kaybolduğu noktalarda, sınır noktalarının sistemi çözüme yetersiz kaldığı durumlarda çözümün daha iyi olmasını sağlamaktadır. Lepik ve Hein (2014)'in önerdiği algoritma, problemin türüne göre kollokasyon noktalarının ara bölgeler veya sınırlarda artırılması şeklinde iken, bu çalışmada literatüre katkı olarak sunulan sıklaştırma algoritması ise problem türü fark etmeksizin istenilen bölgede istenilen sıklıkta yapılması ile avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada önerilen sıklaştırma algoritması, Lepik ve Hein'in sıklaştırma algoritmalarına göre kesin çözüme daha yakın sonuçlar üretmiştir. Özellikle küçük katsayılardan dolayı stabil olmayan diferansiyel denklemin çözümünde düşük çözünürlük seviyesinde dahi çözüm elde edilmesi bu çalışmada önerilen algoritmanın kullanışlı olduğunu göstermiştir.

Bir diferansiyel denklemin Haar matrisleri ile çözümünde eğer üniform aralık kullanılıyorsa matrislerin çözüm aralığına genişletilmesi için bu çalışmada kullanılan yöntem, yazarların bildiğine göre, literatürde daha önce kullanılmamıştır. Anılan matris genişletme ile aralık taşıma yöntemi

analitik olarak problem sınırlarını tekrar düzenleme ihtiyacını ortadan kaldırıp sayısal hesaplandığı için çözüme hız kazandırır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağladıklarını beyan eder.

### **Kaynakça**

- Berwal N., Panchal D., Parihar CL. Haar wavelet method for numerical solution of telegraph equations. *Italian Journal of Pure and Applied Mathematics* 2013; (30): 317–328.
- Cattani C., Pecoraro M. Nonlinear differential equations in wavelet bases 2000; 3(4): 4–10.
- Cattani C. Haar wavelets based technique in evolution problems. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Physics, Mathematics* 2004; 53(1): 45.
- Chen CF., Hsiao CH. Haar wavelet method for solving lumped and distributed-parameter systems. *IEEE Proceedings - Control Theory and Applications* 1997; 144(1).
- Graps A. An introduction to wavelets. *IEEE Computational Science and Engineering* 1995; 2(2): 50–61.
- Haar A. Zur theorie der orthogonalen funktionensysteme. *Mathematische Annalen* 1910; 69(3): 331–371.
- Heydari M., Avazzadeh Z., Hosseinzadeh N. Haar wavelet method for solving high-order differential equations with multi-point boundary conditions. *Journal of Applied and Computational Mechanics* 2022; 8(2): 528–544.
- Lepik Ü. Numerical solution of differential equations using Haar wavelets. *Mathematics and Computers in Simulation* 2005; 68(2): 127–143.
- Lepik Ü. Numerical solution of evolution equations by the Haar wavelet method. *Applied Mathematics and Computation* 2007; 185(1): 695–704.
- Lepik Ü. Solving integral and differential equations by the aid of non-uniform Haar wavelets. *Applied Mathematics and Computation* 2008; 198(1): 326–332.
- Lepik Ü. Haar wavelet method for solving stiff differential equations. *Mathematical Modelling and Analysis* 2009a; 14(4): 467–481.
- Lepik Ü. Solving fractional integral equations by the Haar wavelet method. *Applied Mathematics and Computation* 2009b; 214(2): 468–478.
- Lepik Ü. Solving PDEs with the aid of two-dimensional Haar wavelets. *Computers & Mathematics with Applications* 2011; 61(7): 1873–1879.
- Lepik Ü., Hein H. *Mathematical engineering Haar wavelets with applications* 2014; (4): Springer



Retrieved from <http://www.springer.com/series/8445>.

- Lepik Ü., Hein H. Application of the Haar wavelet method for solution the problems of mathematical calculus. *Waves, Wavelets and Fractals* 2015; 1(1).
- Majak J., Pohlak M., Karjust K., Eerme M., Kurnitski J., Shvartsman BS. New higher order Haar wavelet method: Application to FGM structures. *Composite Structures* 2018; 201: 72–78.
- Majak J., Shvartsman B., Karjust K., Mikola M., Haavajõe A., Pohlak M. On the accuracy of the Haar wavelet discretization method. *Composites Part B: Engineering* 2015; 80.
- Maleknejad K., Mirzaee F. Using rationalized Haar wavelet for solving linear integral equations. *Applied Mathematics and Computation* 2005; 160(2): 579–587.
- Mehra M., Siddiqi AH., Brokate M., Gupta AK. Wavelets and differential equations - A short review. *AIP Conference Proceedings* 2009; 241–252.
- Stanković RS., Falkowski BJ. The Haar wavelet transform: its status and achievements. *Computers & Electrical Engineering* 2003; 29(1).
- The MathWorks Inc. Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc. 2020b  
. <https://www.mathworks.com/help/stats/index.html>.
- Varolgüneş S. Gerçek zamanlı sismik verilerin dalgacık dönüşümü ile analizi. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 91, Diyarbakır, Türkiye, 2013.
- Wannateeradet P. Haar wavelet method for solving differential equations. Prince of Songkla University, 2018.

**Reformulated Zagreb Indices of Some Cycle-Related Graphs and Linear [n]-Phenylenes****Özge ÇOLAKOĞLU<sup>1\*</sup>**<sup>1</sup>Mersin University, Science Faculty, Mathematics Department, Mersin<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-4094-3380>

\*Corresponding author: ozgeclkg1@gmail.com

**Research Article****Article History:**

Received: 26.04.2023

Accepted: 21.07.2023

Published online: 22. 01.2024

**Keywords:**

Chemical graph theory

Topological index

Cycle-related graphs

Reformulated Zagreb indices

Linear [n]-phenylenes

**ABSTRACT**

Graph invariants (topological indices) are numerical values of graphs obtained from 2-dimensional (2-D) images of chemical structures. These invariants are used in the structure-property/activity studies to predict certain properties such as the enthalpy of vaporization, and stability of molecular structures. In this paper, reformulated Zagreb indices, which are edge-degree-based indices, are considered. First, the reformulated Zagreb indices for cycle-related graphs which are wheel, helm, gear, friendship, closed helm, flower, sun, and sunflower are computed. The values of the first and second reformulated Zagreb indices of cycle-related these graphs and also the values of reformulated Zagreb indices of graphs with the same edge cardinality among studied graphs are compared numerically with the MATLAB software program. Finally, reformulated first Zagreb index and reformulated second Zagreb index of linear [n]-phenylenes are calculated and these values are computed numerically.

**Devir İçeren Bazı Grafların ve Lineer [n]-Phenilenlerin Yeniden Formüle Edilmiş Zagreb İndeksleri****Araştırma Makalesi****Makale Tarihiçesi:**

Geliş tarihi: 26.04.2023

Kabul tarihi:21.07.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

**Anahtar Kelimeler:**

Kimyasal graf teori

Topolojiksel indeks

Devir içeren graflar

Yeniden formüle edilmiş Zagreb

İndeksleri

Lineer [n]-phenylenler

**ÖZ**

Graf değişmezleri (topolojik indeksler), kimyasal yapıların 2 boyutlu görüntülerinden elde edilen grafların sayısal değerleridir. Bu değişmezler, moleküler yapıların buharlaşma entalpisi ve kararlılığı gibi belirli özellikleri tahmin etmek için yapı-özellik/aktivite çalışmalarında kullanılır. Bu çalışmada kenar derece tabanlı indekslerden yeniden formüle edilmiş Zagreb indeksleri ele alınmıştır. İlk olarak, tekerlek, dümen, dişli, arkadaşlık, kapalı dümen, çiçek, güneş ve ayçiçeği gibi devir içeren graflar için yeniden formüle edilmiş Zagreb indeksleri hesaplanır. Son olarak, devir içeren bu grafların birinci ve ikinci yeniden formüle edilmiş Zagreb indekslerinin değerleri ve ayrıca çalışılan graflar arasında aynı kenar kardinalitesine sahip grafların yeniden formüle edilmiş Zagreb indekslerinin değerleri MATLAB yazılım programı ile sayısal olarak karşılaştırılmıştır. Son olarak, doğrusal [n]-fenilenlerin yeniden formüle edilmiş birinci Zagreb indeksi ve yeniden formüle edilmiş ikinci Zagreb indeksi hesaplanmış ve bu değerler sayısal olarak hesaplanmıştır.

**To Cite:** Çolakoğlu Ö. Reformulated Zagreb Indices of Some Cycle-Related Graphs and Linear [n]-phenylenes. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 33-45.**1. Introduction**

Chemical graph theory is a field of study that deals with the mathematical modeling of chemical compounds and drugs using graph theory. Designing drugs in a short time and with the least cost has become an important issue in science for diseases that have recently increased and spread rapidly. In

particular, mathematicians have focused on graph invariants (topological indices) to predict the properties of chemical structures without experiments. By using graph invariants in quantitative structure-property/activity relationship studies, equations are obtained that can predict the properties of chemical structures. Molecular graphs are images of the hydrogen-free 2-D of chemical structures. The vertices of a molecular graph are represented by atoms, and the edges of the graph are represented by bonds. Topological indices are numerical descriptors of molecular graphs (Estrada and Bonchev, 2013).

The first index used to predict the properties of chemicals was the Wiener index which depends on the distance between the vertices in the graph (Wiener, 1947). The most studied indices are degree-dependent indices. Degree-dependent indices are the best predictors and the most studied indices in QSPR studies (Ediz et al., 2021; Wazzan and Urlu Özen, 2023). The first of these is the Zagreb indices defined by Gutman (Gutman, 1972). Then, various versions of the Zagreb index were introduced and studied. Some of them are the Zagreb coindex, multiplicative Zagreb index and coindex, Zagreb energy (see (Das et al., 2016; Nacaroğlu and Maden, 2017; Yalçın and Kılıç, 2021; Sevgi et al., 2022)). With this motivation, Milicevic et al. defined reformulated Zagreb indices, the edge version of Zagreb indices (Milicevic et al., 2004).

Properties and bounds of reformulated Zagreb indices were obtained (De, 2012; Maji et al., 2021). The reformulated Zagreb indices of special graphs were studied (Ji et al., 2014; Mirajkar, 2017; Liu et al., 2019). Asok and Kureethara found that the first reformulated Zagreb index for the surface tension of butane derivatives is a good estimator (Asok and Kureethara, 2018). Kaya Gök investigated bounds for reformulated Zagreb indices and coindices (Kaya Gök, 2019).

Cycle-related graphs are found in the graph representations of networks and chemicals. Sawmya calculated degree-based indices of the cycle-related chemical structures (Sawmya, 2020). Natarajan found the 2-distance vertex degree sums of cycle-related graphs (Natarajan, 2022). The values of the degree-based indices of the cycle-related graphs were calculated (see; Basavanagoud et al., 2019; Javid et al., 2020).

Various indices of phenylenes, which are nanostructures containing cycles, have been studied. The value of the Padmakar-Ivan index and the Szeged index of multiple and linear phenylenes were obtained (Yousefi-Azari et al., 2007). The Gutman index and Schultz index of random phenylene chains were studied (Wei et al., 2021). Forgotten and Co-Forgotten indices of linear [n]-phenylenes and cyclic phenylenes were studied (Havare, 2022).

In this paper, firstly, the values of reformulated Zagreb indices of wheel graph, helm graph, gear graph, friendship graph, closed helm graph, flower graph, sun, and sunflower graphs are computed. The values of the first and second Zagreb indices of these graphs are compared graphically. The rates of increase of reformulated Zagreb index values of graphs with the same edge cardinality among these graphs are compared. Finally, reformulated Zagreb indices of linear [n]-phenylenes which are cyclic

chemical structures are calculated. The values of the first and second reformulated Zagreb indices for this chemical structure are compared.

## 2. Materials and Method

Let  $\Gamma$  be a graph with a vertex set  $V(\Gamma)$  and edge set  $E(\Gamma)$  or  $E$ . The cardinality of a vertex set and edge set is denoted as  $|V(\Gamma)| = n$  and  $|E(\Gamma)| = m$ , respectively. The degree of a vertex,  $v$ , is the number of adjacent vertices and is denoted by  $d_v$ . The degree of an edge,  $e = uv$ , connected to two adjacent vertices is represented by  $d_e$ . The degree of an edge is the number of adjacent edges, i.e.  $d_e = d_u + d_v - 2$ . Two edges that share the same vertex are called adjacent edges. The two adjacent edges are denoted by  $e \sim f$ . (Gallian, 2007). See (Gallian, 2007) for the following definitions.

Definition 2.1. The cycle graph is a 2-regular graph with a vertex degree of 2 and an edge degree of 2. The number of vertices and the number of edges are equal to each other.

Definition 2.2. The wheel is a graph obtained by connecting each vertex of the cycle graph with edges from a central vertex.

Definition 2.3. The helm is a graph obtained by adding one-degree vertices to each vertex of the wheel graph's cycle graph.

Definition 2.4. The gear is formed by adding a vertex between the two vertices in the wheel graph's cycle graph.

Definition 2.5. The friendship graph is obtained by combining cycle graphs with 3-vertices from a common vertex.

Definition 2.6. A closed helm is obtained by connecting the vertices in the wheel graph's cycle with vertices in a cycle graph with an edge.

Definition 2.7. The flower is a graph obtained by combining the one-degree vertices of the helm graph and the central vertex with an edge.

Definition 2.8. The sun (crown) graph is obtained by adding pendant edges to the vertices of the cycle graph.

Definition 2.9. The sunflower graph is obtained by combining every two adjacent vertices in the cycle of the wheel with a vertex and two edges.

Definition 2.10. The first reformulated Zagreb index and the second Reformulated Zagreb index of a  $\Gamma$  graph, respectively, are defined as follows (Milicevic et al, 2004):

$$RM_1(\Gamma) = \sum_{e \in E} d_e^2 \quad (1)$$

$$RM_2(\Gamma) = \sum_{e \sim f} d_e d_f \quad (2)$$

### 3. Main Results and Discussion

In this section, it is obtained exact formulas for reformulated Zagreb indices of cycle-related graphs which are wheel graph, helm, gear, friendship, closed-helm, flower, sun, and sunflower graphs. Then, reformulated Zagreb indices of linear [n]-phenylenes, which have an important place in chemistry, are studied.

#### 3.1. The Reformulated Zagreb Indices of Cycle-Related Graphs

In this section, the first and second reformulated Zagreb indices of wheel, helm, gear, friendship, closed-helm, flower, sun, and sunflower graphs are calculated, and their graphics are obtained with MATLAB program and are discussed.

Theorem 3.1.1. Reformulated Zagreb indices of the wheel graph,  $W$ , with  $n + 1$  vertices and  $2n$  edges are:

- i)  $RM_1(W) = n^3 + 2n^2 + 17n$
- ii)  $RM_2(W) = \frac{n^4 + n^3 + 15n^2 + 47n}{2}$ .

Proof: From Definition 2.2, the edge set of the wheel graph can be partitioned as in Table 1.

**Table 1.** The edge degree partitions of the wheel graph

$d_e$ for $e \in E$	Frequency
4	$n$
$n + 1$	$n$

From Table 1 and the equation (1), proof (i) is completed. Table 2 depicts the edge degrees and frequency of the adjacent edges of the wheel graph.

**Table 2.** The adjacent-edge degree partitions of the wheel graph

$(d_e, d_f)$ for $e, f \in E$	Frequency
(4,4)	$n$
(4, $n + 1$ )	$2n$
( $n + 1, n + 1$ )	$\frac{n(n - 1)}{2}$

From Table 2 and equation (2), proof (ii) is completed.

Theorem 3.1.2. Reformulated Zagreb indices of helm graph,  $H$ , with  $2n + 1$  vertices and  $3n$  edges are:

- i)  $RM_1(H) = n^3 + 4n^2 + 49n$
- ii)  $RM_2(H) = \frac{n^4 + 3n^3 + 30n^2 + 200n}{2}$ .

Proof. It can be partitioned edge degree of the edge set of the helm graph as Table 3.

**Table 3.** The edge degree partitions of the helm graph

$d_e$ for $e \in E$	Frequency
3	$n$
$n + 2$	$n$
6	$n$

From Table 3 and equation (1), proof (i) is completed. The edge degrees and frequency of the adjacent edges of the helm graph are given in Table 4.

**Table 4.** The adjacent-edge degree partitions of the helm graph

$(d_e, d_f)$ for $e, f \in E$	Frequency
(3,6)	$2n$
(6,6)	$n$
(3, $n + 2$ )	$n$
(6, $n + 2$ )	$2n$
( $n + 2, n + 2$ )	$\frac{n(n - 1)}{2}$

From Table 4 and equation (2), proof (ii) is completed.

Theorem 3.1.3. Reformulated Zagreb indices of gear graph,  $G$ , with  $2n + 1$  vertices and  $3n$  edges are:

- i)  $RM_1(G) = n^3 + 2n^2 + 19n$
- ii)  $RM_2(G) = \frac{n^4 + n^3 + 11n^2 + 47n}{2}$

Proof. It can be partitioned edge degree of the edge set of the gear graph as in Table 5.

**Table 5.** The edge degree partitions of the gear graph

$d_e$ for $e \in E$	Frequency
3	$2n$
$n + 1$	$n$

From Table 5 and the equation (1), proof (i) is completed. Table 6 shows the edge degrees and frequency of the adjacent edges of the gear graph.

**Table 6.** The adjacent-edge degree partitions of the gear graph

$(d_e, d_f)$ for $e, f \in E$	Frequency
(3,3)	$2n$
(3, $n + 1$ )	$2n$
( $n + 1, n + 1$ )	$\frac{n(n - 1)}{2}$

From Table 6 and the equation (2), the proof (ii) is completed.

Theorem 3.1.4. Reformulated Zagreb indices of friendship graph,  $fr$ , with  $2n + 1$  vertices and  $3n$  edges are:

- i)  $RM_1(fr) = 8n^3 + 4n$
- ii)  $RM_2(fr) = 8n^4 - 4n^3 + 8n^2$

Proof. It can be partitioned edge degree of the edge set of friendship graph as Table 7.

**Table 7.** The edge degree partitions of the friendship graph

$d_e$ for $e \in E$	Frequency
2	$n$
$2n$	$2n$

From Table 7 and the equation (1), the proof (i) is completed. The edge degrees and frequency of the adjacent edges of friendship graph are given in Table 8.

**Table 8.** The adjacent-edge degree partitions of the friendship graph

$(d_e, d_f)$ for $e, f \in E$	Frequency
$(2, 2n)$	$2n$
$(2n, 2n)$	$(2n - 1)n$

From Table 8 and the equation (2), the proof (ii) is completed.

Theorem 3.1.5. Reformulated Zagreb indices of closed-helm graph,  $CH$ , with  $2n + 1$  vertices and  $4n$  edges are:

$$\text{i) } RM_1(CH) = n^3 + 4n^2 + 81n$$

$$\text{ii) } RM_2(CH) = \frac{n^4 + 3n^3 + 34n^2 + 368n}{2}$$

Proof. It can be partitioned edge degree of the edge set of closed-helm graph as Table 9.

**Table 9.** The edge degree partitions of the closed-helm graph

$d_e$ for $e \in E$	Frequency
4	$n$
5	$n$
6	$n$
$n + 2$	$n$

From Table 9 and the equation (1), the proof (i) is completed. Table 10 depicts the edge degrees and frequency of the adjacent edges of closed-helm graph.

**Table 10.** The adjacent-edge degree partitions of the closed-helm graph

$(d_e, d_f)$ for $e, f \in E$	Frequency
$(4, 4)$	$n$
$(4, 5)$	$2n$
$(5, 6)$	$2n$
$(5, n + 2)$	$n$
$(6, n + 2)$	$2n$
$(6, 6)$	$n$
$(n + 2, n + 2)$	$\frac{n(n - 1)}{2}$

From Table 10 and the equation (2), the proof (ii) is completed.

Theorem 3.1.6. Reformulated Zagreb indices of flower graph,  $fl$  with  $2n + 1$  vertices and  $4n$  edges are:

$$\text{i) } RM_1(fl) = 8n^3 + 8n^2 + 56n$$

$$\text{ii) } RM_2(fl) = 2n^4 + 6n^3 + 42n^2 + 114n$$

Proof. It can be partition edge degree of edge set of flower graph as Table 11.

**Table 11.** The edge degree partitions of the flower graph

$d_e$ for $e \in E$	Frequency
4	$n$
6	$n$
$2n$	$n$
$2n + 2$	$n$

From Table 11 and the equation (1), the proof (i) is completed. The edge degrees and frequency of the adjacent edges of the flower graph are seen in Table 12.

**Table 12.** The adjacent-edge degree partitions of the flower graph

$(d_e, d_f)$ for $e, f \in E$	Frequency
(4,6)	$2n$
(4, $2n$ )	$n$
(4, $2n + 2$ )	$n$
(6, $2n + 2$ )	$2n$
(6,6)	$n$
( $2n + 2, 2n + 2$ )	$\frac{n(n - 1)}{2}$
( $2n, 2n + 2$ )	$n$

From Table 12 and the equation (2), the proof (ii) is completed.

Theorem 3.1.7. Reformulated Zagreb indices of sun graph,  $S$ , with  $2n$  vertices and  $2n$  edges are

- i)  $RM_1(S) = 20n$
- ii)  $RM_2(S) = 32n$

Proof. It can be partition edge degree of edge set of sun graph as Table 13.

**Table 13.** The edge degree partitions of the sun graph

$d_e$ for $e \in E$	Frequency
2	$n$
4	$n$

From Table 13 and the equation (1), the proof (i) is completed. The edge degrees and frequency of the adjacent edges of sun graph are seen in Table 14.

**Table 14.** The adjacent-edge degree partitions of the sun graph

$(d_e, d_f)$ for $e, f \in E$	Frequency
(2,4)	$2n$
(4,4)	$n$

From Table 14 and the equation (2), the proof (ii) is completed.

Theorem 3.1.8. Reformulated Zagreb indices of sunflower graph,  $Sf$ , with  $2n + 1$  vertices and  $4n$  edges are:

- iii)  $RM_1(Sf) = n^3 + 6n^2 + 123n$
- iv)  $RM_2(Sf) = \frac{n^4 + 5n^3 + 55n^2 + 535n}{2}$

Proof. It can be partitioned edge degree of the edge set of sunflower graph as Table 15.



**Table 15.** The edge degree partitions of the sunflower graph

$d_e$ for $e \in E$	Frequency
5	$2n$
8	$n$
$n + 3$	$n$

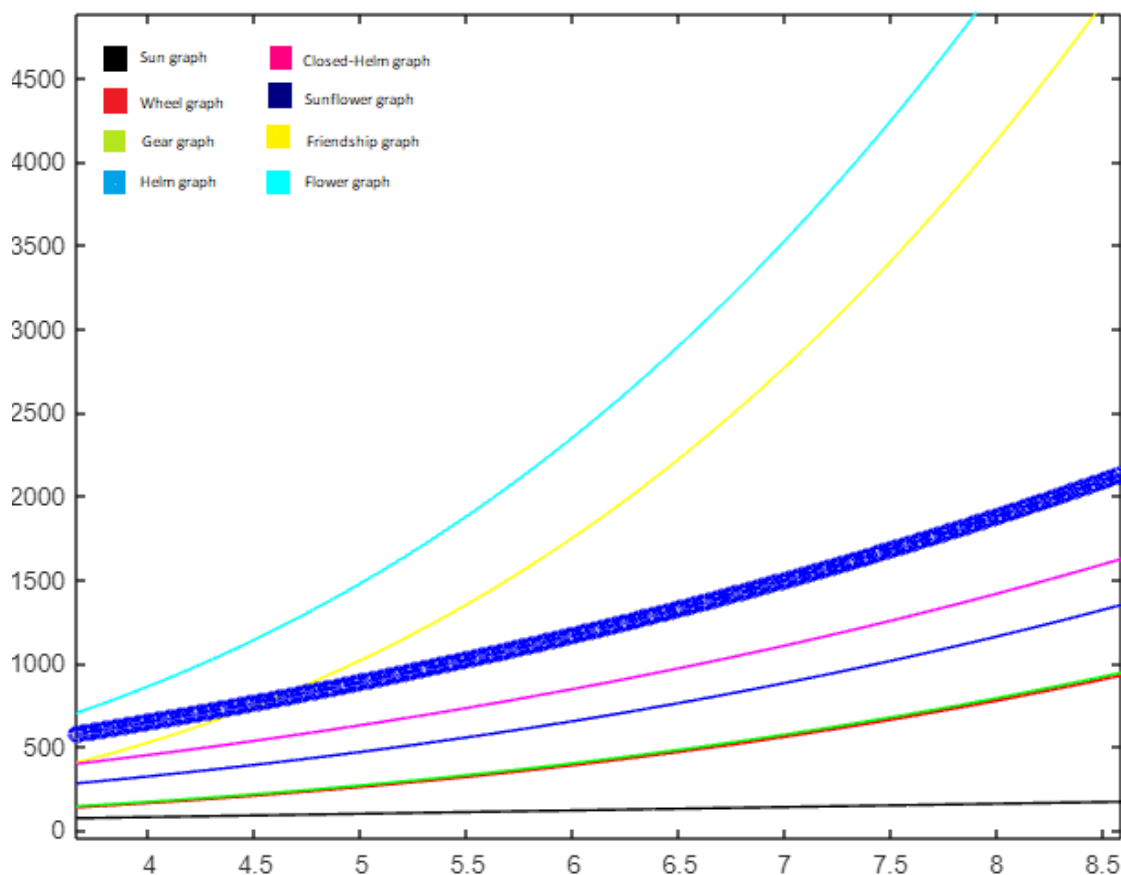
From Table 15 and the equation (1), the proof (i) is completed. The edge degrees and frequency of the adjacent edges of sunflower graph are given in Table 16.

**Table 16.** The adjacent-edge degree partitions of the sunflower graph

$(d_e, d_f)$ for $e, f \in E$	Frequency
(5,5)	$2n$
(5,8)	$2n$
$(5, n + 3)$	$2n$
(8,8)	$n$
$(8, n + 3)$	$2n$
$(n + 3, n + 3)$	$\frac{n(n - 1)}{2}$

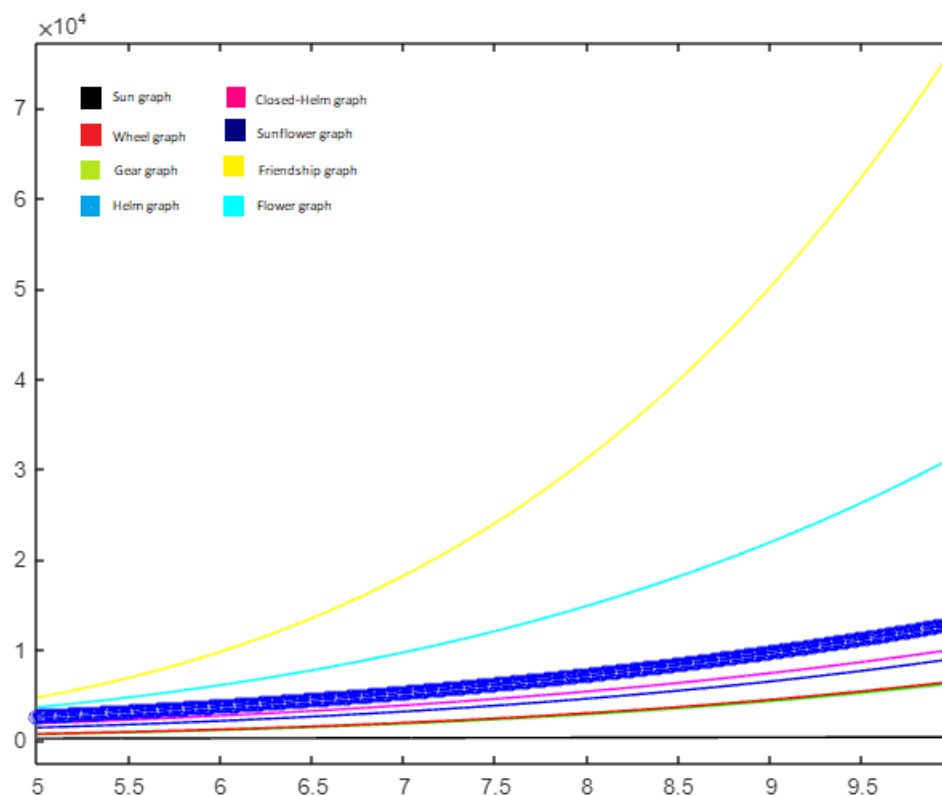
From Table 16 and the equation (2), the proof (ii) is completed.

The results of the theorems indicate that values of the second reformulated Zagreb indices grow faster than values of the first reformulated Zagreb indices. Figure 1 depicts the values of the first reformulated Zagreb indices of the special graphs.



**Figure 1.** The reformulated first Zagreb index of cycle-related graphs

For the values of reformulated first Zagreb indices of cycle-related graphs, the value of the flower graph increases quite rapidly, then the friendship graph, sunflower, closed-helm, helm, gear, wheel, and sun graphs. The values of the gear and wheel graphs are very close to each other. The sun graph is the slowest growing and linearly increasing graph among these graphs. The edge numbers of the helm, gear, and friendship graphs are equal to each other. If these graphs are compared with each other, the graph of friendship increases very rapidly curvilinearly. The edge cardinalities of the closed-helm, flower, and sunflower graphs are equal to each other and are  $4n$ . Figure 1 shows that the flower graph increases curvilinearly very rapidly. The number of edges of the wheel and the sun graph are equal. As the wheel graph increases curvilinearly, the sun graph increases linearly. The graphics of the second reformulated Zagreb index of the special graphs are given in Figure 2.

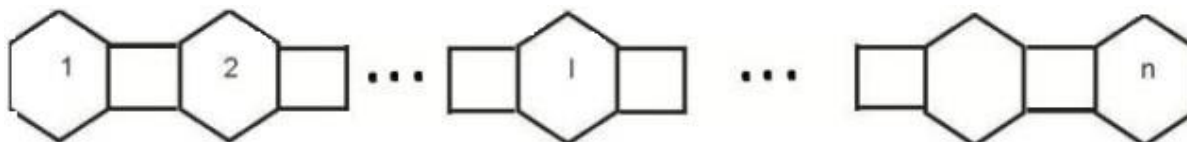


**Figure 2.** The second reformulated Zagreb indices of cycle-related graphs

Figure 2 shows that all graphs grow curvilinearly except the sun graph. The fastest-growing values are friendship graph. Then they are listed as flower, sunflower, closed-helm, helm, wheel, gear, and sun graph. Helm, gear, and friendship graphs with equal numbers of edges grow at different rates as  $n$  increases, and the order of their growth rates is the same as in the first reformulated Zagreb index. Similarly, the edge cardinalities of the closed-helm, flower, and sunflower graphs are the same, and the order of the growth rates of the second reformulated Zagreb indexes of these graphs is the same as that of the first reformulated Zagreb indices. The results of the gear graph and the wheel graph are very close to each other, and the growth rate of the wheel graph is larger.

### 3.2. Reformulated Zagreb Indices of Linear [n]-phenylenes

In this section, reformulated Zagreb indices of linear [n]-phenylenes are obtained. The molecular graphs of linear [n]-phenylenes have cycle graphs. These cycles are 6 vertices and 4 vertices. Figure 3 is a 2-D image of linear [n]-phenylenes.



**Figure 3.** The linear [n]-phenylenes (Yousefi-Azari, 2007).

From Fig.3, linear [n]-phenylenes have  $6n$  vertices and  $6n + 2(n - 1) = 8n - 2$  edges. The partitions of edge degrees of the edge set and partitions of the edge degrees of the adjacent edges of molecular graphs of linear [n]-phenylenes are seen in Table 17 and Table 18, respectively. Let  $\Gamma$  be linear [n]-phenylenes graph and  $E$  be the edge set of  $\Gamma$ .

**Table 17.** The edge degree partitions of the linear [n]-phenylenes graph

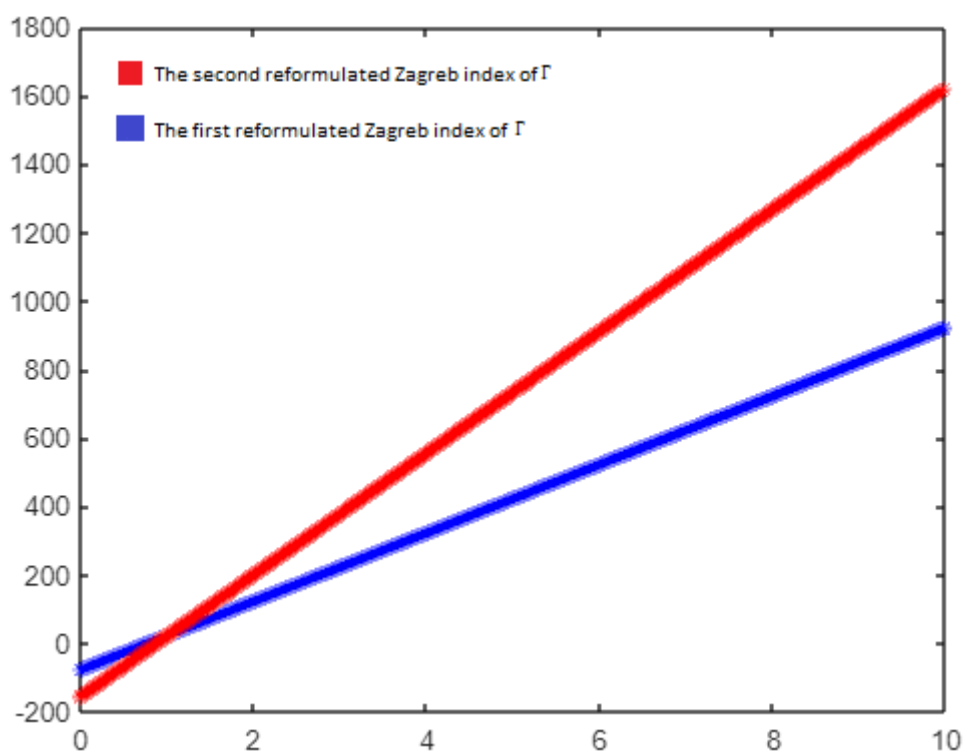
$d_e$ for $e \in E$	Frequency
2	6
3	$4n - 4$
4	$4n - 4$

**Table 18.** The adjacent-edge degree partitions of the linear [n]-phenylenes graph

$(d_e, d_f)$ for $e, f \in E$	Frequency
(2,2)	4
(2,3)	4
(3,3)	$2(n - 2)$
(3,4)	$8(n - 1)$
(4,4)	$4(n - 1)$

Then, From Table 17 and Equation (1), and Table 18 and Equation (2), the following equations are obtained, respectively.

- i)  $RM_1(\Gamma) = 100n - 76$
- ii)  $RM_2(\Gamma) = 178n - 156$



**Figure 4.** Indicates a graphic of reformulated Zagreb indices of linear [n]-phenylenes graphs.

As with the sun graph, the linear [n]-phenylene graph grows at linear speed as n increases. Figure 4 indicates that the values of the second reformulated Zagreb index have faster growth than the first reformulated Zagreb index.

#### 4. Conclusion

In this paper, cycle-related graphs that are frequently encountered in computer science, communication network, and chemical graph theory are examined. These graphs are wheel, helm, gear, friendship, closed-helm, flower, sun, and sunflower. It is focused on reformulated Zagreb indices, one of the topological indices used to obtain equations to predict the physicochemical and bioactivity properties of molecules in a short time and cost-free without experimentation. Reformulated Zagreb indices of cycle-related graphs and linear [n]-phenylenes are calculated.

The results show that graphs with the same edge cardinality have different values of reformulated Zagreb indices. It is also seen that the values of the reformulated second Zagreb index are growing more rapidly than the values of the first reformulated Zagreb indices. While the fastest growing cycle-related graph is the flower graph in the first reformulated Zagreb indices, it is the friendship graph in the second reformulated Zagreb indices. While the edge cardinalities of the wheel and gear graphs are different, the value of the gear graph in the first reformulated Zagreb index is greater than the wheel graph, and the opposite in the second reformulated Zagreb indices. However, in both cases, they get very close results. The first and second reformulated Zagreb indices of the linear [n]-phenylenes with 6-vertices and 4-vertices cycles increase linearly.

The results of this study can be used to predict the properties of drugs in drug discovery. In the future studies, a quantitative structure study of cycle-related chemical structure is planned by using the results of this study.

### **Acknowledgement**

The author thanks the referees and Editor for their valuable comments.

### **Conflict of interest**

The author declares no conflict of interest.

### **References**

- Asok A., Kureethara JV. The QSPR study of butane derivatives: A mathematical approach. *Oriental Journal of Chemistry* 2018; 34(4): 1842-1846.
- Basavanagoud B., Barangi AP., Jakkannavar P. M-polynomial of some graph operations and cycle related graphs. *Iranian Journal of Mathematical Chemistry* 2019; 10(2): 127-150.
- Das KC., Akgunes N., Togan M., Yurttas A., Cangul IN., Cevik AS. On the first Zagreb index and multiplicative Zagreb coindices of graphs. *Analele Stiintifice ale Universitatii Ovidius Constanta* 2016;24(1): 153–176.
- De N. Some bounds of reformulated Zagreb indices. *Applied Mathematical Sciences* 2012; 6(101): 5005-5012.
- Ediz S., Çiftçi İ., Taş Z., Cancan M., Farahani MR., Aldemir MŞ. A note on QSPR analysis of total Zagreb and total Randić indices of octanes. *Eurasian Chemical Communications* 2021; 3: 139-45.
- Estrada E., Bonchev, D. *Chemical graph theory*. Chapman and Hall/CRC, New York 2013.
- Gallian JA. A dynamic survey of graph labeling. *Electronic Journal of Combinatorics* 2007; DS6: 1-58.
- Gutman I., Trinajstić, N. Graph theory and molecular orbitals. total  $\pi$ -electron energy of alternant hydrocarbons. *Chemical Physics Letters* 1972; 17(4): 535–538.
- Havare OC., Havare AK. Computation of the forgotten topological index and co-index for carbon base nanomaterial. *Polycyclic Aromatic Compounds* 2022; 42(6): 3488-3500.
- Javaid M., Ali U., Siddiqui K. Novel connection-based Zagreb indices of several wheel-related graphs. *Computational Journal of Combinatorial Mathematics* 2020; 2(2020):31-58.
- Ji S., Li X., Huo, B. On reformulated Zagreb indices with respect to acyclic, unicyclic and bicyclic graphs. *MATCH Communications in Mathematical and in Computer Chemistry* 2014; 72(3): 723-732.
- Kaya Gök G. On the reformulated zagreb coindex. *Journal of New Theory* 2019; 28: 28-32.
- Liu JB., Ali B., Malik MA., Siddiqui HMA., Imran M. Reformulated Zagreb indices of some derived graphs. *Mathematics* 2019; 7(4): 366.
- Nacaroglu Y., Maden AD. The multiplicative Zagreb coindices of graph operations. *Utilitas Mathematica* 2017; 102: 19-38.

- Natarajan C., Swathi S., Farahani MR. On leap Zagreb indices of some cycle related graphs. *TWMS Journal of Applied and Engineering Mathematics* 2022; 12(3): 954-968.
- Maji D., Ghorai G., Gaba YU. On the reformulated second Zagreb index of graph operations. *Journal of Chemistry* 2021; 2021: 9289534, 17pages
- Miličević A., Nikolić S., Trinajstić N. On reformulated Zagreb indices. *Molecular Diversity* 2004; 8(4): 393–399.
- Mirajkar KG., Priyanka YB. On the reformulated Zagreb indices of certain nanostructures. *Global Journal of Pure and Applied Mathematics* 2017; 13(2): 817-827.
- Öztürk Sözen, E., Eryaşar, E. An algebraic approach to calculate some topological coindices and QSPR analysis of some novel drugs used in the treatment of breast cancer. *Polycyclic Aromatic Compounds* 2023; 1-18.
- Sevgi E., Kızıllırmak GÖ., Büyükköse, S., Cangül, IN. Bounds for various graph energies. In *ITM Web of Conferences* (Vol. 49, p. 01003). EDP Sciences, 2022.
- Sowmya S. On topological indices of cycle related graphs. *Advances in Mathematics: Scientific Journal* 2020; 9(6): 4221-4230.
- Ülker A., Gürsoy A., Gürsoy NK. The energy and Sombor index of graphs. *MATCH Communications in Mathematical and in Computer Chemistry* 2022; 87: 51-58.
- Wazzan S., Uurlu Özalan N. Exploring the symmetry of curvilinear regression models for enhancing the analysis of fibrates drug activity through molecular descriptors. *Symmetry* 2023; 15(6): 1160.
- Wei L., Bian H., Yu H., Yang X. The Gutman index and Schultz index in the random phenylene chains. *Iranian Journal of Mathematical Chemistry* 2021; 12(2): 67-78.
- Wiener H. Structural determination of paraffin boiling points. *Journal of the American Chemical Society* 1947; 69(1): 131–140.
- Yalçın NF., Kılıç A. Zagreb energy of weighted graphs. *Turkish Journal of Mathematics and Computer Science* 2021; 13(1): 162-173.
- Yousefi-Azari H., Yazdani J., Bahrami A., Ashrafi AR. Computing PI and Szeged indices of multiple phenylenes and cyclic hexagonal-square chain consisting of mutually isomorphic hexagonal chains. *Journal of the Serbian Chemical Society* 2007; 72(11): 1063-1067.

## Çileklerin Yaprak Besin Elementi İçerikleri Üzerine Farklı Dozlarda Tuz Uygulamalarının Etkileri\*

Rojbin KAMAR<sup>1\*\*</sup>, Mehmet Ali SARIDAŞ<sup>2</sup>, Sevgi PAYDAŞ KARGI<sup>3\*\*\*</sup>

<sup>1,2,3</sup>Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, 01330, Adana

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-2119-7300>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-5781-8581>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-5180-1874>

\*\*Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.

\*\*\*Sorumlu yazar: sevpay@cu.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 23.03.2023

Kabul tarihi:26.07.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Akdeniz iklimi

Bitki besleme

*Fragaria* × *ananassa* Duch

Stres

### ÖZ

Bu araştırma; Çukurova Üniversitesi Bahçe Bitkileri Bölümü'ne ait İspanyol tipi yüksek tünel altında, saksı denemesi şeklinde, 2020-2021 yetiştiricilik döneminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada önceki yıllarda yapılan melezleme çalışmaları sonucunda üstün bulunan 112, 36 No'lu çilek genotipleri ile Fortuna çeşidi kullanılmıştır. Denemede bitkilere; normal su (Kontrol-0,5 dS/m) ve 4 farklı tuz konsantrasyonu (1 dS/m-1,5 dS/m-2 dS/m-2,5 dS/m NaCl) ile sulama uygulamaları yapılmıştır. Araştırmada; yoğun tuz birikiminin kökler tarafından bitki besin elementlerinin bitkiye taşınmasını azalttığı; N, Mg, Fe, Mn gibi besin elementlerinin alınımını olumsuz etkilediği, uzun süre tuzlu toprağa maruz kalan bitkilerin canlı kalma oranlarının düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca farklı tuz dozlarına maruz bırakılan çileklerde, bitki besin elementlerinin alınımının, genotiplere bağlı olduğu da belirlenmiştir.

### Effects of Different Salt Concentrations on Leaf Nutrient Content of Strawberries

### Research Article

#### Article History:

Received: 23.03.2023

Accepted: 26.07.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Mediterranean climate

Plant nutrition

*Fragaria* × *ananassa* Duch

Stress

### ABSTRACT

This study has been carried out in the Spanish type high tunnel as pot experiment in Çukurova University Horticulture Department, at 2020-2021 growing period. In this study, 112, 36 strawberry genotypes detected in previous years which were found to be superior as a result of crossing studies and also Fortuna cultivar have been used. It has been performed 4 different salt concentrations (1 dS/m-1.5 dS/m-2 dS/m-2.5 dS/m NaCl) and Control (water 0.5 dS/m) without salt application were applied to plants in this experiment. According to the findings obtained in this research; It has been found that decreased survival rates of plants due to plant exposing salty soils for a long time. It was determined that intense salt accumulation decreased the transport of plant nutrients to the plant by the roots, negatively affected the uptake of nutrients such as N, Mg, Fe, Mn. Also, it has been determined that the uptake of plant nutrients in strawberries exposed to different salt doses is dependent on genotypes.

**To Cite:** Kamar R., Sarıdaş MA., Paydaş Kargı S. Çileklerin Yaprak Besin Elementi İçerikleri Üzerine Farklı Dozlarda Tuz Uygulamalarının Etkileri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 46-57.

\*Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir. FYL202113542.

## 1. Giriş

Bitkilerin en iyi şekilde gelişmesi ve yeterli seviyede ürün verebilmesi için bitki besin elementlerinin optimum düzeyde olması gerekmektedir. Topraktaki besin elementi içeriğinin yeterli olması ve uygun iklim koşullarının da varlığı durumunda bitkiler bunlardan önemli faydalar sağlayabilmektedirler (Geoffrey ve Marvin, 1993). Ancak bitkilerin aşırı gübrenmesi ve kuraklık zaman içerisinde topraklarda tuzluluk sorununa neden olmaktadır.

Tuzluluk; artan dünya nüfusunu besleyebilmek için gerekli tarım ürünlerinin yetiştiriciliğini önemli düzeyde kısıtlayan çevre faktörlerinin en önemlilerinden birisidir (Botella ark., 2005). Oluşma sebeplerine göre primer (doğal) ve sekonder tuzluluk olarak iki gruba ayrılmaktadır. Primer tuzluluğun oluşma nedenlerini; ana kayaların ayrışması, tuz deposu okyanuslar ve iklimsel etmenler oluşturmaktadır (Munns ve Tester, 2008). Sekonder tuzluluğun oluşma sebepleri ise; tarımsal alanlarda yoğun sulama ile çeşitli tuzlar bakımından zengin yer altı suyu seviyesinin toprak yüzeyine kadar yükselmesi, aşırı otlama, bir bölgenin doğal vejetasyonunu yok ederek tarım arazilerinin başka amaçlara açılması ve toprakların tuzluluğa sebep olan kimyasallarla kontaminasyonu olarak sıralanabilmektedir (Pessarakli ve Szabolcs, 1999). Dünyadaki tuzdan etkilenmiş toprakların büyük kısmını  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ve  $\text{NaCl}$ 'ün sebep olduğu tuzlu topraklar oluşturmaktadır (Pessarakli ve Szabolcs, 1999). Toprak tuzluluğu, dünya çapında yaklaşık 800 milyon hektarlık ekilebilir araziye olumsuz etkilemektedir. Bir toprak çözeltisinin elektriksel iletkenliği (EC) yaklaşık  $4 \text{ dS m}^{-1}$ 'e ( $40 \text{ mM NaCl}$ 'ye eşdeğer) ulaştığında söz konusu toprak tuzlu olarak kabul edilmektedir. Bu durum yaklaşık  $0,2 \text{ MPa}$ 'lık bir ozmotik basınç üreterek çoğu ürünün verimini önemli ölçüde azaltmaktadır (Munns ve Tester, 2008; Acosta-Motos ve ark., 2017). Türkiye'de yaklaşık 1,5 milyon hektarda tuzluluk ve alkalilik sorunu bulunmaktadır. Tuz toleransı, yüksek oranlarda tuz içeriğine sahip olan ortamlarda bitkilerin büyüme ve gelişmesini sürdürebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda farklı tuz kaynaklarının çilek çeşitlerinde tuza tolerans durumlarını belirlemede sulama suyuna eklenen  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ve  $\text{NaHCO}_3$ 'ün çilek üzerinde zararlı etkileri tetiklemediği, klorlu suların ( $\text{NaCl}$  ve  $\text{KCl}$ ) fitotoksisteye neden olduğu da kaydedilmiştir.

Çileklerde tuz stresi konusunda çeşitli araştırmalar yürütülmüştür. Turhan ve Eris (2004), tuz stresi koşullarında çilek bitkilerinde mikro elementler, kuru ağırlık ve klorofil miktarındaki değişimleri incelemişlerdir. Çalışmada “Camarosa” ve “Tioga” çilek çeşitlerine 10 hafta boyunca çeşitli tuz konsantrasyonları (0, 750, 1000, 2000 mg/L) uygulanmıştır. Keutgen ve Pawelzik (2008), dört aylık tuz stresine maruz bırakılan “Elsanta” ve “Korona” çeşitlerinin tuzluluk toleransını araştırmışlardır. Yurtseven ve ark. (2012), lisimetrede farklı düzeydeki sulama suyu tuzluluğu ve yıkama oranı uygulamalarının toprak profilindeki tuz değişimlerine etkilerini incelemişlerdir. Sandhu ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada 8 diploid çilek genotipinin yüksek tuzluluk koşullarındaki fizyolojik ve genetik tepkilerini incelemişlerdir. Ferreira ve ark. (2019), beş ticari çilek çeşidinde, artan sulama suyu tuzluluğunun dokulardaki  $\text{Cl}^-$ , kök ve yaprak sapındaki  $\text{Na}^+$  miktarını arttırdığını belirlemişlerdir.



Zahedi ve ark. (2019), tuzlu topraklarda çilekte verim ve büyümenin olumsuz etkilendiğini, selenium-nanopartiküllerinin (Se-NPs) bu konu üzerine pozitif etki yaptığını bildirmişlerdir. Lamnai ve ark. (2021), tuz stresindeki (0 ve 80 mM NaCl) çilek bitkilerine salisilik asit (SA) uygulamalarının etkilerini belirlemek üzere yaptıkları çalışmalarında; 0 mM, 0,25 mM ve 0,5 mM gibi farklı SA konsantrasyonları seçmişlerdir. Roshdy ve ark. (2021), iki yıl süreyle, saksı denemeleri şeklinde “Camarosa” çeşidinde, tuz stresine (0, 20, 40 mM NaCl) karşı yapraklara su püskürtme (Kontrol), 30, 60 ve 90 ppm salisilik asit (SA) uygulamışlardır.

Tarımda istenilen miktar ve kalitede ürünün elde edilmesinin birinci şartı toprakların verimliliklerinin artırılmasıdır. Toprak verimliliğini arttırmada en önemli faktörlerden birisi de bitki besin elementleridir. Besin elementleri bitki gelişiminin önemli bir parçası olup, bir veya daha fazlasının noksanlığı verim ve kaliteyi olumsuz yönde etkilemektedir. Topraklardan en uygun verimi alabilmek için dengeli gübreleme yapmak ve bitki besin elementlerinin noksanlıklarını gidermek şarttır.

Bitki besin elementi miktarı farklı dönemlerde farklı çevre koşullarına göre değişkenlik gösterebilmektedir. Var olan besin elementlerinin alımı çevresel faktörlere bağlı olarak değişebildiği gibi alınan elementlerin bitki için etkisi de aynı şekilde olamamaktadır.

Bu çalışmada, tuz uygulamalarının ticari öneme sahip çilek çeşidi ile uzun yıllar devam eden melezleme ıslahı programlarından üstün özellikli oldukları için seçilmiş melez çilek genotiplerinin yapraklarındaki makro ve mikro besin element içerikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

## **2. Materyal ve Metot**

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Araştırma ve Uygulama arazisinde yürütülmüştür. Deneme alanı; 36°59' N enlem, 35°18' E boylam dereceleri arasında yer almakta olup, denizden ortalama yüksekliği 40 m'dir. Sulama suyundaki farklı tuz konsantrasyonlarının çilek yapraklarındaki makro ve mikro element içeriği üzerine etkilerinin incelendiği bu çalışmada, bitkisel materyal olarak Fortuna çeşidi ile 36 ve 112 No'lu seçilmiş melez çilek genotipleri kullanılmıştır (Sarıdaş, 2018). Çalışma 2020-2021 çilek yetiştirme döneminde İspanyol tipi yüksek tünel altında yürütülmüştür. Denemede 3,1 litre hacmindeki plastik saksılar kullanılmıştır. Harç olarak 3:1 oranında torf ve perlit karışımı hazırlanmış ve saksı başına 2 kg olacak şekilde doldurulmuştur. Bitkiler, Ekim ayının ikinci haftasında dikilmiş ve saksılar tünel altındaki masalara yerleştirilmiştir. Deneme bitkilerini kontrollü bir şekilde sulamak için Ekim ayının ilk haftasında, yukarıda açıklanan yetiştirme ortamından örnekler alınarak Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü'nde tarla kapasitesini belirlemek üzere ölçümler yapılmıştır. Her sulamada bitkilere verilecek su miktarı yapılan hesaplamalara göre belirlenmiştir. Tuz uygulamaları; 1 dS/m-1,5 dS/m-2 dS/m-2,5 dS/m ve Kontrol (0,5 dS/m) olmak üzere 5 farklı konsantrasyonda saksı hacmine göre NaCl olarak ayarlanmış ve sulama suyuyla verilmiştir. Kontrol grubundaki bitkiler normal su ile sulanmıştır. Tuz uygulamalarına Aralık ayının ilk haftasında başlanmıştır.

Deneme, 5 farklı dozda tuz uygulaması X 3 çilek genotipi X 3 tekerrür X her tekerrürde 5 bitki olmak üzere 225 saksıda yürütülmüştür. Araştırma, “tesadüf parsellerinde faktöriyel düzen” deneme desenine göre kurulmuştur. Sulama sıklığı sıcaklığa bağlı olarak aylara göre değişim göstermiştir. Ekim-Kasım-Aralık-Ocak-Şubat aylarında, ayda 5 defa sulama yapılırken, Mart ayında 7, Nisan ayında 8, Mayıs ayında ise 9 defa sulama yapılmıştır.

Denemede, Kacar ve İnal (2008)’a göre, yapraklarda makro ve mikro besin element analizleri “Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü” laboratuvarında yapılmıştır. Denemeden elde edilen bütün parametreler JMP 8.1.0. paket programında “Tesadüf parsellerinde faktöriyel düzen” deneme desenine göre varyans analizine tabi tutularak istatistiksel analizleri yapılmıştır. Ortalamalar LSD testi ile karşılaştırılmıştır.

### **3. Bulgular ve Tartışma**

Yapılan araştırmalar her bir besin elementinin bitkide ayrı ayrı görevinin olduğunu ortaya koymuştur. Besin elementinin noksanlığı veya fazlalığı bitkiyi fizyolojik olarak olumsuz etkileyebilmektedir. Bitkilerin besin elementlerini alabilmeleri; topraktaki besin elementi miktarı, besin elementlerinin birbirleriyle olan antogonistik ve sinerjistik ilişkileri, iklim, mevsimsel değişim, toprak tipi, toprak nemi, bitki gelişim durumu ve kültürel uygulamalar gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilmektedir.

Bu çalışmanın orijinalliği; ticari öneme sahip Fortuna çilek çeşidi ile melezleme ıslahıyla elde edilmiş ve üstün özellikleri nedeniyle seçilmiş melez çilek genotiplerinin son dönemlerin en önemli sorunlarından birisi olan tuzluluğa karşı durumlarını anlayabilmek için farklı tuz konsantrasyonlarına karşı besin element alımlarının karşılaştırılması olup, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

#### **Makro Besin Elementleri (%)**

##### **Yaprak Azot Değerleri (N)**

Deneme kapsamında incelenen çilek bitkilerine yapılan farklı tuz uygulamalarının yaprak azot (N) değerleri üzerine etkileri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde; genotip, doz ve genotip x doz etkileşimleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir. Çilek genotiplerine farklı tuz konsantrasyondaki uygulamalarının yaprak N değeri üzerine etkileri incelendiğinde, 1,5dS/m-2 dS/m tuz uygulamalarının N düzeyini en yüksek seviyeye çıkardığı (%2,8) ve bu değer diğer uygulamalara göre istatistiksel olarak farklı olduğu dikkati çekmiştir. Söz konusu değeri 2,5 dS/m tuz uygulaması izlemiş olup, en düşük yaprak N değeri tuz uygulaması yapılmayan Kontrol ve 1 dS/m tuz konsantrasyonunda ölçülmüştür. Genotipler arasından en yüksek N, %2,8 değeriyle 36 No’lu genotipde gözlemlenirken, en düşük değer (%2,6) 112 No’lu genotipde saptanmıştır. Yaprak N değerlerinin genotip x doz etkileşimleri arasındaki farklar önemli olup, en yüksek N değeri %3,1 olarak 36 No’lu genotipin 2 dS/m’lik tuz uygulamasında tespit edilmiştir. Yaprak azot değerlerinde her ne kadar istatistiksel farklar belirlenmiş olsa da pratik olarak çok anlamlı bir fark görülmemiştir.

Genotip x doz etkileşimi daha anlamlı olup, %2,3 ile %3,1 arasında dağılım göstermiştir. 36 ve 112 No'lu genotiplerde tuz dozunun yaprak azot değerini biraz artırma eğilimi olduğu görülse de Fortuna çeşidinde karmaşık bir durum olduğu dikkati çekmiştir.

Azot, tüm bitkilerin önemli yapı unsuru olarak kabul edilen proteinin yapıtaşı, klorofil, enzim ve vitaminlerin yapısında yer alan önemli bir besin elementidir. Bu nedenle bitkilerin azot seviyelerindeki artışlar protein miktarını ve dolayısıyla büyümeyi hızlandırmaktadır. Keutgen ve Pawelzik (2008), yapmış oldukları çalışmada tuz stresi arttıkça bitkide bulunan Na<sup>+</sup> konsantrasyonunun arttığını bildirmişlerdir. Turhan ve Eris (2004), tuz stresi koşullarında “Camarosa” ve “Tioga” çilek çeşitlerine 10 hafta boyunca çeşitli tuz konsantrasyonları (0, 500, 1000, 2000 mg/L) uygulamışlar ve tuz uygulamalarının toplam klorofil içeriğini değiştirmediğini bildirmişlerdir. Söz konusu çalışmadaki N değerlerinin bu çalışmadan elde edilen yaprak N değerleriyle karşılaştırılması halinde benzerlik gösterdikleri dikkati çekmiştir.

**Tablo 1.** Denemede incelenen üç çilek genotipine farklı konsantrasyonlardaki tuz uygulamalarının yaprak azot (N) değerleri üzerine etkileri (%)

DOZLAR	Doz ort.	36 No'lu genotip	112 No'lu genotip	Fortuna çeşidi
Kontrol (0,5 dS/m)	2,6 B <sup>1</sup>	2,5 f-1	2,4 h1	2,9 bcd
1 dS/m	2,6 B	2,5 gh1	2,7 d-g	2,7 def
1,5 dS/m	2,8 A	2,8 cde	2,5 f-1	3,1 ab
2 dS/m	2,8 A	3,1 a	2,7 de	2,6 e-h
2,5 dS/m	2,7 AB	3,0 abc	2,8 cde	2,3 ı
	Ortalama	2,8 A	2,6 B	2,7 AB
	<sup>2</sup> Genotip***	Doz***	Genotipxdoz***	

(1):Ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir. (2): \*\*\*:p<0,001

### Yaprak Potasyum Değerleri (K)

Deneme kapsamında incelenen çilek bitkilerine yapılan tuz uygulamalarının yaprak potasyum (K) değerleri üzerine etkileri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'den yaprak K değerlerinde, genotip ve genotip x doz etkileşimi arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu, doz uygulamaları arasındaki farkların ise önemsiz olduğu saptanmıştır. Genotipler arasında en yüksek K değeri %1,83 ile 36 No'lu genotipde gözlemlenirken, en düşük değerler aynı istatistiksel grupta yer alan Fortuna çeşidi (%1,33) ile 112 No'lu genotipde (%1,41) saptanmıştır.

Yaprak potasyumunda genotip x doz etkileşimi arasındaki farklar önemli olup, en yüksek K değeri (%2,26) 36 No'lu genotipin 2 dS/m'lik tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Çilek meyvesinde büyüme ve gelişmede rol oynayan K elementi, ortalama değerlere göre uygulanan tuz miktarlarından etkilenmemiş, ancak genotiplerin tuz uygulamalarına farklı tepkiler verdikleri dikkati çekmiştir.

Çilekte K için kritik değerin %1 olduğu savunulmaktadır (Ağaoğlu, 1986). Kacar ve İnal (2008), çilek yapraklarında K yeterlilik sınırlarının %1,30 ile %3,0 arasında olduğunu belirtmişlerdir. Elde edilen K miktarları önceki çalışmalarda bulunan sonuçlar ile paralellik göstermektedir. Bilgin (2002), yaptığı çalışmada NaCl uygulama dozu arttıkça K içeriğinin azaldığını bildirmiştir. Bu sonuç, yapılan bu çalışmadaki bazı genotiplerde görülmüştür.

**Tablo 2.** Denemede incelenen üç çilek genotipine farklı konsantrasyonlardaki tuz uygulamalarının yaprak potasyum (K) değerleri üzerine etkileri (%)

DOZLAR	Doz ort.	36 No'lu genotip	112 No'lu genotip	Fortuna çeşidi
Kontrol (0,5 dS/m)	1,36	1,31 c-f <sup>1</sup>	0,98 f	1,80 a-d
1 dS/m	1,50	1,57 b-f	1,59b-f	1,35 c-f
1,5 dS/m	1,40	1,91 abc	1,17 def	1,10 ef
2 dS/m	1,40	2,26 a	1,74 a-e	1,24 def
2,5 dS/m	1,62	2,12 ab	1,57 b-f	1,15 def
	Ortalama	1,83 A	1,41B	1,33 B
<sup>2</sup> Genotip*		Doz:ÖD	Genotipxdoz*	

(1): Ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir. (2): Ö.D.: Önemli Değil; \* :p<0,05

### Yaprak Magnezyum Değerleri (Mg)

Deneme kapsamında incelenen çilek bitkilerine yapılan tuz uygulamalarının yaprak Magnezyum değerleri üzerine etkileri Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'den genotip, doz ve genotip x doz etkileşimleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır. Farklı çilek genotiplerine değişik dozlarda tuz uygulamalarının yaprak Mg değeri üzerine etkilerine bakıldığında, 2 dS/m ve 2,5 dS/m tuz uygulamasının Mg düzeyini en yüksek seviyeye çıkardığı (% 0,77 ve % 0,75), bu değer diğer uygulamalara göre istatistiksel olarak farklı olduğu dikkati çekmiştir. En düşük yaprak Mg değeri (% 0,68), 1 dS/m tuz konsantrasyonunda ölçülmüştür. Genotipler arasından en yüksek Mg değeri 2 dS/m ile 36 No'lu genotipde ve % 0,74 ile Fortuna çeşidinde belirlenirken, en düşük değer (%0,70) 112 No'lu genotipde saptanmıştır. Genotipler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Yaprak Mg değerlerinin genotip x doz etkileşimleri bakımından en yüksek Mg değeri (% 0,84), 36 No'lu genotipin 2,5 dS/m'lik tuz uygulamasında gözlemlenmiştir.

Öztürk (2018), yaptığı çalışmada tuz konsantrasyonunun artması halinde pazı yapraklarındaki Mg içeriğinin azaldığını bulmuştur. Kaya (2020), benzer şekilde asmada yaptığı çalışmada artan tuz dozlarının makro ve mikro besin elementlerinin alımını azalttığını savunmuştur. Sonuçlandırılan bu çalışmadan, elde edilen Mg değerlerinin tuz dozlarına göre çok dar bir değişim aralığında (% 0,68- %0,77) dağıldıkları, buna karşın yapraklardaki Mg birikiminin genotipe bağlı olduğu görülmüştür.

**Tablo 3.** Denemede incelenen üç çilek genotipine farklı konsantrasyonlardaki tuz uygulamalarının yaprak magnezyum (Mg) değerleri üzerine etkileri (%)

DOZLAR	Doz ort.	36 No'lu genotip	112 No'lu genotip	Fortuna çeşidi
Kontrol (0,5 dS/m)	0,74 AB <sup>1</sup>	0,68 ef	0,78 abc	0,77 a-d
1 dS/m	0,68 C	0,69 def	0,63 f	0,71 cde
1,5 dS/m	0,70 BC	0,84 a	0,62 f	0,80 ab
2 dS/m	0,77 A	0,68 ef	0,73 b-e	0,75 b-e
2,5 dS/m	0,75 A	0,84 a	0,74 b-e	0,68 ef
	Ortalama	0,75 A	0,70 B	0,74 A
<sup>2</sup> Genotip*		Doz**		Genotipxdoz**

(1): Ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir. (2): \*\*:p<0,01; \* :p<0,05

### Mikro Elementler (mg.kg<sup>-1</sup>)

#### Yaprak Demir Değerleri (Fe)

Deneme kapsamında incelenen çilek bitkilerine yapılan tuz uygulamalarının yaprak demir (Fe) içerikleri üzerine etkileri Tablo 4'de verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde, doz ve genotip x doz etkileşimleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu, genotipler arasındaki farkların ise önemli olmadığı saptanmıştır.

Farklı konsantrasyondaki tuz uygulamalarının yaprak Fe değerleri üzerine etkilerine bakıldığında, Kontrol (133,1 mg.kg<sup>-1</sup>) ve 1,5 dS/m tuz (102,8 mg.kg<sup>-1</sup>) uygulamalarının Fe düzeyini en yüksek seviyeye çıkardığı ve belirlenen değerlerin diğer uygulamalara göre istatistiksel olarak farklı olduğu dikkati çekmiştir. Söz konusu değerleri 1 dS/m ve 2 dS/m tuz konsantrasyonları izlemiş olup, en düşük yaprak Fe değeri 2,5 dS/m tuz konsantrasyonunda (55,3 mg.kg<sup>-1</sup>) ölçülmüştür. Genotip x uygulama etkileşimlerinde en yüksek Fe oranı (258,5 mg.kg<sup>-1</sup>) 112 No'lu genotipin Kontrol uygulamasında tespit edilmiştir. Sonuçlandırılan bu çalışmada, daha önce yapılan araştırmalara (Öztürk, 2018; Kaya, 2020) benzer şekilde, genel olarak uygulanan tuz dozları arttıkça, yapraklardaki mikro element içeriklerinin düştüğünü savunan araştırmacılara paralel sonuçlara ulaşılmış olmakla birlikte, istatistiksel olarak önemli olmasa da genotiplerin Fe alımındaki seçicilikleri daha ön plana çıkmıştır.

**Tablo 4.** Denemede incelenen üç çilek genotipine uygulanan farklı tuz konsantrasyonlarının yaprak demir (Fe) değerleri üzerine etkileri (mg.kg<sup>-1</sup>)

DOZLAR	Doz ort.	36 No'lu genotip	112 No'lu genotip	Fortuna çeşidi
Kontrol (0,5 dS/m)	133,1 A <sup>1</sup>	78,0 b	258,5 a	62,8 b
1 dS/m	74,7 B	64,6 b	56,1 b	103,3 b
1,5 dS/m	102,8 AB	56,5 b	42,8 b	209,4 a
2 dS/m	68,4 B	66,4 b	44,2 b	94,7 b
2,5 dS/m	55,3 B	63,7 b	47,3 b	54,8 b
	Ortalama	65,8	89,8	105,0
<sup>2</sup> Genotip:Ö.D.		Doz**		Genotipxdoz*

(1): Ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir. (2): Ö.D.: Önemli Değil.. \*\*:p<0,01; \* :p<0,05

### Yaprak Bakır Değerleri (Cu)

Deneme kapsamında incelenen çilek bitkilerine yapılan tuz uygulamalarının yaprak bakır içerikleri üzerine etkileri Tablo 5’de verilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde, genotip ve genotip x doz etkileşimleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu, dozlar arasındaki farkların ise önemsiz olduğu saptanmıştır. Genotipler arasında en yüksek yaprak Cu değeri (5,6 mg.kg<sup>-1</sup>) Fortuna çeşidinde tespit edilirken, bu açıdan en düşük değer (3,7 mg.kg<sup>-1</sup>) 36 No’lu genotipde saptanmıştır.

Genotip x doz etkileşiminde en yüksek yaprak Cu değeri (9,3 mg.kg<sup>-1</sup>) Fortuna çeşidinin 2 dS/m tuz uygulamasında ölçülmüştür.

Turhan ve Eriş (2004), yapmış oldukları çalışmada artan NaCl uygulamalarına göre, Cu içeriğinin değişmediğini bildirmişlerdir. Yapılan çalışmada da artan tuz dozlarının yapraklarda belirlenen Cu düzeylerine belirgin bir etkisinin olmadığı, genotiplerin doz seçiciliğinin önemli olduğu bulunmuştur.

**Tablo 5.** Denemede incelenen üç çilek genotipine uygulanan farklı tuz konsantrasyonlarının yaprak bakır (Cu) değerleri üzerine etkileri (mg.kg<sup>-1</sup>)

DOZLAR	Doz ort.	36 No’lu genotip	112 No’lu genotip	Fortuna çeşidi
Kontrol (0,5 dS/m)	5,1	3,9 bc <sup>1</sup>	7,8 a	3,5 c
1 dS/m	4,0	4,0 bc	4,0 bc	3,9 bc
1,5 dS/m	5,0	3,5 c	4,5 bc	6,9 ab
2 dS/m	5,6	3,6 c	3,9 bc	9,3 a
2,5 dS/m	3,7	3,2 c	3,8 bc	4,1 bc
	Ortalama	3,7 B	4,8AB	5,6 A
<sup>2</sup> Genotip*		Doz:Ö.D.		Genotipxdoz*

(1): Ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir. (2): Ö.D.: Önemli Değil. \* :p<0,05

### Yaprak Çinko Değerleri (Zn)

Deneme kapsamında incelenen çilek bitkilerine yapılan tuz uygulamalarının yaprak çinko (Zn) içerikleri üzerine etkileri Tablo 6’da verilmiştir. Tablo 6 incelendiğinde, genotip ve genotip x doz etkileşimleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu, dozlar arasındaki farkların ise önemli olmadığı saptanmıştır. Genotipler arasından en yüksek Zn değeri 50,7 mg.kg<sup>-1</sup> ile Fortuna çeşidinde belirlenirken, en düşük değer (29,8 mg.kg<sup>-1</sup>) 36 No’lu genotipde saptanmıştır.

Genotip x doz etkileşiminde en yüksek Zn düzeyi (85,1 mg.kg<sup>-1</sup>), Fortuna çeşidine 2 dS/m tuz uygulamasında ölçülmüştür.

Keutgen ve Pawelzik (2008), yapmış oldukları çalışmada NaCl uygulamalarının bitkideki Zn konsantrasyonunu arttırdığını bildirmişlerdir. Sonuçlandırılan bu çalışmada, Keutgen ve Pawelzik (2008) tarafından savunulan tuz uygulamalarının Zn miktarını arttırdığı şeklindeki ilişkinin denemedeki bazı genotiplerde genel olarak gerçekleştiği görülmüştür.

**Tablo 6.** Denemede incelenen üç çilek genotipine uygulanan farklı tuz konsantrasyonlarının yaprak çinko (Zn) değerleri üzerine etkileri (mg.kg<sup>-1</sup>)

DOZLAR	Doz ort.	36 No'lu genotip	112 No'lu genotip	Fortuna çeşidi
Kontrol (0,5 dS/m)	49,1	27,7 b <sup>1</sup>	91,0 a	28,6 b
1 dS/m	33,2	32,4 b	29,6 b	37,7 b
1,5 dS/m	40,3	24,0 b	21,0 b	75,9 a
2 dS/m	48,7	34,4 b	26,7 b	85,1 a
2,5 dS/m	29,0	31,2 b	29,6 b	26,1 b
	Ortalama	29,9 B	39,6 AB	50,7 A
<sup>2</sup> Genotip**		Doz: Ö.D.		Genotipxdoz***

(1): Ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir. (2): Ö.D.: Önemli Değil. \*\*\*:p<0,001; \*\*:p<0,01

### Yaprak Mangan Değerleri (Mn)

Deneme kapsamında incelenen çilek bitkilerine yapılan tuz uygulamalarının yaprak mangan (Mn) içerikleri üzerine etkileri Tablo 7'de verilmiştir. Tablo 7 incelendiğinde, doz ve genotip x doz etkileşimleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli, genotipler arasındaki farkların ise önemsiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kontrol (29,1 mg.kg<sup>-1</sup>) ve 2 dS/m tuz (28,4 mg.kg<sup>-1</sup>) uygulamalarının, yaprak Mn düzeylerini en yüksek seviyeye çıkardığı gözlemlenmiştir. En düşük yaprak Mn değeri 2,5 dS/m tuz konsantrasyonunda ölçülmüştür.

Ersoy ve Demirsoy (2006)'un yaptıkları bir çalışmada, yaprak Mn içeriğinin 36,3-101,8 mg.kg<sup>-1</sup> aralığında; Mills and Jones (1996) ise, yaprak Mn içeriğinin 11-137 mg.kg<sup>-1</sup> aralığında olduğunu bildirmişlerdir. Sonuçlandırılan bu denemede, yaprak Mn değerlerinin 12,1-50,5 mg.kg<sup>-1</sup> aralığında olduğu ve diğer araştırmalara göre ortalama düzeyde bulunduğu saptanmıştır.

Yaprak Mn değerlerinin genotip x doz etkileşimleri arasındaki farklar önemli olup, en yüksek Mn düzeyi (50,5 mg.kg<sup>-1</sup>) 112 No'lu genotipin Kontrol uygulamasında belirlenmiştir. Söz konusu genotipde artan tuz dozu genel olarak Mn alımını olumsuz yönde etkilemiştir. Buna karşın Fortuna çeşidi belli bir tuz dozuna kadar Mn alımını arttırırken, en yüksek dozda çok ani bir düşüş sergilemiştir. Benzer durum bu derece keskin olmamakla birlikte 36 No'lu genotipte de gerçekleşmiştir.

**Tablo 7.** Denemede incelenen üç çilek genotipinde uygulanan farklı tuz konsantrasyonlarının yaprak mangan (Mn) değerleri üzerine etkileri (mg.kg<sup>-1</sup>)

DOZLAR	Doz ort.	36 No'lu genotip	112 No'lu genotip	Fortuna çeşidi
Kontrol (0,5 dS/m)	29,1 A <sup>1</sup>	19,7 cd	50,5 a	17,0 cd
1 dS/m	16,3 B	19,9 cd	13,5 d	15,4 cd
1,5 dS/m	22,7 AB	14,9 cd	12,2 d	41,1 ab
2 dS/m	28,4 A	29,1 bc	14,4 cd	41,9 ab
2,5 dS/m	15,2 B	21,2 cd	12,3 d	12,1 d
	Ortalama	21,0	20,6	25,5
<sup>2</sup> Genotip:Ö.D.		Doz**		Genotipxdoz***

(1): Ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir. (2): Ö.D.: Önemli Değil \*\*\*:p<0,001; \*\*:p<0,01

#### **4. Sonuç ve Öneriler**

2020-2021 yılları arasında, saksı denemesi şeklinde yürütülen bu çalışmada üç farklı çilek genotipi kullanılmıştır. Torf perlit karışımlarına sulama suyu yardımıyla belirli konsantrasyonlarda (1 dS/m-1,5 dS/m-2 dS/m-2,5 dS/m) tuz (NaCl) uygulanmıştır. Çalışmada söz konusu dozlardaki NaCl'li sulama suyuyla sulanan bitkilerin yapraklarındaki bitki besin element içerikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Yapraklarda belirlenen bitki besin element miktarları farklı zamanlarda farklı çevre koşullarına göre değişkenlik gösterebilmektedirler. Toprakta var olan besin elementlerinin alımı çevresel faktörlere bağlı olarak değişebildiği gibi alınan elementlerin bitki için etkisi de aynı şekilde değişkenlik gösterebilmektedir.

Artan tuz dozları genel olarak demir ve mangan gibi mikro elementlerin yapraklarda azalmasına sebep olurken, çinko ve bakır elementlerinde önemli bir etkisi bulunmamıştır. Ancak makro elementlerden azot ve magnezyumda ise artan tuz uygulaması söz konusu elementlerin yapraklarda daha fazla birikmesine neden olmuştur. Potasyumda ise tuz konsantrasyonlarının önemli bir etkisi gözlemlenmemiştir. Genel olarak yapılan tuz uygulamalarından 112 ve 36 No'lu genotiplerin ticari bir çeşit olan Fortuna'ya göre daha az etkilendikleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak; yetiştirme sezonu boyunca sulama suyuyla toprağa yapılan tuz uygulamalarının; N, Mg, Fe, Mn gibi besin elementlerinin alınımını olumsuz etkilediği, bununla birlikte tuz uygulamalarına rağmen çilek bitkisinde saptanan bitki besin element değerlerinin normal sınırlar içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışmada tuz uygulamalarının; K, Cu, Zn alınımına etkisinin önemsiz olduğu da belirlenmiştir. Bununla birlikte analizleri yapılan bütün makro ve mikro besin elementlerinin yapraklardaki düzeylerinin genotiplerden etkilendikleri, başka bir deyimle tuz dozlarının deneme kapsamında incelenen bitki besin elementlerin bitkiye alınmasının genotipe çok bağlı olduğu ortaya konulmuştur.

Son yıllarda yanlış gübreleme ve sulama ile beraber topraklarda tuzluluk sorunu artmaya başlamıştır. Bahsedilen bu sorun toprağın alkalilik düzeyini artırarak üreticileri ciddi problemlerle karşı karşıya bırakabilmekle beraber yetiştirilen ürünlerin verimini, kalitesini azaltmaktadır. Bu çalışmanın ışığında tuzluluğun kontrol edilebilmesi gereken bir sorun olduğu bilincine varılıp yetiştiricilik öncesinde toprak analizi, yetiştiricilik sırasında ise yaprak analizi yapılması konusunda bilinç seviyesinin artması gerekmektedir. Tuz stresinin çilek bitkisinde besin elementlerinin alımı üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışma, başka çalışmalara referans olabileceği özelliğindedir.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.



## Kaynakça

- Acosta-Motos JR., Ortuño MF., Bernal-Vicente A., Diaz-Vivancos P., Sanchez-Blanco MJ., Hernandez JA. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy* 2017; 7(1): 1-38.
- Ağaoğlu YS. Üzümsü meyveler. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 984; 1986.
- Bilgin N. Besin kültüründe yetiştirilen farklı domates çeşitlerinin artan NaCl uygulamalarına toleransı ve tuzluluk stresinin Kuru Madde Miktarı ile Bitki Mineral İçeriğine Etkisi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:63, Erzurum, Türkiye, 2002.
- Botella MA., Rosado A., Bressan RA., Hasegawa PM. Plant adaptive responses to salinity stress, plant abiotic stress. Blackwell Publishing Ltd; 2005.
- Ersoy B., Demirsoy H. Effect of shading on seasonal variation of some macro-nutrients in ‘Camarosa’ strawberry. *Asian Journal of Chemistry* 2006; 18(3): 2329-2340.
- Ferreira JF., Liu X., Suarez DL. Fruit yield and survival of five commercial strawberry cultivars under field cultivation and salinity stress. *Scientia Horticulturae* 2019; 243: 401-410.
- Geoffrey MM., Marvin PP. Phosphorus, zinc and boron influence yield components in earliglow strawberry. *Journal of American Society Horticultural Science* 1993; 118(1): 43-49.
- Kacar B., İnal A. Bitki Analizleri, Nobel Yayın Dağıtım Ltd; 2008.
- Kaya KF. In vitro’da tuz stresi altında yetiştirilen bazı amerikan asma anaçlarının genotipik tepkileri ve bitki besin elementi tercihlerinin belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:100, Adana, Türkiye, 2020.
- Keutgen AJ., Pawelzik E. Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. *Food Chemistry* 2008; 107(4): 1413-1420.
- Lamnai K., Anaya F., Fghire R., Zine H., Wahbi S., Loutfi K. Impact of exogenous application of salicylic acid on growth, water status and antioxidant enzyme activity of strawberry plants (*Fragaria vesca* L.) under salt stress conditions. *Gesunde Pflanzen* 2021; 73(4): 465-478.
- Munns R., Tester M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 2008; 59: 651-681.
- Öztürk Ş. Farklı tuz konsantrasyonlarına sahip sulama sularının pazının büyüme ve gelişimine olan etkileri. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:76, Tekirdağ, Türkiye, 2018.
- Pessarakli M., Szabolcs I. Soil salinity and sodicity as particular plant/crop stress factors. *Handbook of Plant Crop Stress: New York Marcel Dekker, Inc; 1999.*
- Roshdy AED., Alebidi A., Almutairi K., Al-Obeed R., Elsbagh A. Roshdy, AED, Alebidi, A., Almutairi, K., AlObeed, R., Elsbagh, A. 2021. The effect of salicylic acid on the performances of salt stressed strawberry plants, enzymes activity, and salt tolerance index. *Agronomy* 2021; 11, 775: 1-13.

- Sandhu D., Pudussery MV., Ferreira JF., Liu X., Pallete A., Grover KK., Hummer K. Variable salinity responses and comparative gene expression in woodland strawberry genotypes. *Scientia Horticulturae* 2019; 254: 61-69.
- Sarıdaş M.A. Melezleme ıslahıyla seçilmiş çilek genotiplerinin verim, kalite özelliklerinin belirlenmesi ve moleküler karakterizasyonu. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no:338, Adana, Türkiye, 2018.
- Turhan E., Eris A. Effects of sodium chloride applications and different growth media on ionic composition in strawberry plant. *Journal of Plant Nutrition* 2004; 27(9): 1653-1665.
- Yurtseven E., Öztürk HS., Avcı S., Altınok S., Selenay MF. Farklı sulama suyu kalitesi ve yıkama oranı uygulamalarında profil tuzluluğunun değişimi. *Toprak Su Dergisi* 2012; 1(1): 38-46.
- Zahedi SM., Abdelrahman M., Hosseini MS., Hoveizeh NF., Tran LSP. Alleviation of the effect of salinity on growth and yield of strawberry by foliar spray of selenium nanoparticles. *Environmental Pollution* 2019; 253: 246-258.

## A New Soft Set Operation: Complementary Soft Binary Piecewise Difference ( $\setminus$ ) Operation

Aslıhan SEZGİN<sup>1\*</sup>, Naim ÇAĞMAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Amasya University, Education Faculty, Department of Mathematics and Science Education, 05100, Amasya

<sup>2</sup>Gaziosmanpaşa University, Faculty of Arts and Science, Department of Mathematics, 60000, Tokat

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-1519-7294>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-3037-1868>

\*Corresponding author: [aslihan.sezgin@amasya.edu.tr](mailto:aslihan.sezgin@amasya.edu.tr)

### Research Article

#### Article History:

Received: 01.06.2023

Accepted: 26.07.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Soft set

Soft set operations

Conditional complements

### ABSTRACT

Soft set theory is a theory of dealing with uncertainty. Since its inception, many kinds of soft set operations have been defined and used in various types. In this paper, a new kind of soft set operation called, complementary soft binary piecewise difference operation is defined and its basic properties are investigated. We obtain many striking analogous facts between difference operation in classical theory and complementary soft binary piecewise difference operation in soft set theory. Also, by obtaining the relationships between this new soft set operation and all other types of soft set operations, we aim to contribute to the soft set literature with the help of examing the distribution rules.

## Yeni Bir Esnek Küme İşlemi: Tümleyenli Esnek İkili Parçalı Fark ( $\setminus$ ) İşlemi

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 01.06.2023

Kabul tarihi: 26.07.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Esnek küme

Esnek küme işlemleri

Koşullu tümleyenler

### ÖZ

Esnek küme teorisi, belirsizlikle başa çıkan bir teoridir. Başlangıcından bu yana, birçok türde esnek küme işlemi tanımlanmış ve çeşitli şekillerde kullanılmıştır. Bu çalışmada, tümleyenli esnek ikili parçalı fark işlemi adı verilen yeni bir esnek küme işlemi tanımlanmış ve temel cebirsel özellikleri araştırılmıştır. Klasik teorideki fark işlemi ile esnek küme teorisindeki tümleyenli esnek ikili parçalı fark işlemi arasında birçok çarpıcı benzer özellikler elde edilmiştir. Ayrıca bu işlem ile diğer tüm esnek küme işlemleri arasındaki ilişkiler dağılıma kurallar yardımıyla incelenerek, esnek küme literatürüne katkıda bulunma amaçlanmıştır.

**To Cite:** Sezgin A., Çağman N. A New Soft Set Operation: Complementary Soft Binary Piecewise Difference ( $\setminus$ ) Operation.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 58-94.

### 1. Introduction

Molodtsov (1999) introduced Soft Set Theory to overcome the uncertainties. Since 1999, the theory has been applied to many fields such as decision-making as in Özlü (2022a, 2022b), and Paik and Mondal (2022), measurement theory, operations research, optimization theory, game theory, information systems and some algebraic structures as in Atagün and Aygün (2016), and Addis et al. (2022). Riaz and Hashimi (2019) and Ayub et al. (2021) studied Linear Diophantine Fuzzy Sets and Linear

Diophantine Fuzzy aggregation operators and Riaz et al. (2021, 2023) on Spherical Linear Diophantine Fuzzy Sets fuzzy modeling which are some top recent topics as novel mathematical approaches to model vagueness and uncertainty. First contributions as regards soft set operations were made by Maji et al. (2003) and Pei and Miao (2005). Then, Ali et al. (2009) introduced and examined many soft set operations such as restricted and extended soft set operations. The basic properties of soft set operations were discussed and Sezgin and Atagün (2010) illustrated the interconnections of soft set operations with each other. Sezgin et al. (2019) defined a new soft set operation called the extended difference of soft sets, and Stojanovic (2021) defined and examined the extended symmetric difference of soft sets. When the studies on the operations of soft sets are examined, it is seen that the operations in soft set theory proceed under two main headings, restricted soft set operations and extended soft set operations. Çağman (2021) defined two conditional complements of sets as a new concept of set theory. With the inspiration of this study, Sezgin et al. (2023c) defined some new complements of sets. Aybek (2024) also transferred these complements to soft set theory, and some new restricted soft set operations and extended soft set operations were defined. Demirci (2024), Sarıalioğlu (2024), and Akbulut (2024) defined a new type of extended operation by changing the form of extended soft set operations using the complement at the first and second row of the piecewise function of extended soft set operations and studied the basic properties of them in detail. Moreover, a new type of soft difference operations was defined in Eren (2019), and by being inspired by this study, Yavuz (2024) and Sezgin and Yavuz (2023a) defined some new soft set operations, which they call binary piecewise soft set operations, and they studied their basic properties in detail, too. Also, in some studies (Sezgin and Demirci, 2023; Sezgin and Sarıalioğlu, in press; Sezgin and Atagün, 2023; Sezgin and Yavuz, 2023b; Sezgin and Aybek, 2023; Sezgin et al., 2023a, 2023b), studies continued on soft set operations by defining a new type of binary piecewise soft set operation. They changed the form of soft binary piecewise operation by using the complement at the first row of the soft binary piecewise operations.

The purpose of this study is to contribute to the literature by defining a new soft set operation which we call “complementary soft binary piecewise difference operation”. For this aim, the definition of the operation, and its example are given. The algebraic properties like closure, unit and inverse element, and abelian property of this new operation are examined in detail. We obtain many stunning analogous facts between the difference operation in classical theory and complementary soft binary piecewise difference operation in soft set theory. By examining the distribution rules, it is aimed to contribute to the literature by obtaining the relationship between this operation and other types of soft set operations.

## 2. Preliminaries

**Definition 2.1.** Let  $U$  be the universal set,  $E$  be the parameter set,  $P(U)$  be the power set of  $U$  and  $Q \subseteq E$ . A pair  $(C, Q)$  is called a soft set over  $U$  where  $C$  is a set-valued function such that  $C: Q \rightarrow P(U)$ . (Molodtsov, 1999)

Throughout this paper, the set of all the soft sets over  $U$  (no matter what the parameter set is) is designated by  $S_E(U)$ . Let  $A$  be a fixed subset of  $E$  and  $S_A(U)$  be the collection of all soft sets over  $U$  with the fixed parameters set  $A$ . Clearly,  $S_A(U)$  is a subset of  $S_E(U)$  and, in fact, all the soft sets are the elements of  $S_E(U)$ .

**Definition 2.2.**  $(C, Q)$  is called a relative null soft set (with respect to the parameter set  $Q$ ), denoted by  $\emptyset_Q$ , if  $C(t) = \emptyset$  for all  $t \in Q$  and  $(C, Q)$  is called a relative whole soft set (with respect to the parameter set  $Q$ ), denoted by  $U_Q$  if  $C(t) = U$  for all  $t \in Q$ . The relative whole soft set (with respect to the universe set of parameters  $E$ , denoted by  $U_E$ , is called the absolute soft set over  $U$  (Ali et al., 2009)

**Definition 2.3.** For two soft sets  $(C, Q)$  and  $(Y, I)$ , we say that  $(C, Q)$  is a soft subset of  $(Y, I)$  and it is denoted by  $(C, Q) \subseteq (Y, I)$ , if  $Q \subseteq I$  and  $C(t) \subseteq Y(t)$ ,  $\forall t \in Q$ . Two soft sets  $(C, Q)$  and  $(Y, I)$  are said to be soft equal if  $(C, Q)$  is a soft subset of  $(Y, I)$  and  $(Y, I)$  is a soft subset of  $(C, Q)$  (Pei and Miao, 2005).

**Definition 2.4.** The relative complement of a soft set  $(C, Q)$ , denoted by  $(C, Q)^r$ , is defined by  $(C, Q)^r = (C^r, Q)$ , where  $C^r: Q \rightarrow P(U)$  is a mapping given by  $(C, Q)^r = U \setminus C(t)$  for all  $t \in Q$  (Ali et al., 2009). From now on,  $U \setminus C(t) = [C(t)]'$  will be designated by  $C'(t)$  for the sake of designation.

Two conditional complements of sets as a new concept of set theory, that is, inclusive complement and exclusive complement were defined in Çağman (2021). For ease of illustration, we show these complements as  $+$  and  $\theta$ , respectively. These complements are binary operations, and are defined as follows: Let  $Q$  and  $I$  be two subsets of  $U$ .  $I$ -inclusive complement of  $Q$  is defined by,  $Q+I=Q' \cup I$ , and the  $I$ -Exclusive complement of  $Q$  is defined by  $Q\theta I=Q' \cap I'$ . Here,  $U$  refers to a universe, and  $Q'$  is the complement of  $Q$  over  $U$ . For more information, we refer to Çağman (2021).

The relations between these two complements were examined in detail by Sezgin et al. (2023c), and they also introduced such new three complements as binary operations of sets as follows: Let  $Q$  and  $I$  be two subsets of  $U$ . Then,  $Q*I=Q' \cup I'$ ,  $Q\gamma I=Q' \cap I$ ,  $Q\lambda I=Q \cup I'$  (Sezgin et al., 2023c). These set operations were also conveyed to soft sets and Aybek (2024) defined restricted and extended soft set operations and examined their properties.

Now, we can categorize all types of soft set operations as follows: Let " $\nabla$ " be used to represent the set operations (i.e.,  $\nabla$  can be  $\cap, \cup, \setminus, \Delta, +, \theta, *, \lambda, \gamma$ ), then restricted operations, extended operations, complementary extended operations, soft binary piecewise operations, complementary soft binary piecewise operations are defined in soft set theory as follows:

**Definition 2.5.** Let  $(C, Q)$  and  $(Y, I)$  be soft sets over  $U$ . The restricted  $\nabla$  operation of  $(C, Q)$  and  $(Y, I)$  is the soft set  $(H, S)$ , denoted by  $(C, Q)\nabla_R(Y, I) = (H, S)$ , where  $S = Q \cap I \neq \emptyset$  and  $\forall t \in S$ ,  $H(t) = Q(t)\nabla Y(t)$ . (Ali et al., 2009; Sezgin and Atagün, 2011; Aybek, 2024).

**Definition 2.6.** Let  $(C, Q)$  and  $(Y, I)$  be soft sets over  $U$ . The extended  $\nabla$  operation of  $(C, Q)$  and  $(Y, I)$  is the soft set  $(H, S)$ , denoted by  $(C, Q)\nabla_\varepsilon(Y, I) = (H, S)$ , where  $S = Q \cup I$  and  $\forall t \in S$ ,

$$H(t) = \begin{cases} C(t), & t \in Q \setminus I, \\ Y(t), & t \in I \setminus Q, \\ C(t) \nabla Y(t), & t \in I \cap Q. \end{cases}$$

(Maji et al. 2003; Ali et al. 2009; Sezgin et al. 2019; Stojanovic, 2021; Aybek, 2024).

**Definition 2.7.** Let  $(C, Q)$  and  $(Y, I)$  be soft sets over  $U$ . The complementary extended  $\nabla$  operation  $(C, Q)$

and  $(Y, I)$  is the soft set  $(H, S)$ , denoted by  $(C, Q) \overset{*}{\nabla}_{\varepsilon} (Y, I) = (H, S)$ , where  $S = Q \cup I, \forall t \in S$ ,

$$H(t) = \begin{cases} C'(t), & t \in Q \setminus I \\ Y'(t), & t \in I \setminus Q, \\ C(t) \nabla Y(t), & t \in Q \cap I. \end{cases}$$

(Sarialioğlu, 2024; Demirci, 2024; Akbulut, 2024).

**Definition 2.8.** Let  $(C, Q)$  and  $(Y, I)$  be soft sets over  $U$ . The soft binary piecewise  $\nabla$  operation of  $(C, Q)$

and  $(Y, I)$  is the soft set  $(H, Q)$ , denoted by  $(C, Q) \overset{\sim}{\nabla} (Y, I) = (H, Q)$ , where  $\forall t \in Q$ ,

$$H(t) = \begin{cases} C(t), & t \in Q \setminus I \\ C(t) \nabla Y(t), & t \in Q \cap I \end{cases}$$

(Eren, 2019; Yavuz, 2024, Sezgin ve Yavuz, 2023a)

**Definition 2.9.** Let  $(C, Q)$  and  $(Y, I)$  be soft sets over  $U$ . The complementary soft binary piecewise  $\nabla$

operation of  $(C, Q)$  and  $(Y, I)$  is the soft set  $(H, Q)$ , denoted by  $(C, Q) \overset{*}{\nabla} (Y, I) = (H, Q)$ , where  $\forall t \in Q$ ,

$$H(t) = \begin{cases} C'(t), & t \in Q \setminus I \\ C(t) \nabla Y(t), & t \in Q \cap I \end{cases}$$

(Sezgin and Sarialioğlu, in press; Sezgin and Demirci, 2023; Sezgin and Atagün, 2023; Sezgin and Aybek, 2023; Sezgin et al., 2023a, 2023b; Sezgin and Yavuz, 2023b; Sezgin and Dagtoros, 2023).

### 3. Complementary Soft Binary Piecewise Difference ( $\setminus$ ) Operation and Its Properties

**3.1.** Let  $(C, Q)$  and  $(Y, I)$  be soft sets over  $U$ . The complementary soft binary piecewise difference ( $\setminus$ )

operation of  $(C, Q)$  and  $(Y, I)$  is the soft set  $(A, Q)$ , denoted by  $(C, Q) \overset{*}{\setminus} (Y, I) = (A, Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ,

$$A(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \setminus Y(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Note that if the parameter sets of the soft sets are the same, say  $Q$ , then the complementary soft binary

piecewise difference operation of  $(C, Q)$  and  $(Y, Q)$  is the soft set  $(K, Q)$  denoted by,  $(C, Q) \overset{*}{\sim} (Y, Q) =$

$(K, Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ,

$$K(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \setminus Y(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Here since  $Q \setminus Q = \emptyset$ ; we can ignore the first line of the piecewise function under these cases, and thus the complementary soft binary piecewise difference ( $\overset{*}{\sim}$ ) operation turns out to be the restricted difference of soft sets. The same argument is valid when the parameter set of the second soft set is  $E$ .

**Example 3.2.** Let  $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\}$  be the parameter set  $Q = \{e_1, e_3\}$  and  $I = \{e_2, e_3, e_4\}$  be the subsets of  $E$  and  $U = \{h_1, h_2, h_3, h_4, h_5\}$  be the initial universe set. Assume that  $(C, Q)$  and  $(Y, I)$  are the soft sets over  $U$  defined as following:

$(C, Q) = \{(e_1, \{h_2, h_5\}), (e_3, \{h_1, h_2, h_5\})\}$  and  $(Y, I) = \{(e_2, \{h_1, h_4, h_5\}), (e_3, \{h_2, h_3, h_4\}), (e_4, \{h_3, h_5\})\}$ .

Let  $(C, Q) \overset{*}{\sim} (Y, I) = (A, Q)$ . Then,

$$A(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \setminus Y(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Since  $Q = \{e_1, e_3\}$  and  $Q \setminus I = \{e_1\}$ , so  $A(e_1) = C'(e_1) = \{h_1, h_3, h_4\}$ , and since  $Q \cap I = \{e_3\}$  so  $A(e_3) =$

$C(e_3) \setminus Y(e_3) = C(e_3) \cap Y'(e_3) = \{h_1, h_2, h_5\} \cap \{h_1, h_5\} = \{h_1, h_5\}$ . Thus,  $(C, Q) \overset{*}{\sim} (Y, I) = \{(e_1, \{h_1, h_3, h_4\}), (e_3, \{h_1, h_5\})\}$ .

### Theorem 3.3. (Algebraic properties of the operation)

1) The set  $S_E(U)$  is closed under the operation  $\overset{*}{\sim}$ .

**Proof:** It is clear that  $\overset{*}{\sim}$  is a binary operation in  $S_E(U)$ . That is,

$$\overset{*}{\sim} : S_E(U) \times S_E(U) \rightarrow S_E(U)$$

$$((C,Q), (Y,I)) \rightarrow (A,Q)$$

Hence, when  $(C,Q)$  and  $(Y,I)$  are two soft sets over  $U$ , then so is  $(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (Y,I)$ .

$$2) [(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (Y,Q)] \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Q) \neq (C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* [(Y,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Q)].$$

**Proof:** Let  $(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (Y,Q) = (T,Q)$ , where  $T(j) = C(j) \cap Y'(j)$  for all  $j \in Q$ . Let  $(T,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Q) = (M,Q)$ , where

$M(j) = T(j) \cap A'(j)$  for all  $j \in Q$ . Thus,  $M(j) = [C(j) \cap Y'(j)] \cap A'(j)$  for all  $j \in Q$ . Let  $(Y,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Q) = (L,Q)$ ,

where  $L(j) = Y(j) \cap A'(j)$  for all  $j \in Q$ . Let  $(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (L,Q) = (N,Q)$ , where  $N(j) = C(j) \cap L'(j)$  for all  $j \in Q$ . Thus,

$N(j) = C(j) \cap [Y'(j) \cup A(j)]$  (2) for all  $j \in Q$ . It is seen that (1)  $\neq$  (2). That is, for the soft sets whose parameter

sets are the same, the operation  $\underset{\setminus}{\sim}^*$  does not have associativity property. Moreover, we have the

following:

$$3) [(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (Y,I)] \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z) \neq (C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* [(Y,I) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z)].$$

**Proof:** Let  $(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (Y,I) = (T,Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ;

$$T(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \cap Y'(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Let  $(T,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z) = (M,Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ;

$$M(j) = \begin{cases} T'(j), & j \in Q \setminus Z \\ T(j) \cap A'(j), & j \in Q \cap Z \end{cases}$$

Thus,

$$M(j) = \begin{cases} C(j), & j \in (Q \setminus I) \setminus Z = Q \cap I' \cap Z' \\ C'(j) \cup Y(j), & j \in (Q \cap I) \setminus Z = Q \cap I \cap Z' \\ C'(j) \cap A'(j), & j \in (Q \setminus I) \cap Z = Q \cap I' \cap Z \end{cases}$$



$$[C(j) \cap Y'(j)] \cap A'(j), \quad j \in (Q \cap I) \cap Z = Q \cap I \cap Z$$

$$\overset{*}{\text{Let } (Y, I) \sim (A, Z) = (K, I), \text{ where } \forall j \in I;$$

$$K(j) = \begin{cases} Y'(j), & j \in I \setminus Z \\ Y(j) \cap A'(j), & j \in I \cap Z \end{cases}$$

$$\overset{*}{\text{Let } (C, Q) \sim (K, I) = (S, Q), \text{ where } \forall j \in Q;$$

$$S(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \cap K'(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Thus,

$$S(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \cap Y(j), & j \in Q \cap (I \setminus Z) = Q \cap I \cap Z' \\ C(j) \cap [Y'(j) \cup A(j)], & j \in Q \cap (I \cap Z) = Q \cap I \cap Z \end{cases}$$

Here let's handle  $j \in Q \setminus I$  in the second equation of the first line. Since  $Q \setminus I = Q \cap I'$ , if  $j \in I'$ , then  $j \in Q \setminus I$  or  $j \in (I \cup Z)'$ . Hence, if  $j \in Q \setminus I$ , then  $j \in Q \cap I' \cap Z'$  or  $j \in Q \cap I' \cap Z$ . Thus, it is seen that  $M \neq S$ . That is, for the soft

sets whose parameter sets are not the same, the operation  $\overset{*}{\sim}$  does not have associativity property on the set  $S_E(U)$ .

$$\mathbf{4) } (C, Q) \overset{*}{\sim} (Y, I) \neq (Y, I) \overset{*}{\sim} (C, Q).$$

$$\overset{*}{\text{Proof: Let } (C, Q) \sim (Y, I) = (A, Q). \text{ Then, } \forall j \in Q;$$

$$A(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \cap Y'(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

$$\overset{*}{\text{Let } (Y, I) \sim (C, Q) = (T, I). \text{ Then } \forall j \in I;$$

$$T(j) = \begin{cases} Y'(j), & j \in I \setminus Q \\ Y(j) \cap Q'(j), & j \in I \cap Q \end{cases}$$

Here, while the parameter set of the soft set of the left-hand side is  $Q$ ; the parameter set of the soft set of the right-hand side is  $I$ . Thus, by the definition of soft equality

$$(C, Q) \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} (Y, I) \neq (Y, I) \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} (C, Q).$$

Hence, the operation  $\underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}}$  does not have commutative property in the set  $S_E(U)$ , where the parameter sets

of the soft sets are different. Moreover, the operation  $\underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}}$  does not have commutative property where the parameter sets of the soft sets are the same; since  $C(j) \cap Y'(j) \neq Y(j) \cap C'(j)$ .

$$5) (C, Q) \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} (C, Q) = \emptyset_Q.$$

**Proof:** Let  $(C, Q) \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} (C, Q) = (A, Q)$ , where  $A(j) = C(j) \cap C'(j) = \emptyset$  for all  $j \in Q$ . Thus  $(A, Q) = \emptyset_Q$ . That is,

the operation  $\underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}}$  does not have idempotency property on the set  $S_E(U)$ .

$$6) (C, Q) \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} \emptyset_Q = (C, Q).$$

**Proof:** Let  $\emptyset_Q = (S, Q)$ . Then,  $\forall j \in Q; S(j) = \emptyset$ . Let  $(C, Q) \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} (S, Q) = (A, Q)$ , where  $A(j) = C(j) \cap S'(j)$  for all  $j \in Q$ . Hence,  $\forall j \in Q; A(j) = C(j) \cap S'(j) = C(j) \cap U = C(j)$ . Thus,  $(A, Q) = (C, Q)$ . Note that, for the soft sets whose

parameter set is  $Q$ ,  $\emptyset_Q$  is the right-identity element for the operation  $\underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}}$  in the set  $S_E(U)$ .

$$7) \emptyset_Q \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} (C, Q) = \emptyset_Q.$$

Let  $\emptyset_Q = (S, Q)$ . Then,  $\forall j \in Q; S(j) = \emptyset$ . Let  $(S, Q) \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} (C, Q) = (A, Q)$ , where  $A(j) = S(j) \cap C'(j)$  for all  $j \in Q$ . Thus,  $\forall j \in Q; A(j) = S(j) \cap C'(j) = \emptyset \cap C(j) = \emptyset$ , hence  $(A, Q) = \emptyset_Q$ . Note that, for the soft sets whose parameter set is

$Q$ ,  $\emptyset_Q$  is the left-absorbing element for the operation  $\underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}}$  in the set  $S_E(U)$ .

$$8) (C, Q) \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} \emptyset_E = (C, Q).$$

**Proof:** Let  $\emptyset_E = (S, E)$ . Hence  $\forall j \in E; S(j) = \emptyset$ . Let  $(C, Q) \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} (S, E) = (A, Q)$ . Thus,  $A(j) = C(j) \cap S'(j)$  for all  $j \in Q \cap E = Q$ . Hence,  $\forall j \in Q, A(j) = C(j) \cap S'(j) = C(j) \cap U = C(j)$ , so  $(A, Q) = (C, Q)$ .

Note that, for the soft sets (no matter what the parameter set is),  $\emptyset_E$  is the right identity element for the operation  $\underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}}$  in the set  $S_E(U)$ .

$$9) \emptyset_E \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} (C, Q) = U_{Q'}.$$

**Proof:** Let  $\emptyset_E = (S, E)$ . Hence  $\forall j \in E; S(j) = \emptyset$ . Let  $(S, E) \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} (C, Q) = (A, E)$ . Thus,  $\forall j \in E,$

$$A(j) = \begin{cases} S'(j), & j \in E \setminus Q = Q' \\ S(j) \cap C'(j), & j \in Q \cap E = Q \end{cases}$$

Hence,  $\forall j \in Q', S'(j) = U$  and for all  $j \in Q, S(j) \cap C'(j) = \emptyset \cap Q'(j) = \emptyset$ , so  $(A, Q) = U_{Q'}$ .

$$10) (C, Q) \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} U_Q = \emptyset_Q.$$

**Proof:** Let  $U_Q = (T, Q)$ . Then,  $\forall j \in Q; T(j) = U$ . Let  $(C, Q) \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} (T, Q) = (A, Q)$ , where  $A(j) = C(j) \cap T'(j), \forall j \in Q$ . Thus,  $\forall j \in Q; A(j) = C(j) \cap T'(j) = C(j) \cap \emptyset = \emptyset$ , hence  $(A, Q) = \emptyset_Q$ .

$$11) U_Q \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} (C, Q) = (C, Q)^r.$$

**Proof:** Let  $U_Q = (T, Q)$ . Then,  $\forall j \in Q; T(j) = U$ . Assume that  $(T, Q) \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} (C, Q) = (A, Q)$ , where  $A(j) = T(j) \cap C'(j), \forall j \in Q$ . Hence,  $\forall j \in Q; A(j) = T(j) \cap C'(j) = U \cap C'(j) = C'(j)$ . Thus,  $(T, Q) = (C, Q)^r$ .

$$12) (C, Q) \underset{\setminus}{\overset{*}{\sim}} U_E = \emptyset_Q.$$

**Proof:** Let  $U_E = (T, E)$ . Hence,  $\forall j \in E, T(j) = U$ . Let  $(C, Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (T, E) = (A, Q)$ , where  $A(j) = C(j) \cap T'(j)$  for all  $j \in Q \cap E = Q$ . Hence,  $\forall j \in Q, A(j) = C(j) \cap T'(j) = C(j) \cap \emptyset = C(j)$ , so  $(A, Q) = \emptyset_Q$ .

$$13) U_E \underset{\setminus}{\sim}^* (C, Q) = (C, Q)^r.$$

**Proof:** Let  $U_E = (T, E)$ . Then,  $\forall j \in E; T(j) = U$ . Let  $(T, E) \underset{\setminus}{\sim}^* (C, Q) = (A, E)$ , where  $\forall j \in E;$

$$A(j) = \begin{cases} T'(j), & j \in E \setminus Q = Q' \\ T(j) \cap C'(j), & j \in E \cap Q = Q \end{cases}$$

Hence  $\forall j \in Q; A(j) = T(j) \cap C'(j) = U \cap C'(j) = C'(j)$ , thus  $(A, Q) = (C, Q)^r$ .

$$14) (C, Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (C, Q)^r = (C, Q).$$

**Proof:** Let  $(C, Q)^r = (A, Q)$ . Hence,  $\forall j \in Q; A(j) = C'(j)$ . Let  $(C, Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A, Q) = (T, Q)$ , where  $T(j) = C(j) \cap A'(j)$  for all  $\forall j \in Q$ . Hence,  $\forall j \in Q; T(j) = C(j) \cap A'(j) = C(j) \cap C(j) = C(j)$ , thus  $(T, Q) = (C, Q)$ . Note that, the relative complement of every soft set is its right identity element for the operation  $\underset{\setminus}{\sim}^*$  in the set  $S_E(U)$ .

$$15) (C, Q)^r \underset{\setminus}{\sim}^* (C, Q) = (C, Q)^r.$$

**Proof:** Let  $(C, Q)^r = (A, Q)$ . Hence,  $\forall j \in Q; A(j) = C'(j)$ . Let  $(A, Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (C, Q) = (T, Q)$ , where  $T(j) = A(j) \cap C'(j)$  for all  $j \in Q$ . Hence,  $\forall j \in Q; T(j) = A(j) \cap C'(j) = C'(j) \cap C'(j) = C'(j)$ , thus  $(T, Q) = (C, Q)^r$ . Note that, the relative complement of a soft set is the left absorbing element of its own soft set for the operation  $\underset{\setminus}{\sim}^*$  in the set  $S_E(U)$ .

$$16) [(C, Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (Y, D)]^r = (C, Q) \tilde{\sim} (Y, D).$$

**Proof:** Let  $(C, Q) \sim (Y, I) = (A, Q)$ . Then,  $\forall j \in Q$ ,

$$A(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \cap Y'(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Let  $(A, Q) \overset{*}{=} (T, Q)$ , so  $\forall j \in Q$ ,

$$T(j) = \begin{cases} C(j), & j \in Q \setminus I \\ C'(j) \cup Y(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Thus,  $(T, Q) = (C, Q) \overset{\sim}{\neq} (Y, I)$ .

In classical theory,  $C \cap Y = U \Leftrightarrow C = U$  and  $Y = U$ . Now, we have the following:

$$17) (C, Q) \overset{*}{\sim} (Y, Q) = U_Q \Leftrightarrow (C, Q) = U_Q \text{ and } (Y, Q) = \emptyset_Q.$$

**Proof:** Let  $(C, Q) \overset{*}{\sim} (Y, Q) = (T, Q)$ . Hence,  $T(j) = C(j) \cap Y'(j)$  for all  $j \in Q$ . Since  $(T, Q) = U_Q$ ,  $\forall j \in Q$ ,  $T(j) = U$ . Hence,  $\forall j \in Q$ ,  $T(j) = C(j) \cap Y'(j) = U \Leftrightarrow \forall j \in Q$ ,  $C(j) = U$  and  $Y'(j) = U \Leftrightarrow \forall j \in Q$ ,  $C(j) = U$  and  $Y(j) = \emptyset \Leftrightarrow (C, Q) = U_Q$  and  $(Y, Q) = \emptyset_Q$ .

In classical theory  $\emptyset \subseteq C$  for all  $C$ . Now, we have the following:

$$18) \emptyset_Q \overset{*}{\cong} (C, Q) \overset{\sim}{\neq} (Y, I) \text{ and } \emptyset_I \overset{*}{\cong} (Y, I) \overset{\sim}{\neq} (C, Q).$$

**Proof:** Let  $\emptyset_Q = (S, Q)$ . Hence,  $\forall j \in Q$ ,  $S(j) = \emptyset$ .

Let  $(C, Q) \overset{*}{\sim} (Y, I) = (A, Q)$ . When considering the soft subset axioms, i)  $Q \subseteq Q$  and ii)  $\forall j \in Q$ ;  $S(j) = \emptyset$ ,

$\emptyset \subseteq C'(j)$ , and  $\emptyset \subseteq C(j) \cap Y'(j)$ . Thus,  $\emptyset_Q \overset{*}{\cong} ((C, Q) \overset{\sim}{\neq} (Y, I))$ . The proof of the theorem  $\emptyset_I \overset{*}{\cong} (Y, I) \overset{\sim}{\neq} (C, Q)$  is

similar to the above proof.

In classical theory,  $C \subseteq U$  for all  $C$ . Now, we have the following:

$$19) (C, Q) \overset{*}{\sim} (Y, I) \overset{\cong}{\neq} U_Q \text{ and } (Y, I) \overset{*}{\sim} (C, Q) \overset{\cong}{\neq} U_I$$

**Proof:** Let  $U_Q=(T,Q)$ . Hence,  $\forall j \in Q, T(j)=U$ . Let  $(C,Q) \sim (Y,I)=(A,Q)$ . When considering the soft

subset axioms, i)  $Q \subseteq Q$  and ii)  $\forall j \in Q; T(j)=U$ , so  $C'(j) \subseteq U$  and  $C(j) \cap Y'(j) \subseteq U$ . Thus,  $(C,Q) \sim (Y,I)$

$\cong U_Q$ . The proof of the theorem  $(Y,I) \sim (C,Q) \cong U_I$  is similar to the above proof.

In classical theory,  $C \setminus Y \subseteq C$  and  $Y \setminus C \subseteq Y$ . Moreover,  $C \setminus Y \subseteq Y'$  and  $Y \setminus C \subseteq C'$ . Now, we have the following analogy:

**20)**  $(C,Q) \sim (Y,Q) \cong (C,Q)$  and  $(Y,Q) \sim (C,Q) \cong (Y,Q)$ . Moreover,  $(C,Q) \sim (Y,Q) \cong (Y,Q)^r$  and  $(Y,Q)$

$\sim (C,Q) \cong (C,Q)^r$ .

**Proof:** Let  $(C,Q) \sim (Y,Q)=(A,Q)$ . First of all,  $Q \subseteq Q$ . Moreover,  $A(j)=C(j) \cap Y'(j)$  for all  $\forall j \in Q$ . Since

$\forall j \in Q, A(j)=C(j) \cap Y'(j) \subseteq C(j)$ , thus  $(A,Q)=(C,Q) \sim (Y,Q) \cong (C,Q)$ .  $(Y,Q) \sim (C,Q) \cong (Y,Q)$  can be shown

similarly. Since  $\forall j \in Q, A(j)=C(j) \cap Y'(j) \subseteq Y'(j)$ ,  $(A,Q)=(C,Q) \sim (Y,Q) \cong (G,A)^r$ .  $(Y,Q) \sim (C,Q) \cong (C,Q)^r$

can be shown similarly.

In classical theory,  $C \setminus Y = C \cap Y'$ . Now we have the following analogy.

**21)**  $(C,Q) \sim (Y,Q) = (C,Q) \cap (Y,Q)^r$ .

**Proof:** Let  $(C,Q) \sim (Y,Q)^r = (A,Q)$ , where  $A(j)=C(j) \cap Y'(j)$  for all  $j \in Q$ . Hence,  $A(j)=C(j) \setminus Y(j)$

for all  $j \in Q$ . Thus,  $(A,Q)=(C,Q) \sim (Y,Q)$ .

In classical theory,  $C \cup Y = (C \setminus Y) \cup (Y \setminus C) \cup (C \cap Y)$ . Now, we have the following analogy:

$$22) (C, Q) \underset{U}{\sim} (Y, Q) = [(C, Q) \underset{U}{\sim} (Y, Q)] \underset{\setminus}{\sim} [(Y, Q) \underset{U}{\sim} (C, Q)] \underset{U}{\sim} [(C, Q) \underset{\cap}{\sim} (Y, Q)].$$

**Proof:** Let  $(C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y, Q) = (A, Q)$ ,  $(Y, Q) \underset{\setminus}{\sim} (C, Q) = (K, Q)$  and  $(C, Q) \underset{\cap}{\sim} (Y, Q) = (T, Q)$ . Then,  $A(j) = C(j) \cap Y'(j)$  for all  $j \in Q$  and  $K(j) = Y(j) \cap C'(j)$  for all  $j \in Q \cap Q = Q$ . And  $T(j) = C(j) \cap Y(j)$  for all  $j \in Q$ .

Now, let  $(A, Q) \underset{U}{\sim} (K, Q) = (M, Q)$ , where  $M(j) = A(j) \cup K(j)$  for all  $j \in Q$ . Thus,

$$M(j) = [C(j) \cap Y'(j)] \cup [Y(j) \cap C'(j)]. \text{ Now let } (M, Q) \underset{U}{\sim} (T, Q) = (W, Q) \text{ where } W(j) = M(j) \cup T(j) \text{ for all } j \in Q.$$

Thus,  $W(j) = [C(j) \cap Y'(j)] \cup [Y(j) \cap C'(j)] \cup [C(j) \cap Y(j)] = C(j) \cup Y(j)$ . Now, assume that  $(C, Q) \underset{U}{\sim} (Y, Q) = (D, Q)$ , where  $\forall j \in Q, D(j) = C(j) \cup Y(j)$  for all  $j \in Q$ . It is seen that  $(D, Q) = (T, Q)$ .

In classical theory;  $C = (C \setminus Y) \cup (C \cap Y)$  and  $Y = (C \setminus Y) \cup (C \cap Y)$ . Now, we have the following analogy:

$$23) (C, Q) = [(C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y, Q)] \underset{U}{\sim} [(C, Q) \underset{\cap}{\sim} (Y, Q)] \text{ and } (Y, Q) = [(Y, Q) \underset{\setminus}{\sim} (C, Q)] \underset{U}{\sim} [(C, Q) \underset{\cap}{\sim} (Y, Q)]$$

**Proof:** Let  $(C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y, Q) = (A, Q)$ , where  $A(j) = C(j) \cap Y'(j)$  for all  $j \in Q$  and  $(C, Q) \underset{\cap}{\sim} (Y, Q) = (K, Q)$ , where

$K(j) = C(j) \cap Y(j)$  for all  $j \in Q$ . Let  $(A, Q) \underset{U}{\sim} (K, Q) = (T, Q)$ , where  $T(j) = A(j) \cup K(j)$  for all  $j \in Q$ . Therefore,

$\forall j \in Q, T(j) = [C(j) \cap Y'(j)] \cup [C(j) \cap Y(j)] = C(j)$ . Hence,  $(T, Q) = (C, Q)$ .

In classical theory,  $C \cup Y = (C \setminus Y) \cup Y$  and  $C \cup Y = (Y \setminus C) \cup C$ . Now, we have the following analogy.

$$24) (C, Q) \underset{U}{\sim} (Y, Q) = [(C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y, Q)] \underset{U}{\sim} (Y, Q) \text{ and } (C, Q) \underset{U}{\sim} (Y, Q) = [(Y, Q) \underset{\setminus}{\sim} (C, Q)] \underset{U}{\sim} (C, Q).$$

**Proof:** Let  $(C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y, Q) = (A, Q)$ , where  $A(j) = C(j) \cap Y'(j)$  for all  $j \in Q$  and  $(A, Q) \underset{U}{\sim} (Y, Q) = (K, Q)$ , where

$K(j) = A(j) \cup Y(j)$  for all  $j \in Q$ . Thus,  $(A, Q) \underset{U}{\sim} (Y, Q) = (K, Q)$ , where  $K(j) = [C(j) \cap Y'(j)] \cup Y(j)$  for all  $j \in Q$ . So,

$K(j) = [C(j) \cup Y(j)]$  for all  $j \in Q$ . Assume that  $(C, Q) \underset{U}{\sim} (Y, Q) = (S, Q)$ , hence  $(K, Q) = (S, Q) = (C, Q) \underset{U}{\sim} (Y, Q)$ .

In classical theory,  $C \subseteq Y \Leftrightarrow C \setminus Y = \emptyset$ . Moreover, we have the following analogy.

$$25) (C,Q) \overset{*}{\cong} (Y,Q) \Leftrightarrow (C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y,Q) = \emptyset_Q.$$

**Proof:** Let  $(C,Q) \overset{*}{\cong} (Y,Q)$ . Then  $C(j) \subseteq Y(j), \forall j \in Q$ . And let  $(C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y,Q) = (A,Q)$ . Then,  $A(j) = C(j) \setminus Y(j)$

for all  $j \in Q$ . Since  $\forall j \in Q, C(j) \subseteq Y(j)$ , then  $C(j) \setminus Y(j) = \emptyset$ , and hence  $(A,Q) = (C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y,Q) = \emptyset_Q$ . For the

converse, we need to show that when  $(C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y,Q) = \emptyset_Q$ , then  $(C,Q) \overset{*}{\cong} (Y,Q)$ . To show this, let

$(C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y,Q) = (T,Q)$ . Then,  $T(j) = C(j) \setminus Y(j)$  for all  $j \in Q$ . Since,  $(T,Q) = \emptyset_Q, \forall j \in Q, C(j) \setminus Y(j) = \emptyset$ . Then,

$C(j) \subseteq Y(j), \forall j \in Q$ . Thus,  $(C,Q) \overset{*}{\cong} (Y,Q)$ .

In classical theory, if  $C \cap Y = \emptyset$ , then  $C \setminus Y = C$ . Now, we have the following analogy:

$$26) \text{ If } (C,Q) \underset{\cap}{\sim} (Y,Q) = \emptyset_Q, \text{ then } (C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y,Q) = (C,Q).$$

**Proof:** Let  $(C,Q) \underset{\cap}{\sim} (Y,Q) = (A,Q)$ . Then,  $A(j) = C(j) \cap Y(j)$  for all  $j \in Q$ . Since,  $(A,Q) = \emptyset_Q, A(j) = \emptyset$  for all  $j \in Q$ . Thus,  $A(j) = C(j) \cap Y(j) = \emptyset$ , and so,  $C(j) \setminus Y(j) = C(j), \forall j \in Q$ .

Let  $(C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y,Q) = (S,Q)$ . Then,  $S(j) = C(j) \setminus Y(j)$  for all  $j \in Q$ . Thus,  $(S,Q) = (C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y,Q) = (C,Q)$ .

In classical theory,  $(C \setminus Y) \cap Y = \emptyset$  and  $(Y \setminus C) \cap C = \emptyset$ . Now, we have a similar analogy:

$$27) [(C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y,Q)] \underset{\cap}{\sim} (Y,Q) = \emptyset_Q \text{ and } [(Y,Q) \underset{\setminus}{\sim} (C,Q)] \underset{\cap}{\sim} (C,Q) = \emptyset_Q$$

**Proof:** Let  $(C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y,Q) = (A,Q)$ . Then,  $A(j) = C(j) \cap Y'(j)$  for all  $j \in Q$ . And let  $(A,Q) \underset{\cap}{\sim} (Y,Q) = (T,Q)$ ,

where  $T(j) = A(j) \cap Y(j)$  for all  $j \in Q$ . Thus  $\forall j \in Q, T(j) = [C(j) \cap Y'(j)] \cap Y(j)$  for all  $j \in Q$ . So,  $T(j) = \emptyset$  for all

$j \in Q$ . Since  $\forall j \in Q, T(j) = \emptyset, (T,Q) = \emptyset_Q$ . Moreover,  $[(Y,Q) \underset{\setminus}{\sim} (C,Q)] \underset{\cap}{\sim} (C,Q) = \emptyset_Q$  can be shown similarly.



**REMARK 1:**  $[(C,Q) \sim (Y,Q)] \sim (Y,Q) = (C,Q) \sim (Y,Q)$  and  $[(Y,Q) \sim (C,Q)] \sim (C,Q) = (Y,Q) \sim (C,Q)$  by (26) and (27). This is an analogy of  $(C \setminus Y) \setminus Y = C \setminus Y$  and  $(Y \setminus C) \setminus C = Y \setminus C$ .

In classical theory,  $(C \setminus Y) \cap (Y \setminus C) = \emptyset$ . Now, we have the following analogy.

$$28) [(C,Q) \sim (Y,Q)] \sim [(Y,Q) \sim (C,Q)] = \emptyset_Q \text{ and } [(Y,Q) \sim (C,Q)] \sim [(C,Q) \sim (Y,Q)] = \emptyset_Q$$

**Proof:** Let  $(C,Q) \sim (Y,Q) = (A,Q)$ . Then,  $A(j) = C(j) \cap Y'(j)$  for all  $j \in Q$ . Let  $(Y,Q) \sim (C,Q) = (K,Q)$ . Then,

$K(j) = Y(j) \cap C'(j)$  for all  $j \in Q$ . And let  $(A,Q) \sim (K,Q) = (T,Q)$ , where  $T(j) = A(j) \cap K(j)$  for all  $j \in Q$ . Thus,

$T(j) = [C(j) \cap Y'(j)] \cap [Y(j) \cap C'(j)]$  for all  $j \in Q$ . Hence,  $T(j) = \emptyset$  for all  $j \in Q$ . Since  $\forall j \in Q, T(j) = \emptyset, (T,Q) = \emptyset_Q$ .

Moreover  $[(Y,Q) \sim (C,Q)] \sim [(C,Q) \sim (Y,Q)] = \emptyset_Q$  can be shown similarly.

**REMARK 2:** From the theorem (26) and (28),  $[(C,Q) \sim (Y,Q)] \sim [(Y,Q) \sim (C,Q)] = [(C,Q) \sim (Y,Q)]$  and

$[(Y,Q) \sim (C,Q)] \sim [(C,Q) \sim (Y,Q)] = [(Y,Q) \sim (C,Q)]$ . This is an analogy of  $(C \setminus Y) \setminus (Y \setminus C) = C \setminus Y$  and

$(Y \setminus C) \setminus (C \setminus Y) = Y \setminus C$ .

In classical theory,  $(C \setminus Y) \cap (C \cap Y) = \emptyset$  and  $(Y \setminus C) \cap (C \cap Y) = \emptyset$ . Now, we have the following analogy.

$$29) [(C,Q) \sim (Y,Q)] \sim [(C,Q) \sim G,Q] = \emptyset_Q \text{ and } [(Y,Q) \sim (C,Q)] \sim [(C,Q) \sim G,Q] = \emptyset_Q$$

**Proof:** Let  $(C,Q) \sim (Y,Q) = (A,Q)$ . Then,  $A(j) = C(j) \cap Y'(j)$  for all  $j \in Q$ . Let  $(C,Q) \sim (Y,Q) = (K,Q)$ . Then,

$K(j) = C(j) \cap Y(j)$  for all  $j \in Q$ . And let  $(A,Q) \sim (K,Q) = (T,Q)$ , where  $T(j) = A(j) \cap K(j)$  for all  $j \in Q$ . So,

$T(j) = [C(j) \cap Y'(j)] \cap [C(j) \cap Y(j)]$  for all  $j \in Q$ . Hence,  $T(j) = \emptyset$  for all  $j \in Q$ . Since  $\forall j \in Q, T(j) = \emptyset, (T,Q) = \emptyset_Q$ .

Moreover,  $[(Y,Q) \sim (C,Q)] \sim [(C,Q) \sim G,Q] = \emptyset_Q$  can be shown similarly.

**REMARK 3:** By theroem (26) and (29),  $[(C,Q) \sim (Y,Q)] \sim [((C,Q) \sim G,Q)] = [(C,Q) \sim (Y,Q)]$  and  $[(Y,Q) \sim (C,Q)] \sim [((C,Q) \sim G,Q)] = [(Y,Q) \sim (C,Q)]$ . This is an analogy of  $(C \setminus Y) \setminus (C \setminus Y) = C \setminus Y$  and  $(Y \setminus C) \setminus (Y \setminus C) = Y \setminus C$ .

In classical theory,  $C \cap (Y \setminus C) = \emptyset$  and  $Y \cap (C \setminus Y) = \emptyset$ . Now, we have the following analogy.

$$30) (C,Q) \sim [(Y,Q) \sim (C,Q)] = \emptyset_Q \text{ and } (Y,Q) \sim [(C,Q) \sim (Y,Q)] = \emptyset_Q$$

**Proof:** Let  $(Y,Q) \sim (C,Q) = (A,Q)$ . Then,  $A(j) = Y(j) \cap C'(j)$  for all  $j \in Q$ . Let  $(C,Q) \sim (A,Q) = (K,Q)$ . Then,  $K(j) = C(j) \cap A(j)$  for all  $j \in Q$ . Thus,  $K(j) = C(j) \cap [Y(j) \cap C'(j)]$  for all  $j \in Q$ . Hence  $\forall j \in Q, K(j) = \emptyset$ , for all  $j \in Q$ .

Since  $\forall j \in Q, K(j) = \emptyset$ ,  $(K,Q) = \emptyset_Q$ . Moreover  $(Y,Q) \sim [(C,Q) \sim (Y,Q)] = \emptyset_Q$  can be shown similarly.

**REMARK 4:** By (26) and (30),  $(C,Q) \sim [(Y,Q) \sim (C,Q)] = (C,Q)$  and  $(Y,Q) \sim [(C,Q) \sim (Y,Q)] = (Y,Q)$ .

This is an analogy of  $C \setminus (Y \setminus C) = C$  and  $Y \setminus (C \setminus Y) = Y$ .

In classical theory,  $C \setminus (C \setminus Y) = C \cap Y$  and  $Y \setminus (Y \setminus C) = C \cap Y$ . Now, we have the following:

$$31) (C,Q) \sim [(C,Q) \sim (Y,Q)] = (C,Q) \sim (Y,Q) \text{ and } (Y,Q) \sim [(Y,Q) \sim (C,Q)] = (C,Q) \sim (Y,Q).$$

**Proof:** Let  $(C,Q) \sim (Y,Q) = (A,Q)$ . Then,  $A(j) = C(j) \setminus Y(j)$  for all  $j \in Q$ . Let  $(C,Q) \sim (A,Q) = (K,Q)$ . Then,  $K(j) = C(j) \setminus A(j)$  for all  $j \in Q$ . Thus,  $K(j) = C(j) \setminus (C(j) \setminus Y(j))$  for all  $j \in Q$ . Hence  $\forall j \in Q, K(j) = C(j) \cap Y(j)$  for all  $j \in Q$ . Thus  $\forall j \in Q, (K,Q) = (C,Q) \sim (Y,Q)$ . Moreover  $(Y,Q) \sim [(Y,Q) \sim (C,Q)] = (C,Q) \sim (Y,Q)$  can be

shown similarly.

In classical theory,  $C \setminus (C \cap Y) = C \setminus Y$  and  $Y \setminus (C \cap Y) = Y \setminus C$ . Now we have the following:

$$32) (C,Q) \sim [(C,Q) \sim (Y,Q)] = (C,Q) \sim (Y,Q) \text{ and } (Y,Q) \sim [(Y,Q) \sim (C,Q)] = (C,Q) \sim (Y,Q).$$

**Proof:** Let  $(C, Q) \underset{\cap}{\sim} (Y, Q) = (A, Q)$ . Then,  $A(j) = C(j) \cap Y(j)$  for all  $j \in Q$ . Let  $(C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (A, Q) = (K, Q)$ . Then,  $K(j) = C(j) \setminus A(j)$  for all  $j \in Q$ . Thus,  $K(j) = C(j) \setminus [C(j) \cap Y(j)]$  for all  $j \in Q$ . Hence  $\forall j \in Q, K(j) = C(j) \setminus Q(j)$  for all  $j \in Q$ . Thus,  $\forall j \in Q, (K, Q) = (C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y, Q)$ . Moreover  $(Y, Q) \underset{\setminus}{\sim} [(Y, Q) \underset{\cap}{\sim} (C, Q)] = (C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y, Q)$  can be shown similarly.

#### 4. Distribution Rules

In this section, the distribution of complementary soft binary piecewise difference ( $\setminus$ ) operation over other soft set operations are examined in detail and many interesting results are obtained.

##### 4.1. Distribution of complementary soft binary piecewise difference ( $\setminus$ ) operation over extended soft set operations:

###### i) Left-distribution of complementary soft binary piecewise difference ( $\setminus$ ) operation over extended soft set operations:

The followings are satisfied, when  $Q \cap I' \cap Z = \emptyset$ .

$$1) (C, Q) \underset{\setminus}{\sim} [(Y, I) \cap_{\varepsilon} (A, Z)] = [(C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y, I)] \tilde{\cup} [(A, Z) \underset{\gamma}{\sim} (C, Q)].$$

**Proof:** Let first handle the left-hand side of the equality, and let  $(Y, I) \cap_{\varepsilon} (A, Z) = (M, I \cup Z)$  where  $\forall j \in I \cup Z$ ;

$$M(j) = \begin{cases} Y(j), & j \in I \setminus Z \\ A(j), & j \in Z \setminus I \\ Y(j) \cap A(j), & j \in I \cap Z \end{cases}$$

Assume that  $(C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (M, I \cup Z) = (N, Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ;

$$N(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus (I \cup Z) \\ C(j) \cap M'(j), & j \in Q \cap (I \cup Z) \end{cases}$$

Hence,

$$N(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus (I \cup Z) = Q \cap I' \cap Z' \\ C(j) \cap Y'(j), & j \in Q \cap (I \setminus Z) = Q \cap I \cap Z' \\ C(j) \cap A'(j), & j \in Q \cap (Z \setminus I) = Q \cap I' \cap Z \\ C(j) \cap [(Y'(j) \cup A'(j))], & j \in Q \cap I \cap Z = Q \cap I \cap Z \end{cases}$$

Now let's handle the right-hand side of the equality  $[(C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y, I)] \underset{\setminus}{\tilde{U}} [(A, Z) \underset{\gamma}{\sim} (C, Q)]$ . Assume that

$$(C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y, I) = (V, Q), \text{ where } \forall j \in Q;$$

$$V(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \cap Y'(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

$$\text{Let } (A, Z) \underset{\gamma}{\sim} (C, Q) = (W, Q), \text{ where } \forall j \in Z;$$

$$W(j) = \begin{cases} A'(j), & j \in Z \setminus Q \\ A'(j) \cap C(j), & j \in Z \cap Q \end{cases}$$

$$\text{Let } (V, Q) \tilde{U} (W, Z) = (T, Q), \text{ where } \forall j \in Q;$$

$$T(j) = \begin{cases} V(j), & j \in Q \setminus Z \\ V(j) \cup W(j), & j \in Q \cap Z \end{cases}$$

Hence,

$$T(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in (Q \setminus I) \setminus Z = Q \cap I' \cap Z' \\ C(j) \cap Y'(j), & j \in (Q \cap I) \setminus Z = Q \cap I \cap Z' \\ C'(j) \cup A'(j), & j \in (Q \setminus I) \cap (Z \setminus Q) = \emptyset \\ C'(j) \cup [A'(j) \cap C(j)], & j \in (Q \setminus I) \cap (Z \cap Q) = Q \cap I' \cap Z \\ [C(j) \cap Y'(j)] \cup A'(j), & j \in (Q \cap I) \cap (Z \setminus Q) = \emptyset \\ [C(j) \cap Y'(j)] \cup [A'(j) \cap C(j)], & j \in (Q \cap I) \cap (Z \cap Q) = Q \cap I \cap Z \end{cases}$$

It is seen that  $N=T$ .

$$2) (C,Q) \underset{\setminus}{\sim} [(Y,I) \cup_{\varepsilon} (A,Z)] = [(C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y,I)] \tilde{\cap} [(A,Z) \underset{\setminus}{\sim} (C,Q)]$$

$$3) (C,Q) \underset{\setminus}{\sim} [(Y,I) \lambda_{\varepsilon} (A,Z)] = [(C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y,I)] \tilde{\cap} [(A,Z) \underset{\cap}{\sim} (C,Q)],$$

$$4) (C,Q) \underset{\setminus}{\sim} [(Y,I) \setminus_{\varepsilon} (A,Z)] = [(C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y,I)] \tilde{\cup} [(A,Z) \underset{\cap}{\sim} (C,Q)]$$

ii) **Right-distribution of complementary soft binary piecewise difference ( $\setminus$ ) operation over extended soft set operations:**

$$1) [(C,Q) \cup_{\varepsilon} (Y,I)] \underset{\setminus}{\sim} (A,Z) = [(C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (A,Z)] \cup_{\varepsilon} [(Y,I) \underset{\setminus}{\sim} (A,Z)], \text{ where } Q \cap I \cap Z' = \emptyset$$

$$\text{Moreover, } [(C,Q) \cup_{\varepsilon} (Y,I)] \underset{\setminus}{\sim} (A,Z) = [(C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (A,Z)] \cap_{\varepsilon} [(Y,I) \underset{\setminus}{\sim} (A,Z)], \text{ where } Q \cap I \cap Z = \emptyset.$$

**Proof:** Let's first handle the left-hand side of the equality. Let  $(C,Q) \cup_{\varepsilon} (Y,I) = (M, Q \cup I)$  where  $\forall j \in Q \cup I$

$$M(j) = \begin{cases} C(j), & j \in Q \setminus I \\ Y(j), & j \in I \setminus Q \\ C(j) \cup Y(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

$$\text{Suppose that } (M, Q \cup I) \underset{\setminus}{\sim} (A,Z) = (N, Q \cup I), \text{ where } \forall j \in Q \cup I;$$

$$N(j) = \begin{cases} M'(j), & j \in (Q \cup I) \setminus Z \\ M(j) \cap A'(j), & j \in (Q \cup I) \cap Z \\ \begin{cases} C'(j), & j \in (Q \setminus I) \setminus Z = Q \cap I' \cap Z' \\ Y'(j), & j \in (I \setminus Q) \setminus Z = Q' \cap I \cap Z' \\ C'(j) \cap Y'(j), & j \in (Q \cap I) \setminus Z = Q \cap I \cap Z' \end{cases} \\ \begin{cases} C(j) \cap A'(j), & j \in (Q \setminus I) \cap Z = Q \cap I' \cap Z \\ Y(j) \cap A'(j), & j \in (I \setminus Q) \cap Z = Q' \cap I \cap Z \\ [C(j) \cup Y(j)] \cap A'(j), & j \in (Q \cap I) \cap Z = Q \cap I \cap Z \end{cases} \end{cases}$$

Now let's handle the right-hand side of the equality:  $[(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z)] \cup_{\varepsilon} [(Y,I) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z)]$ . Let

$$(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z) = (V,Q), \text{ where } \forall j \in Q;$$

$$V(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus Z \\ C(j) \cap A'(j), & j \in Q \cap Z \end{cases}$$

$$\text{Let } (Y,I) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z) = (W,I), \text{ where } \forall j \in I;$$

$$W(j) = \begin{cases} Y'(j), & j \in I \setminus Z \\ Y(j) \cap A'(j), & j \in I \cap Z \end{cases}$$

Assume that  $(V,Q) \cup_{\varepsilon} (W,I) = (T,Q \cup I)$ , where  $\forall j \in Q \cup I$ ;

$$T(j) = \begin{cases} V(j), & j \in Q \setminus I \\ W(j), & j \in I \setminus Q \\ V(j) \cup W(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Hence,

$$T(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in (Q \setminus Z) \setminus I = Q \cap I' \cap Z' \\ C(j) \cap A'(j), & j \in (Q \cap Z) \setminus I = Q \cap I' \cap Z \\ Y'(j), & j \in (I \setminus Z) \setminus Q = Q' \cap I \cap Z' \\ Y(j) \cap A'(j), & j \in (I \cap Z) \setminus Q = Q' \cap I \cap Z \\ C'(j) \cup Y'(j), & j \in (Q \setminus Z) \cap (I \setminus Z) = Q \cap I \cap Z' \\ C'(j) \cup [Y(j) \cap A'(j)], & j \in (Q \setminus Z) \cap (I \cap Z) = \emptyset \\ [C(j) \cap A'(j)] \cup Y'(j), & j \in (Q \cap Z) \cap (I \setminus Z) = \emptyset \\ [C(j) \cap A'(j)] \cup [Y(j) \cap A'(j)], & j \in (Q \cap Z) \cap (I \cap Z) = Q \cap I \cap Z \end{cases}$$

It is seen that that  $N=T$ .  $[(C,Q) \cup_{\varepsilon} (Y,I)] \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z) = [(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z)] \cap_{\varepsilon} [(Y,I) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z)]$ , where  $Q \cap I \cap Z = \emptyset$

can be shown as well.

$$2) [(C,Q) \cap_{\varepsilon} (Y,I)] \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z) = [(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z)] \cap_{\varepsilon} [(Y,I) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z)], \text{ where } Q \cap I \cap Z' = \emptyset.$$

Moreover,  $[(C,Q) \cap_{\varepsilon} (Y,I)] \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z) = [(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z)] \cup_{\varepsilon} [(Y,I) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z)]$ , where  $Q \cap I \cap Z = \emptyset$ .

$$3) [(C,Q) \lambda_{\varepsilon} (Y,I)] \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z) = [(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z)] \cup_{\varepsilon} [(Y,I) \underset{\theta}{\sim}^* (A,Z)], \text{ where } Q \cap I \cap Z' = Q' \cap I \cap Z = \emptyset.$$

$$4) [(C,Q) \setminus_{\varepsilon} (Y,I)] \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z) = [(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z)] \cap_{\varepsilon} [(Y,I) \underset{\theta}{\sim}^* (A,Z)], \text{ where } Q \cap I \cap Z' = Q' \cap I \cap Z = \emptyset.$$

#### 4.2. Distribution of complementary soft binary piecewise difference ( $\setminus$ ) operation over complementary extended soft set operations:

##### i) Left-distribution of complementary soft binary piecewise difference ( $\setminus$ ) operations over extended complementary soft set operations:

The followings are satisfied when  $Q \cap I' \cap Z = \emptyset$ .

$$1) (C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* [(Y,I) \underset{\theta_{\varepsilon}}{\sim}^* (A,Z)] = [(C,Q) \underset{\cap}{\sim}^* (Y,I)] \underset{\cap}{\tilde{\cup}}^* [(A,Z) \underset{\cap}{\sim}^* (C,Q)].$$

**Proof:** Let's first handle the left-hand side of the equality. Assume  $(Y,I) \underset{\theta_{\varepsilon}}{\sim}^* (A,Z) = (M,I \cup Z)$ , so  $\forall j \in I \cup Z$ ,

$$M(j) = \begin{cases} Y'(j), & j \in I \setminus Z \\ A'(j), & j \in Z \setminus I \\ Y'(j) \cap A'(j), & j \in I \cap Z \end{cases}$$

Let  $(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (M,I \cup Z) = (N,Q)$ , then  $\forall j \in Q$ ,

$$N(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus (I \cup Z) \\ C(j) \cap M'(j), & j \in Q \cap (I \cup Z) \end{cases}$$

$$N(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus (I \cup Z) = Q \cap I' \cap Z' \\ C(j) \cap Y(j), & j \in Q \cap (I \setminus Z) = Q \cap I \cap Z' \\ C(j) \cap A(j), & j \in Q \cap (Z \setminus I) = Q \cap I' \cap Z \\ C(j) \cap [(Y(j) \cup A(j))], & j \in Q \cap I \cap Z \end{cases}$$

Now let's handle the right-hand side of the equality  $[(C, Q) \underset{\cap}{\sim} (Y, I)] \underset{\cap}{\tilde{\cup}} [(A, Z) \underset{\cap}{\sim} (C, Q)]$ . Let  $(C, Q)$

$$\underset{\cap}{\sim} (Y, I) = (V, Q), \text{ so } \forall j \in Q,$$

$$V(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \cap Y(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Let  $(A, Z) \underset{\cap}{\sim} (C, Q) = (W, Z)$ , hence  $\forall j \in Z$ ,

$$W(j) = \begin{cases} A'(j), & j \in Q \setminus Z \\ A(j) \cap C(j), & j \in Z \cap Q \end{cases}$$

Assume that  $(V, Q) \underset{\cap}{\tilde{\cup}} (W, Z) = (T, Q)$ , hence  $\forall j \in Q$ ,

$$T(j) = \begin{cases} V(j), & j \in Q \setminus Z \\ V(j) \cup W(j), & j \in Q \cap Z \end{cases}$$

Hence,

$$T(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in (Q \setminus I) \setminus Z = Q \cap I' \cap Z' \\ C(j) \cap Y(j), & j \in (Q \cap I) \setminus Z = Q \cap I \cap Z' \\ C'(j) \cup A'(j), & j \in (Q \setminus I) \cap (Z \setminus Q) = \emptyset \\ C'(j) \cup [A(j) \cap C(j)], & j \in (Q \setminus I) \cap (Z \cap Q) = Q \cap I' \cap Z \\ [C(j) \cap Y(j)] \cup A'(j), & j \in (Q \cap I) \cap (Z \setminus Q) = \emptyset \\ [C(j) \cap Y(j)] \cup [A(j) \cap C(j)], & j \in (Q \cap I) \cap (Z \cap Q) = Q \cap I \cap Z \end{cases}$$

It is seen that that  $N=T$ .



$$2) (C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* [(Y,I) \underset{*_{\varepsilon}}{\sim} (A,Z)] = [(C,Q) \underset{\cap}{\sim} (Y,I)] \tilde{\cap} [(A,Z) \underset{\cap}{\sim} (C,Q)]$$

$$3) (C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* [(Y,I) \underset{+_{\varepsilon}}{\sim} (A,Z)] = [(C,Q) \underset{\cap}{\sim} (Y,I)] \tilde{\cap} [(A,Z) \underset{\gamma}{\sim} (C,Q)]$$

$$4) (C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* [(Y,I) \underset{\gamma_{\varepsilon}}{\sim} (A,Z)] = [(C,Q) \underset{\cap}{\sim} (Y,I)] \tilde{\cup} [(A,Z) \underset{\gamma}{\sim} (C,Q)]$$

ii) **Right-distribution of complementary soft binary piecewise difference ( $\setminus$ ) operation over complementary extended soft set operations:**

$$1) [(C,Q) \underset{*_{\varepsilon}}{\sim} (Y,I)] \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z) = [(C,Q) \underset{\theta}{\sim} (A,Z)] \cup_{\varepsilon} [(Y,I) \underset{\theta}{\sim} (A,Z)] \text{ where } Q \cap I \cap Z' = \emptyset.$$

**Proof:** Let's first handle the left-hand side of the equality, let  $(C,Q) \underset{*_{\varepsilon}}{\sim} (Y,I) = (M,QUI)$ , where  $\forall j \in QUI$ ;

$$M(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ Y'(j), & j \in I \setminus Q \\ C'(j) \cup Y'(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Let  $(M,QUI) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z) = (N,QUI)$ , where  $\forall j \in QUI$ ;

$$N(j) = \begin{cases} M'(j), & j \in (QUI) \setminus Z \\ M(j) \cap A'(j), & j \in (QUI) \cap Z \end{cases}$$

Thus,

$$N(j) = \begin{cases} C(j), & j \in (Q \setminus I) \setminus Z = Q \cap I' \cap Z' \\ Y(j), & j \in (I \setminus Q) \setminus Z = Q' \cap I \cap Z' \\ C(j) \cap Y(j), & j \in (Q \cap I) \setminus Z = Q \cap I \cap Z' \\ C'(j) \cap A'(j), & j \in (Q \setminus I) \cap Z = Q \cap I' \cap Z \\ Y'(j) \cap A'(j), & j \in (I \setminus Q) \cap Z = Q' \cap I \cap Z \\ [C'(j) \cup Y'(j)] \cap A'(j), & j \in (Q \cap I) \cap Z = Q \cap I \cap Z \end{cases}$$

Now let handle the right hand side of the equality:  $[(C,Q)_{\theta}^{\sim}(A,Z)] \cup_{\varepsilon} [(Y,I)_{\theta}^{\sim}(A,Z)]$ . Assume that  $(C,Q)_{\theta}^{\sim}(A,Z)=(V,Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ;

$$V(j) = \begin{cases} C(j), & j \in Q \setminus Z \\ C'(j) \cap A'(j), & j \in Q \cap Z \end{cases}$$

Let  $(Y,I)_{\theta}^{\sim}(A,Z)=(W,I)$ , where  $\forall j \in I$ ;

$$W(j) = \begin{cases} Y(j), & j \in I \setminus Z \\ Y'(j) \cap A'(j), & j \in I \cap Z \end{cases}$$

Assume that  $(V,Q) \cup_{\varepsilon} (W,I) = (T, Q \cup I)$ , where  $\forall j \in Q \cup I$ ;

$$T(j) = \begin{cases} V(j), & j \in Q \setminus I \\ W(j), & j \in I \setminus Q \\ V(j) \cup W(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Thus,

$$T(j) = \begin{cases} C(j), & j \in (Q \setminus Z) \setminus I = Q \cap I' \cap Z' \\ C'(j) \cap A'(j), & j \in (Q \cap Z) \setminus I = Q \cap I' \cap Z \\ Y(j), & j \in (I \setminus Z) \setminus Q = Q' \cap I \cap Z' \\ Y'(j) \cap A'(j), & j \in (I \cap Z) \setminus Q = Q' \cap I \cap Z \\ C(j) \cup Y(j), & j \in (Q \setminus Z) \cap (I \setminus Z) = Q \cap I \cap Z' \\ C(j) \cup [Y'(j) \cap A'(j)], & j \in (Q \setminus Z) \cap (I \cap Z) = \emptyset \\ [C'(j) \cap A'(j)] \cup Y(j), & j \in (Q \cap Z) \cap (I \setminus Z) = \emptyset \\ [C'(j) \cap A'(j)] \cup [Y'(j) \cap A'(j)], & j \in (Q \cap Z) \cap (I \cap Z) = Q \cap I \cap Z \end{cases}$$

It is seen that that  $N=T$ .

$$2) [(C,Q)_{\theta_{\varepsilon}}^* (Y,I)] \underset{\setminus}{\sim} (A,Z) = [(C,Q)_{\theta}^{\sim}(A,Z)] \cap_{\varepsilon} [(Y,I)_{\theta}^{\sim}(A,Z)], \text{ where } Q \cap I \cap Z' = \emptyset.$$

$$3) [(C,Q)_{+\varepsilon}^* (Y,I)] \underset{\setminus}{\sim} (A,Z) = [(C,Q)_{\theta}^{\sim}(A,Z)] \cup_{\varepsilon} [(Y,I)_{\theta}^{\sim}(A,Z)], \text{ where } Q \cap I \cap Z' = Q' \cap I \cap Z = \emptyset.$$

$$4) [(C, Q) \underset{\gamma}{\sim}^* (Y, I)] \underset{\gamma}{\sim}^* (A, Z) = [(C, Q) \underset{\theta}{\sim} (A, Z)] \cap_{\varepsilon} [(Y, I) \underset{\gamma}{\sim} (A, Z)] \text{ where } Q \cap I \cap Z = Q' \cap I \cap Z = \emptyset.$$

### 4.3. Distribution of complementary soft binary piecewise difference ( $\underset{\gamma}{\sim}$ ) operation over soft binary piecewise operations:

#### i) Left -distribution of complementary soft binary piecewise difference ( $\underset{\gamma}{\sim}$ ) operation over soft binary piecewise operations:

The followings are satisfied when  $Q \cap I' \cap Z = \emptyset$ .

$$1) (C, Q) \underset{\gamma}{\sim}^* [(Y, I) \underset{\gamma}{\sim} (A, Z)] = [(C, Q) \underset{\gamma}{\sim}^* (Y, I)] \underset{\gamma}{\sim} [(A, Z) \underset{\gamma}{\sim}^* (C, Q)]$$

**Proof:** Let's first handle the left-hand side of the equality, let  $(Y, I) \underset{\gamma}{\sim} (A, Z) = (M, I)$ , where  $\forall j \in I$ ;

$$M(j) = \begin{cases} Y(j), & j \in I \setminus Z \\ Y(j) \cup A(j), & j \in I \cap Z \end{cases}$$

Let  $(C, Q) \underset{\gamma}{\sim}^* (M, I) = (N, Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ;

$$N(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \cap M'(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Thus,

$$N(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \cap Y'(j), & j \in Q \cap (I \setminus Z) = Q \cap I \cap Z' \\ C(j) \cap [Y'(j) \cap A'(j)], & j \in Q \cap I \cap Z \end{cases}$$

Now let's handle the right-hand side of the equality:  $[(C, Q) \underset{\gamma}{\sim}^* (Y, I)] \underset{\gamma}{\sim} [(A, Z) \underset{\gamma}{\sim}^* (C, Q)]$ . Let

$(C, Q) \underset{\gamma}{\sim}^* (Y, I) = (V, Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ;

$$V(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \cap Y'(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

\*  
Let  $(A,Z) \sim (C,Q) = (W,Z)$ , where  $\forall j \in Z$ ;  
 $\gamma$

$$W(j) = \begin{cases} A'(j), & j \in Z \setminus Q \\ A'(j) \cap C(j), & j \in Z \cap Q \end{cases}$$

Suppose  $(V,Q) \tilde{\cap} (W,Z) = (T,Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ;

$$T(j) = \begin{cases} V(j), & j \in Q \setminus Z \\ V(j) \cap W(j), & j \in Q \cap Z \end{cases}$$

Therefore,

$$T(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in (Q \setminus I) \setminus Z = Q \cap I' \cap Z' \\ C(j) \cap Y'(j), & j \in (Q \cap I) \setminus Z = Q \cap I \cap Z' \\ C'(j) \cap A'(j), & j \in (Q \setminus I) \cap (Z \setminus Q) = \emptyset \\ C'(j) \cap [A'(j) \cap C(j)], & j \in (Q \setminus I) \cap (Z \cap Q) = Q \cap I' \cap Z \\ [C(j) \cap Y'(j)] \cap A'(j), & j \in (Q \cap I) \cap (Z \setminus Q) = \emptyset \\ [C(j) \cap Y'(j)] \cap [A'(j) \cap C(j)] & j \in (Q \cap I) \cap (Z \cap Q) = Q \cap I \cap Z \end{cases}$$

Here let handle  $j \in Q \setminus I$  in the first equation of the first line. Since  $Q \setminus I = Q \cap I'$ , if  $j \in I'$ , then  $j \in Z \setminus I$  or  $j \in (I \cup Z)'$ .

Hence, if  $j \in Q \setminus I$ , then  $j \in Q \cap I' \cap Z'$  or  $j \in Q \cap I' \cap Z$ . Thus, it is seen that that  $N=T$ , where  $Q \cap I \cap Z = \emptyset$ .

$$2) (C,Q) \sim \underset{\setminus}{[(Y,I) \tilde{\cap} (A,Z)]} = \underset{\setminus}{[(C,Q) \sim (Y,I)]} \tilde{\cup} \underset{\gamma}{[(A,Z) \sim (C,Q)]}$$

$$3) (C,Q) \sim \underset{\setminus}{[(Y,I) \tilde{\lambda} (A,Z)]} = \underset{\setminus}{[(C,Q) \sim (Y,I)]} \tilde{\cap} \underset{\cap}{[(A,Z) \sim (C,Q)]}$$

$$4) (C,Q) \sim \underset{\setminus}{[(Y,I) \tilde{\lambda} (A,Z)]} = \underset{\setminus}{[(C,Q) \sim (Y,I)]} \tilde{\cup} \underset{\cap}{[(A,Z) \sim (C,Q)]}$$

**ii) Right-distribution of complementary soft binary piecewise difference ( $\setminus$ ) operation over soft binary piecewise operations:**

The followings are satisfied when  $Q \cap I' \cap Z = \emptyset$ .

$$1) [(C,A) \tilde{\cap} (Y,I)] \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z) = [(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z)] \tilde{\cap} [(Y,I) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z)].$$

**Proof:** Let's first handle the left-hand side of the equality. Suppose  $(C,Q) \tilde{\cap} (Y,I) = (M,Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ,

$$M(j) = \begin{cases} C(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \cap Y(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Let  $(M,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z) = (N,Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ,

$$N(j) = \begin{cases} M'(j), & j \in Q \setminus Z \\ M(j) \cap A'(j), & j \in Q \cap Z \end{cases}$$

Thus,

$$N(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in (Q \setminus I) \setminus Z = Q \cap I' \cap Z' \\ C'(j) \cup Y'(j), & j \in (Q \cap I) \setminus Z = Q \cap I \cap Z' \\ C(j) \cap A'(j), & j \in (Q \setminus I) \cap Z = Q \cap I' \cap Z \\ [C(j) \cap Y(j)] \cap A'(j), & j \in (Q \cap I) \cap Z = Q \cap I \cap Z \end{cases}$$

Now let's handle the right-hand side of the equality:  $[(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z)] \tilde{\cap} [(Y,I) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z)]$ . Let

$(C,Q) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z) = (V,Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ;

$$V(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus Z \\ C(j) \cap A'(j), & j \in Q \cap Z \end{cases}$$

Let  $(Y,I) \underset{\setminus}{\sim}^* (A,Z) = (W,I)$ , where  $\forall j \in I$ ;

$$W(j) = \begin{cases} Y'(j), & j \in I \setminus Z \\ Y(j) \cap A'(j), & j \in I \cap Z \end{cases}$$

Suppose that  $(V, Q) \tilde{\cap} (W, I) = (T, Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ;

$$T(j) = \begin{cases} V(j), & j \in Q \setminus I \\ V(j) \cap W(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

$$T(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in (Q \setminus Z) \setminus I = Q \cap I' \cap Z' \\ C(j) \cap A'(j), & j \in (Q \cap Z) \setminus I = Q \cap I' \cap Z \\ C'(j) \cap Y'(j), & j \in (Q \setminus Z) \cap (I \setminus Z) = Q \cap I \cap Z' \\ C'(j) \cap [Y(j) \cap A'(j)], & j \in (Q \setminus Z) \cap (I \cap Z) = \emptyset \\ [C(j) \cap A'(j)] \cap Y'(j), & j \in (Q \cap Z) \cap (I \setminus Z) = \emptyset \\ [C(j) \cap A'(j)] \cap [Y(j) \cap A'(j)], & j \in (Q \cap Z) \cap (I \cap Z) = Q \cap I \cap Z \end{cases}$$

It is seen that that  $N=T$ .

$$2) [(C, A) \tilde{\cup} (Y, I)] \underset{\setminus}{\sim} (A, Z) = [(C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (A, Z)] \tilde{\cup} [(Y, I) \underset{\setminus}{\sim} (A, Z)].$$

$$3) [(C, A) \tilde{\lambda} (Y, I)] \underset{\setminus}{\sim} (A, Z) = [(C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (A, Z)] \tilde{\cup} [(Y, I) \underset{\theta}{\sim} (A, Z)].$$

$$4) [(C, A) \tilde{\chi} (Y, I)] \underset{\setminus}{\sim} (A, Z) = [(C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (A, Z)] \tilde{\cap} [(Y, I) \underset{\theta}{\sim} (A, Z)].$$

#### 4.4. Distribution of complementary soft binary piecewise difference ( $\setminus$ ) operation over complementary soft binary piecewise operations:

##### i) Left-distribution of complementary soft binary piecewise difference ( $\setminus$ ) operation over complementary soft binary piecewise operations:

The followings are satisfied when  $Q \cap I' \cap Z = \emptyset$ .

$$1) (C, Q) \underset{\setminus}{\sim} [(Y, I) \underset{*}{\sim} (A, Z)] = [(C, Q) \underset{\cap}{\sim} (Y, I)] \tilde{\cap} [(A, Z) \underset{\cap}{\sim} (C, Q)]$$

**Proof:** Let's first handle the left-hand side of the equality, let  $(Y, I) \underset{*}{\sim} (A, Z) = (M, I)$ , where  $\forall j \in I$ ;

$$M(j) = \begin{cases} Y'(j), & j \in I \setminus Z \\ Y'(j) \cup A'(j), & j \in I \cap Z \end{cases}$$

Let  $(C, Q) \underset{\cap}{\sim} (M, I) = (N, Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ;

$$N(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \cap M'(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Thus,

$$N(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \cap Y(j), & j \in Q \cap (I \setminus Z) = Q \cap I \cap Z' \\ C(j) \cap [(Y(j) \cap A(j))], & j \in Q \cap I \cap Z = Q \cap I \cap Z \end{cases}$$

Now let's handle the right-hand side of the equality:  $[(C, Q) \underset{\cap}{\sim} (Y, I)] \underset{\cap}{\tilde{}} [(A, Z) \underset{\cap}{\sim} (C, Q)]$ . Let

$(C, Q) \underset{\cap}{\sim} (Y, I) = (V, Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ;

$$V(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C(j) \cap Y(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Suppose that  $(A, Z) \underset{\cap}{\sim} (C, Q) = (W, Z)$ , where  $\forall j \in Z$ ;

$$W(j) = \begin{cases} A'(j), & j \in Z \setminus Q \\ A(j) \cap C(j), & j \in Z \cap Q \end{cases}$$

Let  $(V, Q) \underset{\cap}{\tilde{}} (W, Z) = (T, Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ;

$$T(j) = \begin{cases} V(j), & j \in Q \setminus Z \\ V(j) \cap W(j), & j \in Q \cap Z \end{cases}$$

Hence,

$$T(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in (Q \setminus I) \setminus Z = Q \cap I' \cap Z' \\ C(j) \cap Y(j), & j \in (Q \cap I) \setminus Z = Q \cap I \cap Z' \\ C'(j) \cap A'(j), & j \in (Q \setminus I) \cap (Z \setminus Q) = \emptyset \\ C'(j) \cap [A(j) \cap C(j)], & j \in (Q \setminus I) \cap (Z \cap Q) = Q \cap I' \cap Z \\ [C(j) \cap Y(j)] \cap A'(j), & j \in (Q \cap I) \cap (Z \setminus Q) = \emptyset \\ [C(j) \cap Y(j)] \cap [A(j) \cap C(j)], & j \in (Q \cap I) \cap (Z \cap Q) = Q \cap I \cap Z \end{cases}$$

Take care that since  $Q \setminus I = Q \cap I'$ , if  $j \in I'$ , then  $j \in Z \setminus I$  or  $j \in (I \cup Z)'$ . Hence, if  $j \in Q \setminus I$ ,  $j \in Q \cap I' \cap Z'$  or  $j \in Q \cap I' \cap Z$ . Thus, it is seen that that  $N=T$ .

$$2) (C, Q) \underset{\setminus}{\sim} \underset{\theta}{[(Y, I) \sim (A, Z)]} = \underset{\cap}{[(C, Q) \sim (Y, I)]} \tilde{\cup} \underset{\cap}{[(A, Z) \sim (C, Q)]}$$

$$3) (C, Q) \underset{\setminus}{\sim} \underset{+}{[(Y, I) \sim (A, Z)]} = \underset{\cap}{[(C, Q) \sim (Y, I)]} \tilde{\cap} \underset{\gamma}{[(A, Z) \sim (C, Q)]}$$

$$4) (C, Q) \underset{\setminus}{\sim} \underset{\gamma}{[(Y, I) \sim (A, Z)]} = \underset{\cap}{[(C, Q) \sim (Y, I)]} \tilde{\cup} \underset{\gamma}{[(A, Z) \sim (C, Q)]}$$

**ii) Right-distribution of complementary soft binary piecewise difference ( $\setminus$ ) operation over complementary soft binary piecewise operations:**

The followings are satisfied when  $Q \cap I \cap Z' = \emptyset$ .

$$1) [(C, A) \underset{\theta}{\sim} (Y, I)] \underset{\setminus}{\sim} (A, Z) = [(C, Q) \underset{\theta}{\sim} (A, Z)] \tilde{\cap} [(Y, I) \underset{\theta}{\sim} (A, Z)].$$

**Proof:** Let's first handle the left-hand side of the equality, let  $(C, Q) \underset{\theta}{\sim} (Y, I) = (M, Q)$ , where  $\forall j \in Q$ ,

$$M(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C'(j) \cap Y'(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

$$\text{Let } (M, Q) \underset{\setminus}{\sim} (A, Z) = (N, Q), \text{ where } \forall j \in Q,$$





$$2) \begin{matrix} * & * \\ [(C,A) \sim (Y,I)] & \sim (A,Z) \\ * & \setminus \end{matrix} = [(C,Q) \underset{\theta}{\sim} (A,Z)] \cup [(Y,I) \underset{\theta}{\sim} (A,Z)]$$

$$3) \begin{matrix} * & * \\ [(C,A) \sim (Y,I)] & \sim (A,Z) \\ + & \setminus \end{matrix} = [(C,Q) \underset{\theta}{\sim} (A,Z)] \cup [(Y,I) \setminus (A,Z)]$$

$$4) \begin{matrix} * & * \\ [(C,A) \sim (Y,I)] & \sim (A,Z) \\ \forall & \setminus \end{matrix} = [(C,Q) \underset{\theta}{\sim} (A,Z)] \tilde{\cap} [(Y,I) \setminus (A,Z)]$$

**4.5. Distribution of complementary soft binary piecewise difference ( $\setminus$ ) operation over restricted soft set operations:**

The followings are satisfied when  $I \cap Z \neq \emptyset$  and  $Q \cap I \cap Z = \emptyset$

$$1) \begin{matrix} * \\ (C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (Y,I) \cap_R (A,Z) \end{matrix} = \begin{matrix} * \\ (C,Q) \underset{\theta}{\sim} (Y,I) \end{matrix} \cup_R \begin{matrix} * \\ (C,Q) \underset{\theta}{\sim} (A,Z) \end{matrix}.$$

**Proof:** Let's first handle the left-hand side of the equality, suppose  $(Y,I) \cap_R (A,Z) = (M,I \cap Z)$ , and so

$$\forall j \in I \cap Z, M(j) = Y(j) \cap A(j). \text{ Let } \begin{matrix} * \\ (C,Q) \underset{\setminus}{\sim} (M, I \cap Z) = (N,Q), \text{ so } \forall j \in Q, \end{matrix}$$

$$N(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus (I \cap Z) \\ C(j) \cap M'(j), & j \in Q \cap (I \cap Z) \end{cases}$$

Thus,

$$N(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus (I \cap Z) \\ C(j) \cap [Y'(j) \cup A'(j)], & j \in Q \cap (I \cap Z) \end{cases}$$

Now let's handle the right-hand side of the equality:  $\begin{matrix} * \\ (C,Q) \underset{\theta}{\sim} (Y,I) \end{matrix} \cup_R \begin{matrix} * \\ (C,Q) \underset{\theta}{\sim} (A,Z) \end{matrix}$ . Let

$$\begin{matrix} * \\ (C,Q) \underset{\theta}{\sim} (Y,I) = (V,Q) \text{ and } \forall j \in Q, \end{matrix}$$

$$V(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus I \\ C'(j) \cap Y'(j), & j \in Q \cap I \end{cases}$$

Let  $(C, Q) \underset{\theta}{\sim} (A, Z) = (W, Q)$  and  $\forall j \in Q$ ,

$$W(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \setminus Z \\ C'(j) \cap A'(j), & j \in Q \cap Z \end{cases}$$

Assume that  $(V, Q) \cup_R (W, Q) = (T, Q)$ , so  $\forall j \in T(j) = V(j) \cup W(j)$ ,

$$T(j) = \begin{cases} C'(j) \cup C'(j), & j \in (Q \setminus I) \cap (Q \setminus Z) \\ C'(j) \cup [C'(j) \cap A'(j)], & j \in (Q \setminus I) \cap (Q \cap Z) \\ [C'(j) \cap Y'(j)] \cup F'(j), & j \in (Q \cap I) \cap (Q \setminus Z) \\ [C'(j) \cap Y'(j)] \cup [C'(j) \cap A'(j)], & j \in (Q \cap I) \cap (Q \cap Z) \end{cases}$$

Thus,

$$T(j) = \begin{cases} C'(j), & j \in Q \cap I' \cap Z' \\ C'(j), & j \in Q \cap I' \cap Z \\ C'(j), & j \in Q \cap I \cap Z' \\ [C'(j) \cap Y'(j)] \cup [C'(j) \cap A'(j)], & j \in Q \cap I \cap Z \end{cases}$$

Considering the parameter set of the first equation of the first row, that is,  $Q \setminus (I \cap Z)$ ; since  $Q \setminus (I \cap Z) = Q \cap (I \cap Z)'$ , an element in  $(I \cap Z)'$  may be in  $I \setminus Z$ , in  $Z \setminus I$  or  $(I \cup Z)$ . Then,  $Q \setminus (I \cap Z)$  is equivalent to the following 3 states:  $Q \cap (I \cap Z)'$ ,  $Q \cap (I' \cap Z)$  and  $Q \cap (I' \cap Z)'$ . Hence, that  $N=T$ .

$$2) (C, Q) \underset{\setminus}{\sim} [(Y, I) \cup_R (A, Z)] = [(C, Q) \underset{*}{\sim} (Y, I)] \cap_R [(C, Q) \underset{*}{\sim} (A, Z)].$$

$$3) (C, Q) \underset{\setminus}{\sim} [(Y, I) \theta_R (A, Z)] = [C, Q] \underset{\setminus}{\sim} (Y, I) \cup_R [(C, Q) \underset{\setminus}{\sim} (A, Z)].$$

$$4) (C, Q) \underset{\setminus}{\sim} [(Y, I) * _R (A, Z)] = [(C, Q) \underset{+}{\sim} (Y, I)] \cap_R [(C, Q) \underset{+}{\sim} (A, Z)].$$

$$5) (C,Q) \sim [(Y,I)\gamma_R(A,Z)] = [(C,Q) \sim (Y,I)] \cap_R [(C,Q) \sim (A,Z)].$$

$$6) (C,Q) \sim [(Y,I)\lambda_R(A,Z)] = [(C,Q) \sim (Y,I)] \cup_R [(C,Q) \sim (A,Z)].$$

$$7) [(C,Q) \sim (Y,I)] \setminus_R (A,Z) = [(C,Q) \sim (Y,I)] \cap_R [(C,Q) \sim (A,Z)],$$

$$8) (C,Q) \sim [(Y,I)+_R(A,Z)] = [(C,Q) \sim (Y,I)] \cap_R [(C,Q) \sim (A,Z)].$$

## 5. Conclusion

The concept of soft set operations is a critical idea just like essential operations on numbers and primary operations on sets. Soft set operations are the operations that are applied to two or more soft sets to develop a relationship between them. The operations in soft set ideas have continued beneathneath fundamental headings as restricted soft set operations and extended soft set operations. In this paper, a new type of soft set operation which we call complementary soft binary piecewise difference operation has been defined. The algebraic properties of the operation have been investigated. We have obtained some interesting analogous facts between the difference operation in classical theory and complementary soft binary piecewise difference operation in soft set theory. Also, we have obtained the relationships between this new soft set operation and other types of soft set operations such as extended operation, complementary extended operations, soft binary piecewise operations, complementary soft binary piecewise operations intersectiona and restricted operations. This research is to serve as a basis for many applications, especially decision making cryptography. Since soft set is a powerful mathematical tool for uncertain object detection, with this study, researchers may suggest some new encryption or decision-making methods based on soft sets. Moreover, studies on the soft algebraic structures may be handled again as regards the algebraic properties by the operation defined in this paper.

## Author's Contribution

The contributions of the authors are equal.

## Conflict of Interest

The authors have declared that there are no conflicts of interest.

## References

- Addis GM., Engidaw DA., Davvaz B. Soft mappings: a new approach. *Soft Computing* 2022; 26: 3589-3599.
- Akbulut E. New type of extended operations of soft set: Complementary extended lambda and difference operations. The Graduate School of Natural and Applied Sciences Master of Science in Mathematics Department, Amasya University 2024, Amasya.
- Ali MI., Feng F., Liu X., Min WK., Shabir M. On some new operations in soft set theory. *Computers and Mathematics with Applications* 2009; 57(9): 1547-1553.
- Atagün AO., Aygün E. Groups of soft sets. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* 2016; 30: 729-733.
- Aybek F. New restricted and extended soft set operations. The Graduate School of Natural and Applied Sciences Master of Science in Mathematics Department, Amasya University 2024, Amasya.
- Ayub S., Shabir M., Riaz M., Aslam M., Chinram R. Linear diophantine fuzzy relations and their algebraic properties with decision making. *Symmetry* 2021; 13(6): 945.
- Çağman N. Conditional complements of sets and their application to group theory. *Journal of New Results in Science* 2021; 10(3): 67-74.
- Demirci AM. New type of extended operations of soft set: Complementary extended plus, union and theta operations. The Graduate School of Natural and Applied Sciences Master of Science in Mathematics Department, Amasya University 2024, Amasya.
- Eren ÖF. On some operations of soft sets, The Graduate School of Natural and Applied Sciences Master of Science in Mathematics Department, Ondokuz Mayıs University 2019, Samsun.
- Molodtsov D. Soft set theory-first results. *Computers and Mathematics with Applications* 1999; 37 (1): 19-31.
- Maji PK., Bismas R., Roy AR. Soft set theory. *Computers and Mathematics with Applications* 2003; 45(1): 555-562.
- Özlü Ş. Interval valued q- rung orthopair hesitant fuzzy choquet aggregating operators in multi-criteria decision making problems. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology* 2022a; 10(4): 1006-1025.
- Özlü Ş. Interval valued bipolar fuzzy prioritized weighted dombi averaging operator based on multi-criteria decision making problems. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology* 2022b; 10(4): 841-857.
- Paik B., Mondal SK. Introduction to soft-cryptosystem and its application. *Wireless Pers Commun* 2022; 125, 1801–1826.

- Pei D., Miao D. From soft sets to information systems. In: Proceedings of Granular Computing. IEEE 2005; 2: 617-621.
- Riaz M., Hashmi MR. Linear diophantine fuzzy set and its applications towards multi-attribute decision-making problems. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems 2019; 37: 5417-5439.
- Riaz M., Farid HMA. Linear diophantine fuzzy aggregation operators with multi-criteria decision-making. Journal of Computational and Cognitive Engineering 2023; 1–12.
- Riaz M., Hashmi MR., Pamucar D., Chu Y. Spherical linear diophantine fuzzy sets with modeling uncertainties in MCDM. Computer Modeling in Engineering and Sciences 2021; 126, 1125-1164.
- Sarılioğlu M. New type of extended operations of soft set: Complementary extended gamma, intersection and star operations. The Graduate School of Natural and Applied Sciences Master of Science in Mathematics Department, Amasya University 2024, Amasya.
- Sezgin A., Atagün AO. On operations of soft sets. Computers and Mathematics with Applications 2011; 61(5):1457-1467.
- Sezgin A., Atagün AO. New soft set operation: Complementary soft binary piecewise plus operation. Matrix Science Mathematics 2023; 7(2): 110-127.
- Sezgin A., Aybek, F. New soft set operation: Complementary soft binary piecewise gamma operation. Matrix Science Mathematics 2023; 7(1): 27-45.
- Sezgin A., Aybek F., Atagün AO. New soft set operation: Complementary soft binary piecewise intersection operation. Black Sea Journal of Engineering and Science 2023a; 6(4): 330-346.
- Sezgin A., Aybek F., Güngör Bilgili N. New soft set operation: Complementary soft binary piecewise union operation. Acta Informatica Malaysia 2023b; 7(1):38-53.
- Sezgin A., Çağman N., Atagün AO., Aybek F. Complementary binary operations of sets and their application to group theory. Matrix Science Mathematic 2023c; 7(2):98-106.
- Sezgin A., Dagtoros K. Complementary soft binary piecewise symmetric difference operation: A novel soft set operation. Scientific Journal of Mehmet Akif Ersoy University 2023; 6(2): 31-45.
- Sezgin A., Demirci AM. New soft set operation: Complementary soft binary piecewise star operation. Ikonion Journal of Mathematics 2023; 5(2): 24-52.
- Sezgin A., Sarılioğlu M. New soft set operation: Complementary soft binary piecewise theta operation. in press Journal of Kadirli Faculty of Applied Sciences.
- Sezgin A., Shahzad A., Mehmood A. New operation on soft sets: Extended difference of soft sets. Journal of New Theory 2019; 27: 33-42.
- Sezgin A., Yavuz E. A new soft set operation: Soft binary piecewise symmetric difference operation. Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering 2023a; 5(2): 150-168.
- Sezgin A., Yavuz E. New soft set operation: Complementary soft binary piecewise lambda operation. Sinop University Journal of Natural Sciences 2023b; 8(2): 101-133.

Stojanovic NS. A new operation on soft sets: Extended symmetric difference of soft sets. *Military Technical Courier* 2021; 69(4): 779-791.

Yavuz E. Soft binary piecewise operations and their properties. The Graduate School of Natural and Applied Sciences Master of Science in Mathematics Department, Amasya University 2024, Amasya.

## The Impact of the SAR-CoV-2 Epidemic on Oil Prices and BRICS Stock Markets: Dynamic Conditional Copula Approach

Ayşe Metin KARAKAŞ<sup>1\*</sup>, Mine DOĞAN<sup>2</sup>, Sinan ÇALIK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren University, Art and Sciences Faculty, Statistics Department, Bitlis, Türkiye

<sup>2,3</sup>Fırat University, Science Faculty, Statistics Department, Elazığ, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3552-0105>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-2745-9909>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-4258-1662>

Corresponding author: mined685@gmail.com

### Research Article

#### Article History:

Received: 04.04.2023

Accepted: 04.08.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

SAR-CoV-2

Conditional dependency

Dependency structure

### ABSTRACT

The purpose of this study is to illustrate the impact of the Covid-19 epidemic on oil prices and the BRICS stock markets before and after the pandemic, as well as to create an example of the addiction model. Using the CD-vine copula approach, the goal is to demonstrate the dynamic nature of the conditional dependencies of data acquired from BRICS stock markets and oil prices (Opec Oil and Brent Oil). According to the findings, D vine branching and compatible copula families, copula family parameters, and Kendall tau values best represent the conditional dependency structure for the Sars-Cov-2 before-after pandemic period for Brent Oil, Opec Oil, and BRICS Countries. The results of the study are given with the support of figures and graphics.

## SAR-CoV-2 Salgınının Petrol Fiyatlarına ve BRICS Hisse Senedi Piyasalarına Etkisi: Dinamik Koşullu Kopula Yaklaşımı

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 04.04.2023

Kabul tarihi: 04.08.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

SAR-CoV-2

Koşullu bağımlılık

Bağımlılık yapısı

### ÖZ

Bu çalışmanın amacı, Covid-19 pandemisinin öncesi ve sonrası alınarak Oil Prices ve BRICS Stock Marketleri üzerindeki etkisini sunmaktır ve bağımlılık modelinin bir örneğini oluşturmaktır. BRICS Hisse Senedi Piyasaları ve Petrol Fiyatlarından (Opec Petrol ve Brent Petrol) elde edilen verilerin koşullu bağımlılıklarının dinamik yapısını CD-vine copula tekniğini kullanarak göstermektedir. Çalışmanın sonucunda Brent Oil, Opec Oil ve BRICS için Sars-Cov-2 pandemi öncesi ve sonrası dönem için D-vine dallanması ve uyumlu kopula aileleri, kopula ailesi parametreleri ve Kendall tau değerlerinin koşullu bağımlılık yapısını en iyi şekilde gösterdiği belirlendi. Çalışma sonuçları şekil ve grafiklerle desteklenerek verilmiştir.

**To Cite:** Karakaş AM., Doğan M., Çalık S. The Impact of the SAR-CoV-2 Epidemic on Oil Prices and BRICS Stock Markets: Dynamic Conditional Copula Approach. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 95-109.

### 1. Introduction

According to Goldman Sachs' research (O'Neill, 2001) the future of the globe is dependent on the BRICS nations. According to the analysis, China will become the world's largest economy by 2050, followed by India, Brazil, and Russia. The analysis predicts that Turkey will hold an important place



in the global economy in 2050. Türkiye has narrowed the gap between itself and the BRICS nations due to its economic performance during the past two decades. To investigate the relationship between oil prices and markets, several studies have been conducted by various researchers. Sadorsky's 1999 study researchers identified positive oil price shocks' negative and statistically significant impact on the stock market index. They used the VAR model, impulse response analysis, and variance decomposition methods. In a study, authors used the vine copula-based GARCH scheme to investigate the structural relationship between the oil, stock, and foreign exchange markets. As a result, they simulated that the increase in crude oil prices between 2000 and 2013 was coupled with the decline in the exchange rate and the appreciation of stock market prices (Aloui and Aïssa, 2016). They examined the time-frequency dynamics of joint transactions between BRICS indices, gold prices, WTI, Brent and oil prices (Mensi et al., 2018). The findings indicate that the BRICS index moves less frequently with the WTI crude oil price. Researchers calculated the dynamic hedge ratio for spot crude oil, simulated tail reliance, and assessed portfolio risk for crude oil futures markets using a newly constructed model (Gong et al., 2019). The application of typical hanging copulas in the analysis of the partner interdependence of the four major Russian Stock Exchange shares, Sberbank, Gazprom, FGC UES, and Rosneft, as demonstrated by the RTS index (Shchetinin, 2019). The researchers in (Tachibana, 2018) explore utilizing US stock returns as a proxy for changes in other stock markets and using a combination technique hanging on 21 economies from 2003 to 2017. The authors of (Dißmann et al., 2013) used this particular study technique in the financial dataset of 16-dimensional international stock, fixed income, and item indexes that were simulated throughout the past ten years, particularly during the time of the most recent financial crisis. Researchers employed a hanging copula technique to investigate the structural link between stock, energy, and foreign exchange markets (Aloui and Aïssa, 2016). The authors of (Mohammed and Barrales-Ruiz, 2020) have discovered an exogenous oil price shock caused by the pandemic, in addition to traditional demand, supply, and financial market shocks in international crude oil markets. They sought to analyze the dynamic joint movement of capital markets in ASEAN from 2012 to 2013, in (Sriboonchitta and Chaiboonsri, 2013). Researchers have focused on the relationship between significant global exchanges, including the European stock markets (the United Kingdom and German), the United States stock market (S & P 500), the Asian stock markets (Japan and China), and the ASEAN stock markets (Indonesia and Philippine) in the pre-crisis period (2000–2008) and post-crisis period (2000–2016), in (Chaiboonsri and Singvejsakul, 2017). They analyzed the composite stock price index and macroeconomic data using the grapevine method (inflation, IDR to USD interest rate and exchange rate) in (Hikmah et al., 2017). The dependent structure and combined movements of the Malaysian Ringgit (MYR) and Thai Baht (THB) currencies have been explored by authors (Chokethaworn et al., 2013), using up-to-date daily data from 2006 to 2013. The BRICS chair, which South Africa joined in April 2011, has been widely used to symbolize the shift in global economic dominance from developed to major developing economies (Haibin, 2012). The BRICS countries cover over a quarter of the world's surface, and more

than 40% of the world's population lives there. The authors (Vandemoortele et al., 2013) evaluate the experiences of the four BRICS countries (Brazil, China, India, and South Africa) and identify four major elements affecting their growth patterns in this paper.

## 2. Materials and Method

### a) Fundamentals

For an  $n$ -dimensional vector  $U$  on the unit hypercube, the well-known multivariate copula distribution having all uniform marginals over  $[0, 1]$ , a copula  $C$  is given by.

$$C(w_1, w_2, \dots, w_n) = Pr(U_1 \leq w_1, U_2 \leq w_2, \dots, U_n \leq w_n) \quad (1)$$

The following result is the chief feature of Sklar's theorem (Sklar, 1959), such as the building block of the literature on copulas, specifies as:

Theorem 2.1. (Sklar's Theorem)

The Sklar theorem is a fundamental understanding of the copula idea. According to the Sklar theorem, any multivariate probability distribution may be represented using a copula and marginal distributions. That is, we may fully characterize the dependence between the variables by modeling the marginal distributions of the variables independently using a copula and then adding the copula that expresses this dependency structure. Finally, copula is an effective tool for describing the dependency of random vectors. With the basic insight offered by the Sklar theorem, we can investigate variable dependency more thoroughly and acquire more reliable results in statistical analysis.

Assume  $F$  be a  $n$ -dimensional distribution mapping with univariate margins  $F_1, F_2, \dots, F_n$ . Also consider that defines the range of  $F_i$  and  $A_i = [-\infty, \infty]$  where  $i = 1, 2, \dots, n$ . In that case, there exists a copula function  $C$  whole  $(y_1, y_2, \dots, y_n) \in [-\infty, \infty]$

$$F(y_1, y_2, \dots, y_n) = C(F(y_1), F(y_2), \dots, F(y_n)) \quad (2)$$

where the random variables  $(Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$  are supposed to be continuous.

Definition 2. 2. [5] Kendall Tau and Spearman Rho

Rank correlations are specified as Kendall  $\tau$  and Spearman  $\rho$ . For both correlation measures based on rank, the general term in their definitions is the rank of the examination, indicated as follows:

$$\integrals\rho_S(Y, Z) = 12 \iint_U (C(w, v) - wv) dw dv \quad (3)$$

$$\integrals\rho_\tau(Y, Z) = 4 \iint_U C(w, v) \partial C(wv) - 1 \quad (4)$$

where,  $U = I^2$  is the unique square.

Definition 2. 3. [18] Tail Dependence

Tail dependence case is clearly linked to being of the federation in extreme weights, primarily based on tails. Assume  $Y$  and  $Z$  are two random variables along with the distributions  $F_Y$  and  $F_Z$  serially. So, two primary asymptotic measures for tail dependence, named the coefficient of upper and lower tail dependence indicated below,

$$\lambda_l = \lim_{w \rightarrow 0} P(F_y(y) \leq w | F_z(y) \leq w) = \lim_{u \rightarrow 0} \frac{C(w,w)}{w} \quad (5)$$

$$\lambda_w = \lim_{w \rightarrow 1} P(F_y(y) > w | F_z(y) > w) = \lim_{w \rightarrow 1} \frac{1-2w-C(w,w)}{1-w} \quad (6)$$

where  $\lambda_l$  and  $\lambda_w \in [0,1]$ .

Definition 2. 4. [5-7] Elliptical Copulas

Let  $F$  be the multivariate cumulative distribution function (cdf) of an elliptical distribution. Let  $F_i$  be  $i$ 'th margin cdf and  $F_i^{-1}$  be its inverse map for  $i = 1, 2, \dots, n$ , the elliptical copula established by  $F$  is;

$$C(w_1, w_2, \dots, w_n) = F[F_1^{-1}(w_1) + \dots + F_n^{-1}(w_n)] \quad (7)$$

For example, normal copulas (exemplified from unit variances, bivariate normal with zero means, and correlation  $\rho$ ) and student t-copulas (exemplified by bivariate t-distribution with zero mean, association  $\rho$ , and degree of freedom  $v$ ) are two varieties of elliptical group.

Definition 2. 5. [11-12] Archimedean Copulas

An Archimedean copula is derived via a generator  $\phi$  as;

$$C(w_1, w_2, \dots, w_n) = \phi^{[-1]}[\phi(w_1) + \dots + \phi(w_n)] \quad (8)$$

where,  $\phi^{[-1]}$  is the pseudo-inverse of the generator,  $\phi$  specified by,

$$\phi^{[-1]} = \begin{cases} \phi^{-1}(t) & 0 \leq t \leq \phi(0) \\ 0 & \phi(0) \leq t \leq \phi(\infty) \end{cases} \quad (9)$$

In bivariate case,

$$C(w_1, w_2) = \phi^{[-1]}(\phi(w_1) + \phi(w_2)) \quad (10)$$

defines the so-called Archimedean bivariate copula function.

**Table 1.** Copula Families

Elliptical Copula Family			
Family No.			
1		Gaussian (Normal) Copula	
2		Student's - t Copula	
Arşimedyan Copula Families			
Archimedean Copula Groups of One parameter type		Archimedean Copula Groups of Two parameter type	
3	Clayton Copula	7	Clayton-Gumbel (BB1) Copula
4	Gumbel Copula	8	Joe-Gumbel (BB6) Copula
5	Joe Copula	9	Joe-Clayton (BB7) Copula
6	Frank Copula	10	Joe-Frank (BB8) Copula
13	Survival Clayton Copula	17	Survival BB1 Copula
14	Survival Gumbel Copula	18	Survival BB6 Copula
16	Survival Joe Copula	19	Survival BB7 Copula
23	Rotated Clayton Copula (90 degree)	20	Survival BB8 Copula
24	Rotated Gumbel Copula (90 degree)	27	Rotated BB1 Copula (90 degree)
26	Rotated Joe Copula (90 degree)	28	Rotated BB6 Copula (90 degree)

33	Rotated Clayton Copula (270 degree)	29	Rotated BB7 Copula (90 degree)
34	Rotated Gumbel Copula (270 degree)	30	Rotated BB8 Copula (90 degree)
36	Rotated Joe Copula (270 degree)	37	Rotated BB1 Copula (270 degree)
		38	Rotated BB6 Copula (270 degree)
		39	Rotated BB7 Copula (270 degree)
		40	Rotated BB8 Copula (270 degree)
		104	Tawn type 1 Copula
		114	Rotated Tawn type 1 Copula (180 degree)
		124	Rotated Tawn type 1 Copula (90 degree)
		134	Rotated Tawn type 1 Copula (270 degree)
		204	Tawn type 2 Copula
		214	Rotated Tawn type 2 Copula (180 degree)
		224	Rotated Tawn type 2 Copula (90 degree)
		234	Rotated Tawn type 2 Copula (270 degree)

### Definition 2. 6. [11-13] Vine Copulas

Let  $T = U_1, U_2, \dots, U_{n-1}$  denote the regular vine for  $n$  variables, where a connected tree  $U_i$  is specified with nodes  $M_i = 1, 2, \dots, n$  and edges  $E_i$  for  $i = 2, \dots, n - 1$ . In such tree dynamics,  $U_i$  is a connected tree with nodes  $M_i = E_{i-1}$ . A vine with  $p$  variables is called a regular vine when two edges in tree  $i$  are joined by an edge in tree  $i + 1$ , exclusively when these edges serving a same node. Generally, there are totally  $n(n - 2)/2$  possible edges in a regular vine for  $n$  variables (Kurowicka and Cooke, 2006).

### Definition 2. 7. [19] Conditional Copula

Given (Kurowicka and Cooke, 2006),

$$f(y_1, y_2, \dots, y_n) = \left( \sum_{k=2}^n f(y_k | y_1, y_2, \dots, y_{k-1}) \right) f_1(y_1)$$

and for isolated values of  $i, j, i_1, \dots, i_m$  with  $i < j$  and  $i_1 < \dots < i_m$  and describe

$$c_{i,j|i_1, i_2, \dots, i_m} = c_{i,j|i_1, i_2, \dots, i_m} \left( F(y_i | y_{i_1}, \dots, y_{i_m}), F(y_j | y_{i_1}, \dots, y_{i_m}) \right) \quad (11)$$

where  $f$  and  $c$  define probability density function (pdf.) of marginals and copula density mapping, serially. Then, we can write the conditional pdf

$$f(y_k | y_1, y_2, \dots, y_{k-1}) = c_{1,k|2, \dots, k-1} f(y_k | y_2, \dots, y_{k-1}) = \sum_{q=1}^{k-2} (c_{q,k|q+1, \dots, k-1}) c_{k-1,k} f_k(y_k) \quad (12)$$

by using equation (11) and (12) writing

$$f(y_1, y_2, \dots, y_n) = \left( \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=1}^{n-j} c_{i,i+j|i+1, \dots, i+j-1} \right) \sum_{m=1}^n f_m(y_m).$$

### Definition 2. 8. [11-13] CD Vine Copula

A structure vine copula is generally specified as a trees nested set defining the pairwise copula mappings un-conditionally at the first tree and conditionally for the other connected trees. This formulation is specified as follows;

#### Definition 2. 8.1. [11-13] C Vine Copula

This is a regular type vine distribution for which a unique node exists for every tree which is attached to the rest of all other nodes of the tree. It utilizes only star like trees and it is helpful for ordering by consequences. The relative probability density function (pdf) can be specified by

$$\prod_{k=1}^n f(y_k) \prod_{j=1}^{n-1} \prod_{i=1}^{n-j} c_{j,j+i|1,\dots,j-1} \{F(y_j|y_1, \dots, y_{j-1}), F(y_{j+i}|y_1, \dots, y_{j-1})\}.$$

(13)

Definition 2. 8.2. [11-13] D Vine Copula

D-vine is also a particular case of regular-type vine tree dynamics which have no node in any tree is attached to more than two edges. It utilizes only path like trees and useful for variables temporal ordering. Its density function (pdf) can be read as;

$$\prod_{k=1}^n f(y_k) \prod_{j=1}^{n-1} \prod_{i=1}^{n-j} c_{i,i+j|i+1,\dots,i+j-1} \{F(y_i|y_{i+1}, \dots, y_{i+j-1})F(y_{i+j}|y_{i+1}, \dots, y_{i+j-1})\}. \quad (14)$$

### b) Data

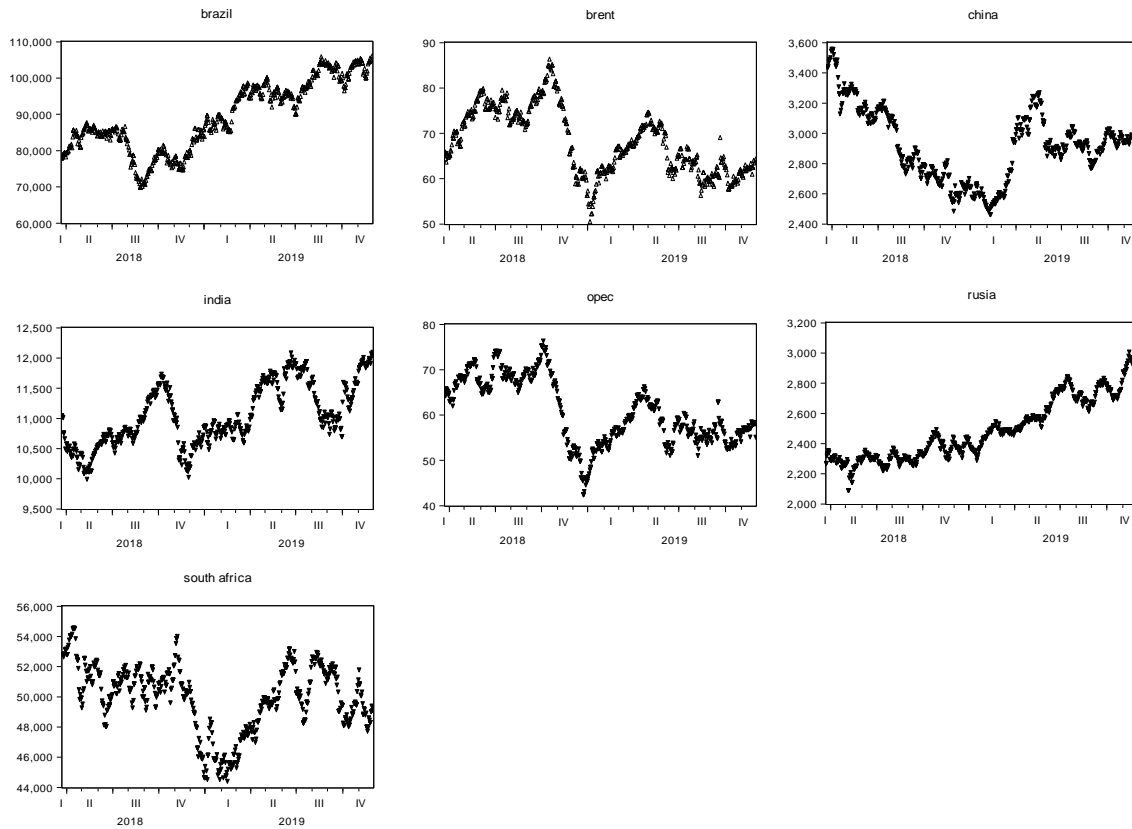
To reveal the dynamic conditional dependency structure, the dataset is taken in Pre –Sars-Cov-2 period (21.03.2018-29.11.2019) and Post –Sars-Cov-2 period (17.12.2019-19.02.2021) of Opec Oil, Brent Oil and the countries of BRICS (Russia, Brazil, China, India, and South Africa). The descriptive statistics of our data set before and after the Sars-Cov-2 pandemic are given in Table 2, Figure 1, and Figure 2. In addition, the graphs of the residual series of our data set are presented in Figure 1 and Figure 2. We obtained the dataset used in the current investigation from [www.bloomberg.com](http://www.bloomberg.com).

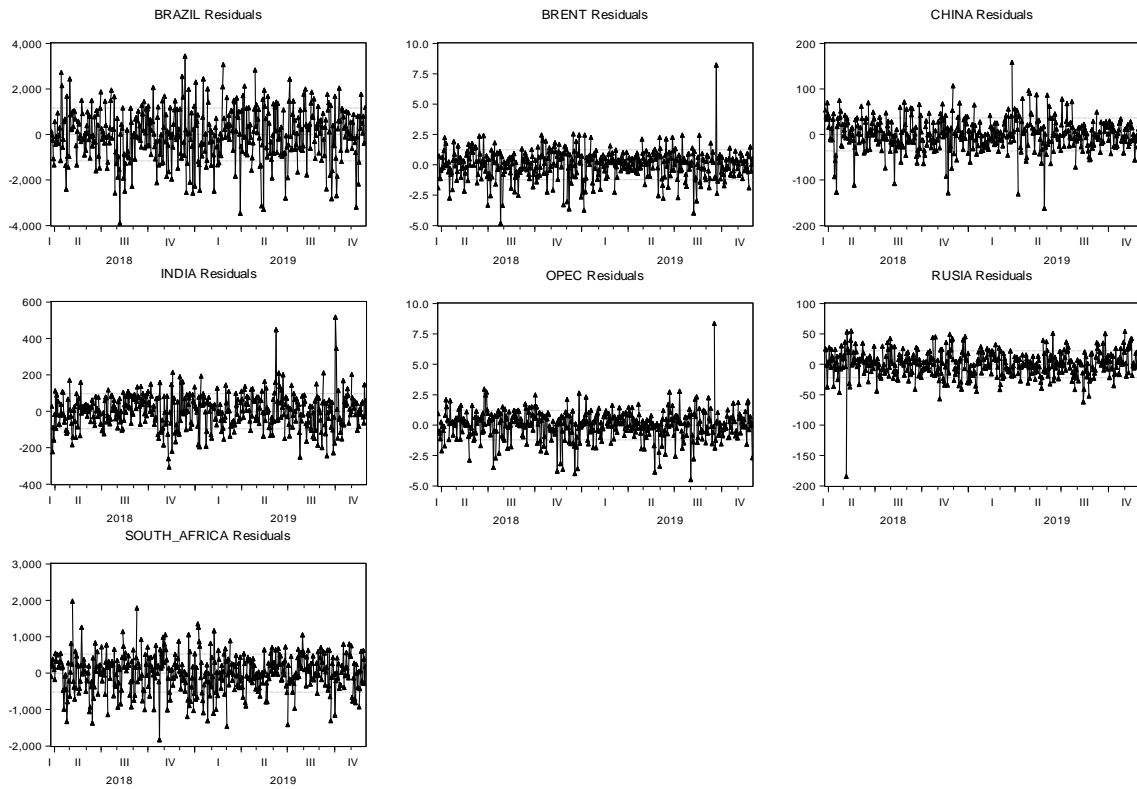
### 3. Results and Discussion

Below, we go over our findings using the technique and information above. The averages and standard deviations are very different from the descriptive statistics for Opec Oil, Brent Oil, and BRICS countries before the Sars-Cov-2 pandemic, as presented in Table 2. Brazilian standard deviation is the highest. According to the metrics of skewness, Brazil and South Africa are negative and skewed to the left, whereas Brent Oil, Opec Oil, Russia, India, and China are upbeat and skewed to the right. By examining the kurtosis coefficients, it is found that all series have values lower than three, indicating that they are of the flat type. It was discovered that the series was very different from a normal distribution. Considering Jarque Bera test statistics and probability value, the normality of each return series distribution is strongly rejected at 0.05 level, indicating that all price index distributions are non-normal. Once more, it can be shown from Table 2 that the means and standard deviations varied during the time after the Sars-Cov-2 pandemic, with Brazil having the highest standard deviation. Except for China and India, all the skewness coefficients are negative and skewed to the left. Both optimistic and biased to the right are China and India. Except for South Africa and Opec Oil, the series are flat series when looking at kurtosis coefficients because their kurtosis is smaller than three. Given that they are more significant than three, South Africa and Opec Oil are pointed series. Given the Jarque Bera test statistics and probability value, it was determined that the series was very different from a normal distribution and that the normality of each return series distribution is strongly rejected at the 0.05 level, demonstrating that all price index distributions are non-normal.

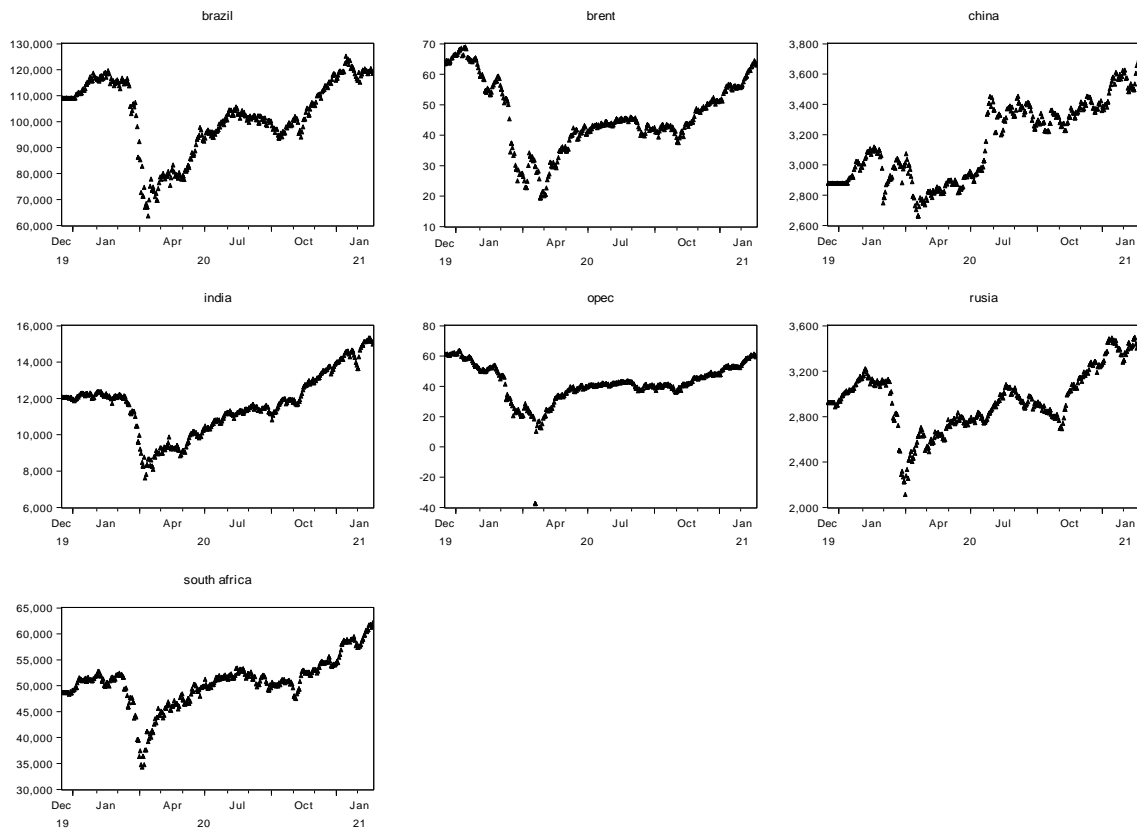
**Table 2.** Pre –SARS-COV-2 period (21.03.2018-29.11.2019) and Post –SARS-COV-2 period (17.12.2019-19.02.2021) Descriptive Statistics of Data Sets, respectively

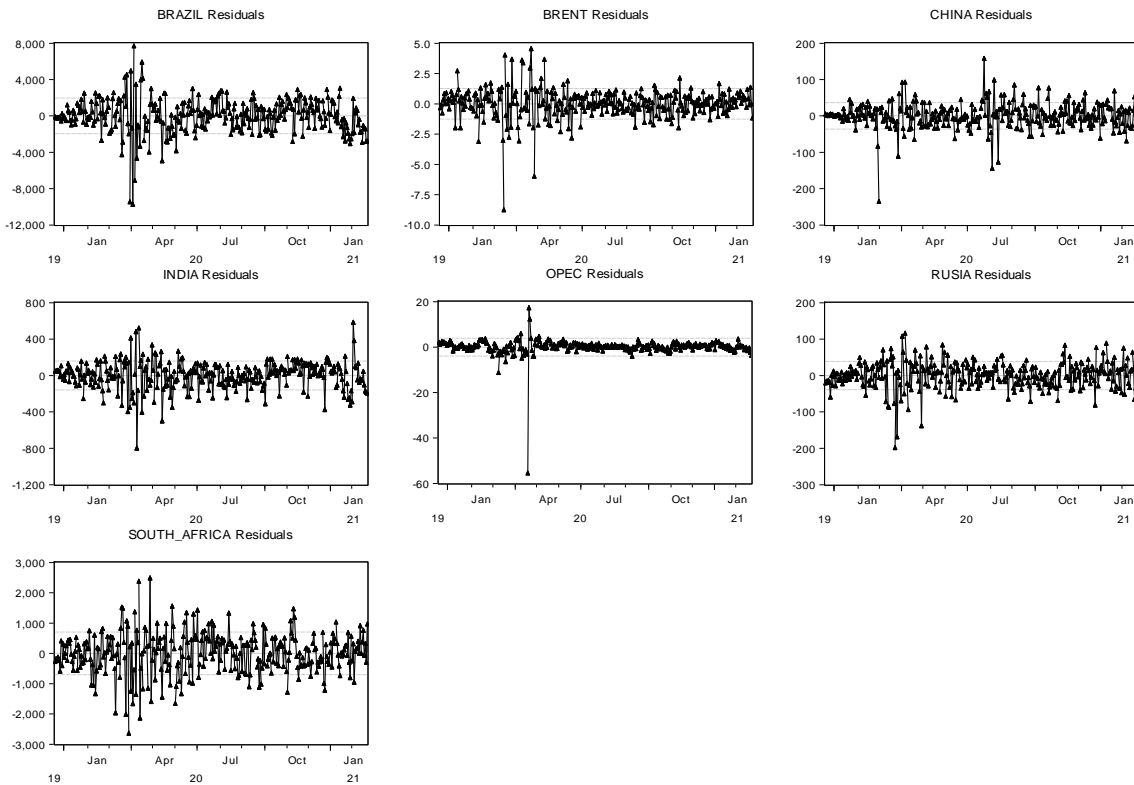
	Mean	Std. Dvt.	Skewness	Kurtosis	Jarquera Bera	Probability
Pre						
Brent Oil	68.1525	7.23516	0.200005	2.11800	17.47008	0.000161
Opec Oil	60.7308	7.23412	0.088910	2.065972	16.83753	0.000221
Russia	2491.88	202.740	0.566274	2.20348	35.70593	0.000000
India	11052.77	508.925	0.199508	2.011867	21.15095	0.000026
Brazil	89297.29	9571.289	-0.013474	1.865570	23.98262	0.000006
China	2919.921	236.9018	0.286998	2.648005	8.444065	0.000146
South Africa	49942.30	2230.204	-0.533446	2.728430	22.57362	0.000013
Post						
Brent Oil	46.14510	11.56108	-0.005896	2.477184	3.555188	0.00016
Opec Oil	42.19942	12.16889	-1.175352	8.144218	415.8543	0.00000
Russia	2943.488	271.3987	-0.116127	2.944119	0.741838	0.00069
India	11619.90	1676.943	0.055323	2.679665	1.481324	0.0047
Brazil	102106.1	14075.14	-0.642936	2.602282	23.55139	0.00000
China	3145.210	257.8289	0.106589	1.691235	22.85803	0.000011
South Africa	50559.46	4729.745	-0.527513	4.673833	50.89237	0.00000





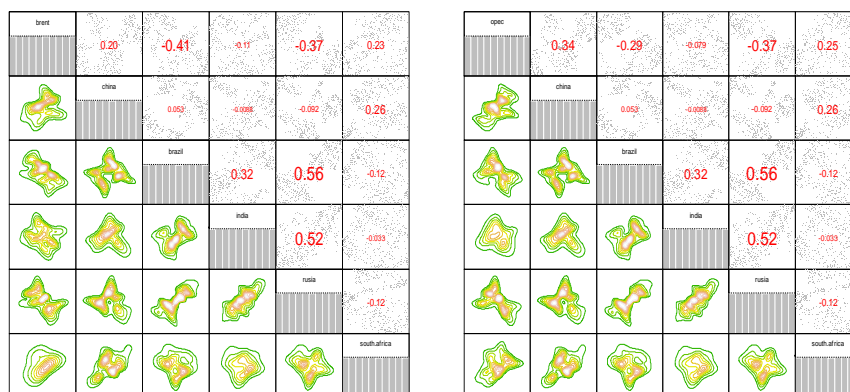
**Figure 1.** Pre –SARS-COV-2 period (21.03.2018-29.11.2019) Data Sets and Residuals, respectively



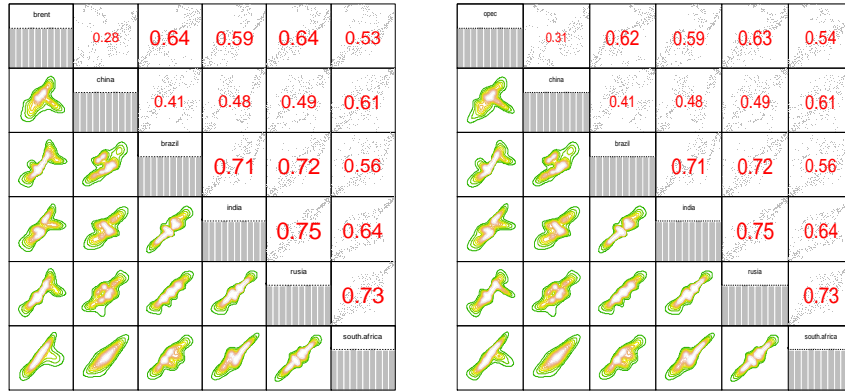


**Figure 2.** Post –SARS-COV-2 period (17.12.2019-19.02.2021) Data Sets and Residuals, respectively

In Figure 2, the correlation coefficient between Brent Oil and BRICS Countries, Opec Oil, and BRICS Countries of the data set taken before and after the Sars-Cov-2 pandemic was obtained. Again, as seen in Figure 2, before the Sars-Cov-2 pandemic, it was observed that Brent Oil and Opec Oil were negatively correlated with Brazil, India, and Russia and positively weakly associated with South Africa and China. Again, from Figure 2, after the Sars-Cov-2 pandemic, it was observed that Brent Oil and Opec Oil were positively strongly correlated with Brazil, India, Russia, and South Africa. It was observed that Brent Oil and Opec Oil was positively weakly. The Spearman Rho of Data Sets is given in Figure 3.







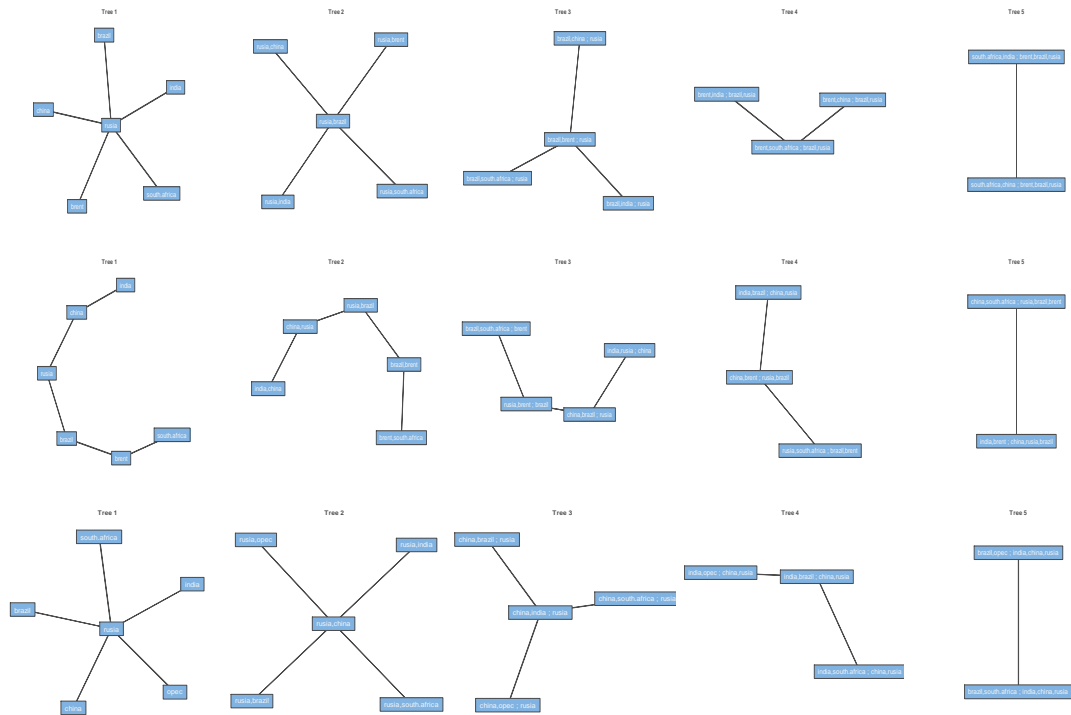
**Figure 3.** Pre –SARS-COV-2 period (21.03.2018-29.11.2019) and Post –SARS-COV-2 period (17.12.2019-19.02.2021) Spearman Rho of Data Sets, respectively

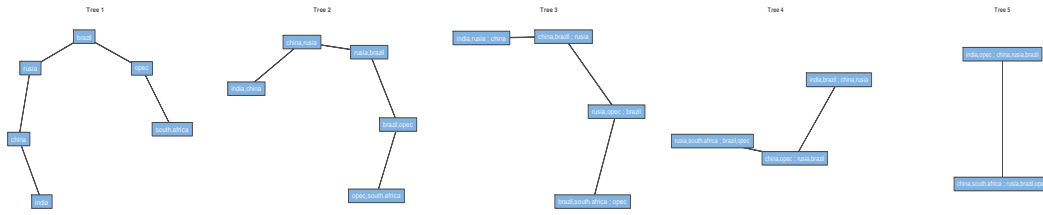
The conditional dependency structures between Brent Oil and BRICS Countries, Opec Oil, and BRICS countries before and after the Sars-Cov-2 pandemic are described in this section of our study. Before the Sars-Cov-2 pandemic, the conditional dependency structure between Brent Oil from the BRICS nations and Opec Oil from the BRICS countries is detailed in Tables 3, Table 4, and Figure 4. Copula families, copula family characteristics, and Kendall tau correlation coefficients for conditional dependency are derived in Table 3. For Brent Oil and Opec Oil, lower and upper tail dependency coefficients for copula groups consistent with C vine and D vine branching are derived in Table 3. Figure 4 shows the display of the figure for Opec Oil and Brant Oil. According to Table 5, D vine was the proper branching for Brent Oil and Opec Oil before the Sars-Cov-2 pandemic. In other words, it is concluded that the conditional dependency structure is best revealed by D vine branching and compatible copula families, copula family parameters, and Kendall tau values for the Sars-Cov-2 pre-pandemic period for Brent Oil, Opec Oil, and BRICS Countries. Copula families, copula family characteristics, and Kendall tau correlation coefficients for conditional dependency are now retrieved from Table 4. For Brent Oil and Opec Oil, lower and upper tail dependency coefficients for copula groups compatible with C vine and D vine branching are obtained in Table 4. Figure 5 depicts the figure for Brent Oil, Opec Oil, and the BRICS Countries. From Table 5, it was found that D vine was the proper branching for Brent Oil, Opec Oil, and BRICS Countries during the time following the Sars-Cov-2 pandemic. In other words, it is determined that D vine branching and compatible copula families, copula family parameters, and Kendall tau values best show the conditional dependency structure for the Sars-Cov-2 post-pandemic period for Brent Oil, Opec Oil, and BRICS Countries.

**Table 3.** Pre –SARS-COV-2 period (21.03.2018-29.11.2019), For Brent Oil and Opec Oil C and D Vine Copula

C vine Brent	pairs	copula	Par1	Par2	tau	utd	ltd
Tree1	China- Russia	C270	-0.46	0.00	-0.19	-	-
	India-Russia	SBB1	0.63	1.55	0.51	0.49	0.44
	Russia-South Africa	Tawn 90	-2.60	0.11	-0.09	-	-
	Russia-Brent	F	-3.78	0.00	-0.37	-	-
	Russia-Brazil	BB8	6.00	0.77	0.57	-	-
Tree2	Brazil, China  Russia	F	1.69	0.00	0.18	-	-
	Brazil, India  Russia	BB7270	-1.00	-0.31	-0.13	-	-
	Brazil, SAfrica  Russia	Tawn 90	-1.88	0.13	-0.10	-	-
	Brazil, Brent  Russia	C270	-0.45	0.00	-0.18	-	-
Tree3	Brent, China  Brazil, Russia	SBB8	1.90	0.92	0.26	-	-
	Brent, India  Brazil, Russia	BB8	2.27	0.83	0.26	-	-
	Brent, S.Africa  Brazil, Russia	Tawn 180	2.17	0.21	0.17	-	0.20
Tree4	S. Africa, China  Brent, Russia Brazil,	SBB7	1.39	0.27	0.26	0.08	0.36

	S. Africa, India   Brent, Brazil, Russia	Tawn	1.78	0.12	0.09	0.11	-	-
Tree5	Brazil, China	Tawn2 180	1.33	0.09	0.05	-	-	0.06
<b>D vine Brent</b>								
Tree1	Brent-S. Africa	Tawn180	2.24	0.28	0.21	-	-	-
	Brazil-Brent	F	-4.23	0.00	-0.40	-	-	0.44
	Russia-Brazil	BB8	6.00	0.77	0.57	-	-	-
	China- Russia	C90	-0.46	0.00	-0.19	-	-	-
	India-China	J90	-1.33	0.00	-0.16	-	-	-
Tree2	Brazil, S.Africa  Brent	Tawn2 90	-2.25	0.05	-0.05	-	-	-
	Russia, Brent  Brazil	Tawn 90	-1.75	0.07	-0.05	-	-	-
	China, Brazil  S.Africa	F	1.69	0.00	0.18	-	-	-
	Russia, India,   China	BB8	3.74	0.89	0.50	-	-	-
Tree3	Russia, S. Africa  Brazil, Brent	Tawn 90	-1.71	0.08	-0.06	-	-	-
	China, Brent  Russia, Brazil	SBB8	1.93	0.93	0.27	-	-	-
	India, Brazil  China, Russia	Tawn2 90	-1.77	0.29	-0.18	-	-	-
Tree4	China, S. Africa  Russia, Brazil, Brent	SBB7	1.53	0.17	0.28	0.02	0.43	-
	India, Brent   China, S. Africa, Brazil	SC	0.55	0.00	0.21	0.28	-	-
Tree5	India, S. Africa  Russia, China, Brazil, Brent	Tawn2	1.66	0.13	0.09	0.11	-	-
<b>C vine Opec</b>								
Tree1	Russia-Opec	BB8-90	-3.04	-0.85	-0.39	-	-	-
	Russia-S. Africa	Tawn 90	-2.60	0.11	-0.09	-	-	-
	Russia-Brazil	BB8	6.00	0.77	0.57	-	-	-
	Russia-India	SBB1	0.63	1.55	0.51	0.49	0.44	-
	Russia-Brazil	C270	-0.46	0.00	-0.19	-	-	-
Tree2	China, Opec  Russia	SBB8	2.00	0.93	0.28	-	-	-
	China, S. Africa  Russia	SBB7	1.53	0.18	0.28	0.02	0.43	-
	China, Brazil  Russia	F	1.69	0.00	0.18	-	-	-
	China, India  Russia	C	0.21	0.00	0.09	-	-	0.04
Tree3	India, Opec  Brazil, Russia	Tawn	1.69	0.40	0.22	0.28	-	-
	India, S. Africa  Brazil, Russia	Tawn2	2.19	0.12	0.10	0.12	-	-
	India, Brazil  Brazil, Russia	BB7-90	-1.00	-0.33	-0.14	-	-	-
Tree4	Brazil, Opec   India, China, Russia	Tawn90	-2.74	0.11	-0.10	-	-	-
	Brazil, S. Africa   India, Brent, Russia	F	-1.56	0.00	-0.17	-	-	-
Tree5	S. Africa, Opec  India, Brazil, China, Russia	Tawn2 180	2.57	0.11	0.10	-	-	0.11
<b>D vine Opec</b>								
Tree1	Opec-S. Africa	Tawn 180	2.82	0.23	0.20	-	-	0.22
	Brazil-Brent	BB8 90	-3.49	-0.66	-0.30	-	-	-
	Russia-Brazil	BB8	6.00	0.77	0.57	-	-	-
	China- Russia	C90	-0.46	0.00	0.19	-	-	-
	India-China	J90	-1.33	0.00	-0.16	-	-	-
Tree2	Brazil, S.Africa  Opec	N	-0.02	0.00	-0.02	-	-	-
	Russia, Opec  Brazil	Tawn 90	-1.81	0.34	-0.21	-	-	-
	China, Brazil  Russia	F	1.69	0.00	0.18	-	-	-
	India, Russia  China	BB8	3.74	0.89	0.50	-	-	-
Tree3	Russia, S. Africa  Brazil, Opec	Tawn 270	-3.52	0.02	-0.02	-	-	-
	China, Opec  Russia, Brazil	SBB8	2.99	0.83	0.37	-	-	-
	India, Brazil  China, Russia	Tawn2 90	-1.77	0.29	-0.18	-	-	-
Tree4	China, S. Africa  Russia, Brazil, Opec	BB7	1.19	0.68	0.31	0.21	0.36	-
	India, Opec   China, Russia, Brazil	G	1.28	0.00	0.22	0.28	-	-
Tree5	India, S. Africa   China, Russia, Brazil, Opec	Tawn 2	1.51	0.11	0.07	0.08	-	-

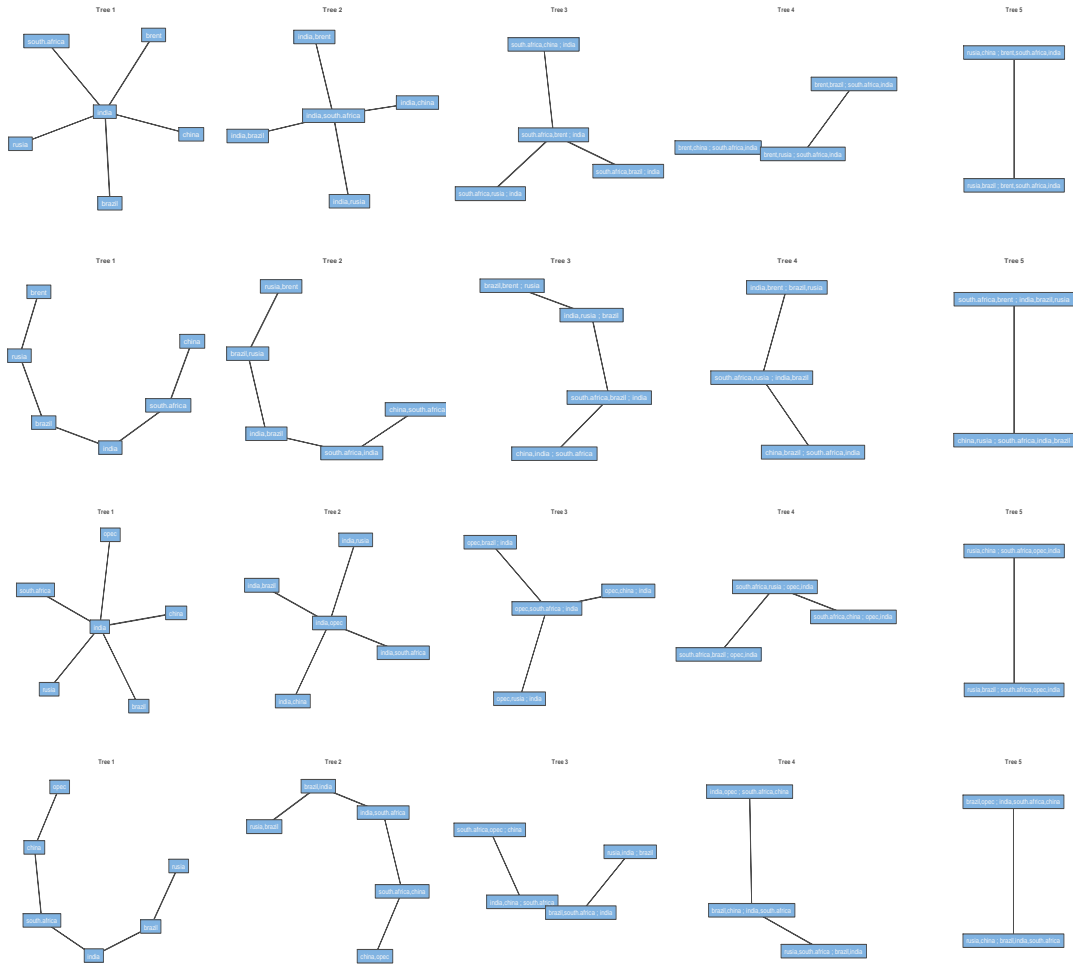




**Figure 4.** Pre –SARS-COV-2 period (21.03.2018-29.11.2019), For Brent Oil and Opec Oil C and D Vine Copula, respectively

**Table 4.** Post –SARS-COV-2 period (17.12.2019-19.02.2021), for Brent Oil and Opec Oil C and D Vine Copula

C vine Brent	pairs	copula	Par1	Par2	tau	utd	ld
Tree1	India-China	SBB7	1.81	1.28	0.51	0.58	0.53
	India -Brazil	SG	3.46	0.00	0.71	-	0.78
	India -Russia	BB8	6.00	0.95	0.69	-	-
	India-Brent	SBB8	5.68	0.79	0.57	-	-
	India –S. Africa	SBB7	2.26	3.39	0.67	0.81	0.64
Tree2	S.Africa, China  India	BB8	3.06	0.81	0.36	-	-
	S.Africa, Brazil  India	BB8	1.48	0.78	0.09	-	-
	S.Africa, Russia  India	SG	1.69	0.00	0.41	-	0.49
	S.Africa, Brent  India	Tawn 180	2.57	0.31	0.24	-	0.29
Tree3	Brent, China  S.Africa, India	BB8 270	-3.96	-0.60	-0.30	-	-
	Brent, Russia S.Africa, India	SBB8	2.12	0.92	0.30	-	-
	Brent S.Africa  S.Africa, India	SBB8	1.95	0.89	0.24	-	-
Tree4	Russia, China  Brent,S.Africa, India	SC	0.08	0.00	0.04	0.00	-
	Russia, Brazil  Brent, S.Africa, India	G	1.45	0.00	0.31	0.39	-
Tree5	Brazil, China  Russia, Brent, S.Africa, India	F	0.55	0.00	0.06	-	-
D vine Brent							
Tree1	Rusia-Brent	SBB8	5.84	0.89	0.65	-	-
	Brazil-Rusia	F	12.06	0.00	0.71	-	-
	India-Brazil	SG	3.46	0.00	0.71	-	0.78
	S.Africa- India	SBB7	2.26	3.39	0.67	0.81	0.64
	China-S.Africa	G	2.52	0.00	0.60	0.68	-
Tree2	Brazil, Brent  Russia	Tawn2 180	2.04	0.55	0.33	-	0.41
	India, Russia  Brazil	G	1.59	0.00	0.37	0.45	-
	S.Africa, Brazil  India	BB8	1.48	0.78	0.09	-	-
	China, Brazil  S.Africa	F	0.46	0.00	0.05	-	-
Tree3	India, Brent  Brazil, Russia	Tawn	1.49	0.07	0.05	0.06	-
	S.Africa, Russia  India, Brazil	SBB8	4.38	0.84	0.52	-	-
	China,Brazil  S.Africa, India	C270	-0.03	0.00	-0.01	-	-
Tree4	S. Africa, Brent  India, Brazil, Russia	F	0.41	0.00	0.05	-	-
	China, Russia  S.Africa, India, Brazil	C90	-0.12	0.00	-0.05	-	-
Tree5	China, Brent  S.Africa, India, Brazil, Russia	F	-1.77	0.00	-0.19	-	-
C vine Opec							
Tree1	India-China	SBB7	1.81	1.28	0.51	0.58	0.53
	India -Brazil	SG	3.46	0.00	0.71	-	0.78
	India -Russia	BB8	6.00	0.95	0.69	-	-
	India –S.Africa	SBB7	2.26	3.39	0.67	0.81	0.64
	India -Opec	SBB8	6.00	0.77	0.58	-	-
Tree2	Opec, China  India	J270	-1.28	0.00	-0.14	-	-
	Opec, Brazil  India	Tawn 180	1.78	0.34	0.21	-	0.26
	Opec, Russia  India	SJ	1.51	0.00	0.22	-	0.42
	Opec, S.Africa  India	Tawn2 180	2.09	0.29	0.21	-	0.26
Tree3	S.Africa,China  Opec, India	BB8	2.64	0.87	0.35	-	-
	S.Africa, Brazil  Opec, India	Tawn2	1.53	0.15	0.09	0.12	-
	S.Africa, Russia  Opec, India	SG	1.61	0.00	0.38	-	0.46
Tree4	Russia,China  S.Africa, Opec, India	N	-0.02	0.00	-0.01	-	-
	Russia, Brazil  S.Africa, Opec, India	G	1.53	0.00	0.35	0.43	-
Tree5	Brazil, China  Russia S.Africa, Opec, India	J	1.05	0.00	0.03	0.07	-
D vine Opec							
Tree1	China-Opec	Tawn2	2.69	0.43	0.33	0.40	-
	S.Africa-China	G	2.52	0.00	0.60	0.68	-
	India-S.Africa	SBB7	2.26	3.39	0.67	0.81	0.64
	Brazil- India	SG	3.46	0.00	0.71	-	0.78
	Russia-Brazil	F	12.06	0.00	0.71	-	-
Tree2	S.Africa, Opec   China	SBB8	5.01	0.75	0.50	-	-
	India, China  S.Africa	F	0.46	0.00	0.05	-	-
	Brazil, S.Africa  India	BB8	1.48	0.78	0.09	-	-
	Russia, India  Brazil	G	1.59	0.00	0.37	0.45	-
Tree3	India,Opec S.Africa, China	BB8	2.26	0.94	0.35	-	-
	Brazil, China  India, S.Africa	C90	-0.03	0.00	-0.01	-	-
	Russia, S.Africa  Brazil, India	SBB8	4.38	0.84	0.52	-	-
Tree4	Brazil, Opec  India,S.Africa,China	SBB8	1.75	0.79	0.15	-	-
	Russia, China  Brazil, India, S.Africa	C270	-0.12	0.00	-0.05	-	-
Tree5	Russia, Opec  Brazil, India, S.Africa, China	F	0.75	0.00	0.08	-	-



**Figure 5.** Post –SARS-COV-2 period (17.12.2019-19.02.2021), For Brent Oil and Opec Oil C and D Vine Copula, respectively

**Table 5.** Pre –SARS-COV-2 period (21.03.2018-29.11.2019) and Post –SARS-COV-2 period (17.12.2019-19.02.2021) Comparison of the C-vine and D-vine, respectively.

	C vine		D vine	
Brent Oil	Pre	Post	Pre	Post
Loglike	761.45	1349.59	780.21	1357.47
AIC	-1470.9	-2649.17	-1510.42	-2672.94
BIC	-1364.23	-2555.6	-1407.86	2594.34
<b>Opec Oil</b>				
Loglike	800.87	1307.75	809.07	1330.45
AIC	-1549.74	-2569.5	-1568.15	-2616.89
BIC	-1443.07	-2483.41	-1465.59	-2534.55

#### 4. Conclusions

This article explored the dependence structure of Oil Prices and BRICS Stocks Markets before and after the SAR-CoV-2 epidemic. We have used the CD-vine copula approach to demonstrate the structure of the date of conditional dependencies of the Oil Prices and BRICS Stock Markets. The proposed CD-vine approach has provided convenience in obtaining the complex dependency structure.

We have plotted several graphs and provided tables to present the dependency structure. The given study is critical and valuable worldwide.

### **Data availability**

The datasets generated during the current study are available in [www.bloomberg.com](http://www.bloomberg.com).

### **Acknowledgements**

This work was supported by Scientific Research Projects Coordination Unit of Bitlis Eren University. Project number: BEBAP 2021.16

### **Conflict of Interest**

The article authors declare that there is no conflict of interest between them.

### **Author's Contributions**

The contribution of the authors is equal.

### **References**

- Aloui R., Aïssa MSB. Relationship between oil, stock prices, and exchange rates: A vine copula based GARCH method. *The North American Journal of Economics and Finance* 2016; 37: 458-471.
- Chaiboonsri C., Singvejsakul J. The dynamics co-movement toward and the pattern of relation among stock market in world exchanges during the period 2000~2016: CD vine Copula Approach. *International Journal of Intelligent Technologies and Applied Statistics* 2017; 10: 115-128.
- Chokethaworn K., Chaitip P., Sriwichailamphan T., Chaiboonsri C. The dependence structure and co-movement toward between Thai's currency and Malaysian's currency: Markov Switching Model in Dynamic Copula Approach (MSDC). *Procedia Economics and Finance* 2013; 5: 152-161.
- Dißmann J., Brechmann EC., Czado C., Kurowicka D. Selecting and estimating regular vine copulae and application to financial returns. *Computational Statistics and Data Analysis* 2013; 59: 52-69.
- Gong XL., Liu XH., Xiong X. Measuring tail risk with GAS time varying copula, fat tailed GARCH model and hedging for crude oil futures. *Pacific-Basin Finance Journal* 2019; 55: 95-109.
- Haibin, N. BRICS in global governance: A progressive force?. Friedrich-Ebert-Stiftung, Global Policy and Development 2012.
- Hikmah IR., Saefuddin A., Mangku IW. Identification of dependent structure and prediction of composite stock price index with CD vine copula approach. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 2017; 8: 249-252.
- Kurowicka D., Cooke R. Uncertainty analysis with high dimensional dependence modelling. John Wiley and Sons; 2006.

- Mensi W., Boubaker FZ., Al-Yahyaee KH., Kang SH. Dynamic volatility spillovers and connectedness between global, regional, and GIPSI stock markets. *Finance Research Letters* 2018; 25: 230-238.
- Mohammed M., Barrales-Ruiz J. Pandemics and oil shocks. *Oil and The Macroeconomy Working Paper* 2020; 2022-03.
- O'Neill J. 2001. Building Better Global Economic BRICS. *Global Economics Paper No 66*, Goldman Sachs. Available from: <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/archive/building-better.html>.
- Sadorsky P. Oil price shocks and stock market activity. *Energy Economics* 1999; 21: 449-469.
- Shchetinin EY. Vine copulas structures modeling on Russian stock market. *Discrete and Continuous Models and Applied Computational Science* 2019; 27: 343-354.
- Sklar. M. Fonctions de répartition à N dimensions et leurs marges. *Annales de l'ISUP* 1959; 8: 229-231.
- Sriboonchitta S., Chaiboonsri C. The dynamics Co-movement toward among capital markets in aSEAN exchanges: CD vine copula approach. *Procedia Economics and Finance* 2013; 5: 696-702.
- Tachibana M. Relationship between stock and currency markets conditional on the US stock returns: A vine copula approach. *Journal of Multinational Financial Management* 2018; 46: 75-106.
- Vandemoortele M., Bird K., Du Toit A., Liu M., Sen K., Soares FV. Building blocks for equitable growth: lessons from the BRICS-ODI Working Papers 365-Discussion papers 2013.

## Does Increasing Number of Livestock Affect Climate Change? Evidence from Türkiye

Burcu ERDAL<sup>1\*</sup>, Tolga TIPI<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Bursa Uludag University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, 16050, Bursa

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-6839-913X>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-1090-3639>

\*Corresponding author: berdal@uludag.edu.tr

### Research Article

#### Article History:

Received: 20.02.2023

Accepted: 09.08.2023

Published online: 22. 01.2024

#### Keywords:

Agriculture

Livestock

Climate change

ARDL

Türkiye

### ABSTRACT

The Agricultural Sector is one of the sectors that cause the most significant greenhouse gas emissions due to using fertilizers, agricultural mechanization, paddy cultivation, and especially animal husbandry. Although the agricultural sector causes climate change, it is one of the sectors most affected by climate change. Reducing greenhouse gas emissions from agricultural production is essential for the sustainability of agriculture and the food security of people. This study analyzes long and short-term cointegration between agricultural greenhouse gas emissions and livestock activities in Türkiye using data covering 1990-2019. According to the analysis results, using the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) bound testing method, a positive and statistically significant relationship was found between the number of cattle, bovine animals, poultry, and CO<sub>2</sub> emissions. In the long run, a 1% increase in the number of bovine animals (BA), sheep and goats (SG), and poultry (P) in Türkiye will increase CO<sub>2</sub> emissions by 0.87, 0.09, and 0.09%, respectively. In the short term, only a positive and significant relationship was found between the number of bovine animals and CO<sub>2</sub> emissions. These results reveal that policymakers should evaluate people's efforts to increase animal production to ensure food security and policies to reduce greenhouse gas emissions.

## Hayvan Sayısında Artış İklim Değişikliğini Etkiler mi? Türkiye Örneği

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 20.02.2023

Kabul tarihi: 09.08.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Tarım

Hayvancılık

İklim değişikliği

ARDL

Türkiye

### ÖZ

Tarım sektörü; gübre kullanımı, tarımsal mekanizasyon, çeltik yetiştiriciliği ve özellikle hayvancılık nedeniyle en önemli sera gazı salınımına neden olan sektörlerden birisidir. Tarım sektörü iklim değişikliğine neden olmakla birlikte iklim değişikliğinden en çok etkilenen sektörlerin başında gelmektedir. Tarımsal üretimden kaynaklı sera gazı salınımının azaltılması tarımın sürdürülebilirliği ve insanların gıda güvenliği açısından önemlidir. Bu çalışmada Türkiye'de tarımsal sera gazı emisyonu ile hayvancılık faaliyeti arasında uzun ve kısa dönemli eşbütünleşme, 1990-2019 yıllarını kapsayan veriler kullanılarak analiz edilmiştir. Ayrıca, doğrudan hayvancılık faaliyetinden kaynaklı sera gazı emisyonlarını azaltma stratejileri tartışılmıştır. Autoregressive Distributed Lag (ARDL) bound testing yöntemi kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına göre, büyükbaş hayvan sayısı, küçükbaş hayvan sayısı ve kümes hayvanları sayısı ile CO<sub>2</sub> salınımı arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Uzun dönemde, büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanı sayısında meydana gelecek %1'lik bir artış

CO<sub>2</sub> salınımında, sırasıyla %0.87, %0.09 ve %0.09'lük bir artışa neden olmaktadır. Kısa dönemde ise sadece büyükbaş hayvan sayısı ile CO<sub>2</sub> salınımı arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, insanların gıda güvencesi sağlamak için hayvansal üretimi artırma çabalarını sera gazı salınımını azaltacak politikalar ile birlikte değerlendirmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

**To Cite:** Erdal B., Tipi T. Does Increasing Number of Livestock Affect Climate Change? Evidence from Türkiye. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(1): 110-124.

## 1. Introduction

Global warming and the resulting climate changes are important problems that closely concern all countries in terms of their effects and consequences. The main reason for global warming is seen as the increase of greenhouse gas (GHG) concentration in the atmosphere above the required level due to economic activities.

The agriculture sector is among the main sectors affected by climate change. Agriculture has an important place especially in the economies of developing countries in terms of national income, employment, foreign trade, and agriculture-based industry. Also, the agricultural sector is very important in terms of food security, as it is a sector that produces essential foodstuffs for people.

Climate change changes crop yield and amount, production cost, agricultural losses, harvest time, grazing efficiency in terms of meadows and pastures. In animal production, on the other hand, it affects animal deaths, feed consumption rate, live weight gain, milk production, pregnancy rate, and therefore production costs.

The livestock sector undergoes considerable negative climate effects in animal productivity, yields of forage and feed crops, animal health and reproduction, and biodiversity. Climate change weakens food security, nutrition, poverty reduction, and sustainability (FAOFAO, 2017a).

The agricultural sector is both affected by climate change caused by greenhouse gas emissions and agricultural activities that cause greenhouse gas emissions. On the one hand, it is a dilemma to engage in agricultural production with the use of more inputs to ensure food security, and on the other hand, to endanger food security by increasing climate change through greenhouse gas emissions.

Food security is defined as people's continuous physical and economic access to sufficient, healthy, safe, and nutritious food to meet their nutritional needs for a healthy life. There are four dimensions of food security and these four dimensions must be provided simultaneously for food security: These are food availability, access to food, food utilization, and stability of food supplies. Climate change weakens the four dimensions of food security in different ways (FAOFAO, 2017a).

Due to the loss of yield in plant and animal production, food availability will be endangered, and while the global food demand will increase, it will cause an increase in international food prices. Climate change will create problems in terms of food access by affecting the purchasing power of consumers, especially poor people. Climate change affects food utilization with its impact on food safety. Often, climate change reduces food security due to the rise of foodborne diseases. In terms of stability of food supplies, food and nutrition security worsens as agricultural production is negatively affected as a



result of the frequency and increase of climate-related events (excessive precipitation, drought, flood, etc.). Climate change is directly affecting the diet of millions of people, undermining current efforts to address malnutrition and hitting the poor most, especially women and children.

The agricultural sector is considered an important source of GHG emissions because agricultural techniques are not sustainable enough to improve productivity and enhance food security. Therefore, the agriculture sector has responsibilities toward reducing its greenhouse gas emissions while ensuring food security.

Effects of climate change are observed by the concentration of GHG for many sectors including agriculture which generally comes second in size after the energy sector. GHGs such as carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) are counted among the causes of climate change as a result of agricultural activities. When all sectors are considered in general, the most problematic greenhouse gas is CO<sub>2</sub>. In terms of the agricultural sector, on the other hand, CH<sub>4</sub> in animal production and N<sub>2</sub>O in plant production are the most important greenhouse gases. The energy used during agricultural activities and the processing and transportation of agricultural products is the main source of CO<sub>2</sub> emissions.

Agricultural greenhouse gas emission sources can be listed as enteric fermentation, manure management, rice cultivation, synthetic fertilizers, manure applied to soil, manure left on pasture, crop residues, burning-crop residues, drained organic soils, and energy use.

It is possible to observe that enteric fermentation (39.8%) originating from animal husbandry ranks first among agricultural greenhouse gas emissions in the world. It is followed by manure left on the pasture (15.5%), chemical fertilizer consumption (12.2%), rice cultivation (10.2%), and manure management (6.8%) (FAO, 2021). Enteric fermentation and manure left on the pasture in the first two ranks show that the livestock sector is the most important source of agricultural greenhouse gas emissions.

The total emission value calculated for agriculture is 68 million tonnes (Mt) CO<sub>2</sub> equivalent for the year 2019 which is 13.4% of all emissions in Türkiye. The overall emission value for agriculture increased 47.7% during the 30 years after 1990. The biggest increase among categories for the emissions is observed in the enteric fermentation category, where the emissions increased by around 49% for the same period. Emissions for rice cultivation increased by around 162.6% whereas the emissions for field burning of agricultural residues decreased by 52.5% between 1990 and 2019 (TURKSTATTurkstat, 2021).

Furthermore, the biggest category in agriculture is enteric fermentation with a 49.1% share for 2019. Manure management's share shows a more stable increasing trend, starting from 11.8% in 1990 and reaching 13% in 2018 before falling back to 12.6% in 2019 while having an average of 12.1% for all years. For 2019, the remaining categories, which are rice cultivation, field burning of agricultural residuals, and urea application, had emission shares of 0.4%, 0.2%, and 1.9%, respectively (TURKSTATTurkstat, 2021).

Türkiye is increasing its number of animals to ensure animal food security of its population, however, GHG emissions are increasing every year due to the increase in its production level. The main objective of this study is to examine the short and long-run cointegration between climate change and livestock numbers in Türkiye over the period 1990 to 2019. Therefore, this study focuses on the following questions: a) Does Türkiye's increasing livestock number have a positive (or negative) impact on its CO<sub>2</sub> emissions? b) Which of the bovine animals, sheep and goats, and poultry has taken as variables in the study cause more CO<sub>2</sub> emissions?

This study also aims to recommend policies to reduce the impact of livestock on environmental pollution in Türkiye. On 11 December 2019, the European Union adopted the European Green Deal as a strategy for transforming the economy into a resource-efficient and competitive economy to combat climate change and that strategy will ensure that there are no net greenhouse gas emissions until 2050, economic growth will be decoupled from resource use, and no person and no place will be left behind. Türkiye strives to adapt to this strategy of the EU, which is the most important trade and investment partner. Also, at a time when Türkiye has just approved the Paris agreement dated November 4, 2016, there is a need for policies to reduce greenhouse gas emissions in the agricultural sector, as in every sector.

## **2. Methodology**

In this study, An Autoregressive Distributed Lag (ARDL) model was used to determine the effect of the number of bovine animals, sheep and goats, and the number of poultry in the short and long term on CO<sub>2</sub> emissions and therefore climate change.

In order to determine the effect of bovine animals, sheep-goats and poultry on agricultural GHG emissions, the time series covering the years 1990-2019 was taken from the Turkish Statistical Institute (TURKSTAT) database. GHG emissions are calculated by TURKSTAT using the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines. As the dependent variable, CO<sub>2</sub> emission, which is an indicator of environmental pollution and climate change, was used. CO<sub>2</sub> emission values represent the total equivalent of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O gases resulting from enteric fermentation, manure management, rice cultivation, synthetic fertilizers, manure applied to soil, manure left on pasture, crop residues, burning-crop residues, drained organic soils and energy use.

While CO<sub>2</sub> was used as the dependent variable, three variables were used as independent variables: the number of bovine animals (BA), the number of sheep and goats (SG), and the number of poultry (P) (Table 1).

Table 1. Description of the variables used in this study

Variables	Units	Descriptions	Data Sources
CO <sub>2</sub>	Million tonnes	CO <sub>2</sub> equivalent emissions by agriculture	TURKSTAT (a)
BA	Head	Number of Bovine Animals (cattle and buffaloes)	TURKSTAT (b)
SG	Head	Number of sheep and goats	TURKSTAT (b)
P	Head	Number of poultry (laying hens and broilers)	TURKSTAT (b)

The equation used to determine the effect of the number of animals on climate change was created as in Eq. (1).

$$CO_2 = f(BA, SG, P) \quad (1)$$

The model in Eq (1) was rewritten and converted into the linear-logarithmic form (Eq.2).

$$\ln CO_{2t} = \beta_0 + \beta_1 \ln BA_t + \beta_2 \ln SG_t + \beta_3 \ln P_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

where  $\ln CO_{2t}$  is the transformation of CO<sub>2</sub> emissions into the logarithmic form and  $\ln BA_t$ ,  $\ln SG_t$  and  $\ln P_t$  are the logarithmic transformations of the selected independent variables in year t,  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  and  $\beta_3$  represent the long-run elasticities, and  $\varepsilon_t$  is the error term.

Time series approach was used as an econometric method in the study. In the research, firstly, logarithms of the series were taken to avoid fluctuations in the time series. Then, unit root tests were performed to test the stationarity of the time series. For this, Augmented Dickey-Fuller (ADF) and Philips-Perron (PP) unit root tests were used. After testing the stationarity, ARDL bounds test approach was used to investigate the existence and direction of the relationship between the series.

Tests such as Engle-Granger (1987) and Johansen (1988) are frequently used in the literature to test the concept of cointegration, which states that there is a stationary combination of at least two series that are not stationary at their levels. In these cointegration tests, there is an assumption that the series of which the cointegration relationship is examined are equally stationary. This prerequisite has become a situation that is not sought with the bounds test approach to cointegration analysis, which has been brought in the literature by Pesaran & Smith (1998) and Pesaran et al. (2001). Advantages of the bounds testing approach are: a) It is possible to apply the bounds test regardless of whether the variables to be used in the model are I(0) or I(1). For this reason, there is no need to determine the stationarity levels of the variables before applying the bounds test. However, since the critical values in the study of Pesaran et al. (2001) are tabulated according to whether the variables are I(0) or I(1), the variables should be tested against the possibility of being I(2). b) Since the unrestricted error correction model is used in the ARDL approach, it has better statistical properties than the Engle-Granger test and gives more reliable results in small samples than the Johansen and Engle-Granger tests (Narayan, 2004). c) it simultaneously provides both short- and long-term estimates.

ARDL bounds test approach consists of 3 stages. While testing whether there is a long-term relationship between the relevant variables in the first stage, long-term and short-term elasticities are

obtained in the second and third stages, respectively, under the condition of the existence of a cointegration relationship (Narayan & Smyth 2006).

The ARDL regression analysis model employed can be specified as follows:

$$\Delta \ln(\text{CO}_2)_t = \beta_0 + \sum_{k=1}^n \beta_{1k} \Delta \ln(\text{CO}_2)_{t-k} + \sum_{k=0}^n \beta_{2k} \Delta \ln \text{BA}_{t-k} + \sum_{k=0}^n \beta_{3k} \Delta \ln \text{SG}_{t-k} + \sum_{k=0}^n \beta_{4k} \Delta \ln \text{P}_{t-k} + \beta_5 \ln(\text{CO}_2)_{t-1} + \beta_6 \ln \text{BA}_{t-1} + \beta_7 \ln \text{SG}_{t-1} + \beta_8 \ln \text{P}_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3)$$

In this model,  $\Delta$  refers to the difference processor,  $\beta$  and  $n$  refer to the intercept term and the lag lengths, respectively, whereas  $\varepsilon_t$  is serially independent random errors with zero mean and constant variance (Eq.3). The optimal lags of the ARDL model are chosen based on the information criteria such as Schwarz information criteria or Akaike information criteria.

The ARDL bound test offers the possibility to test the cointegration between variables, based on F-test on the joint null hypothesis.  $H_0$  hypothesis shows that there is no cointegration between variables while the  $H_1$  alternative hypothesis indicates the existence of co-integration.

$$H_0: \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8$$

$$H_1: \beta_5 \neq \beta_6 \neq \beta_7 \neq \beta_8$$

The null hypothesis is rejected in the case when the calculated F value is greater than upper critical bound while accepted when it is lower than the lower critical bound regardless of the integrated order  $I(0)$  or  $I(1)$ . After it is understood that the model has a cointegration relationship, long-term and short-term models are formed.

Following equations, the short and long-run coefficients of ARDL model can be computed after the determination of long-term relationship among the variables. The long-term ARDL model used in this study is as follows (Eq.4).

$$\ln(\text{CO}_2)_t = \beta_0 + \sum_{k=1}^n \beta_{1k} \ln(\text{CO}_2)_{t-k} + \sum_{k=0}^n \beta_{2k} \ln \text{BA}_{t-k} + \sum_{k=0}^n \beta_{3k} \ln \text{SG}_{t-k} + \sum_{k=0}^n \beta_{4k} \ln \text{P}_{t-k} + \varepsilon_t \quad (4)$$

An error correction model based on ARDL is used to determine short-term relationships between variables.

$$\Delta \ln(\text{CO}_2)_t = \beta_0 + \sum_{k=1}^n \beta_{1k} \Delta \ln(\text{CO}_2)_{t-k} + \sum_{k=0}^n \beta_{2k} \Delta \ln \text{BA}_{t-k} + \sum_{k=0}^n \beta_{3k} \Delta \ln \text{SG}_{t-k} + \sum_{k=0}^n \beta_{4k} \Delta \ln \text{P}_{t-k} + \beta_5 \text{ECT}_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5)$$

The Error Correction Term (ECT) in Eq.(5) shows how quickly disequilibrium between the short-term and long-term values of the dependent variable is eliminated in each period.

### 3. Results and Discussion

The descriptive statistics for the data used in this study are seen in Table 2. The descriptive statistics show the variables' mean, median, maximum and minimum values and standard deviations for 30 observations.

Table 2. Descriptive statistics of variables

	CO <sub>2</sub>	Bovine Animals (BA)	Sheep and Goats (SG)	Poultry (P)
Unit	Million tonnes	Head	Head	Head
Mean	47.804	12 203 437	38 736 919	244 793 042
Median	44.585	11 583 000	38 269 898	245 028 350
Max	68.020	17 688 139	51 530 000	353 561 499
Min	37.610	9 788 102	26 877 793	96 676 000
Std.Dev.	7.9704	2 057 268	7 117 486	70 561 043
Observations	30	30	30	30

The trend of all the variables after the logarithmic transformation was applied is seen in Figure 1. As can be seen from the figure, there is a significant increase in agricultural CO<sub>2</sub> emissions, especially after 2002. In parallel with this, a significant increase was observed in the number of both BA and SG (Figure 1).

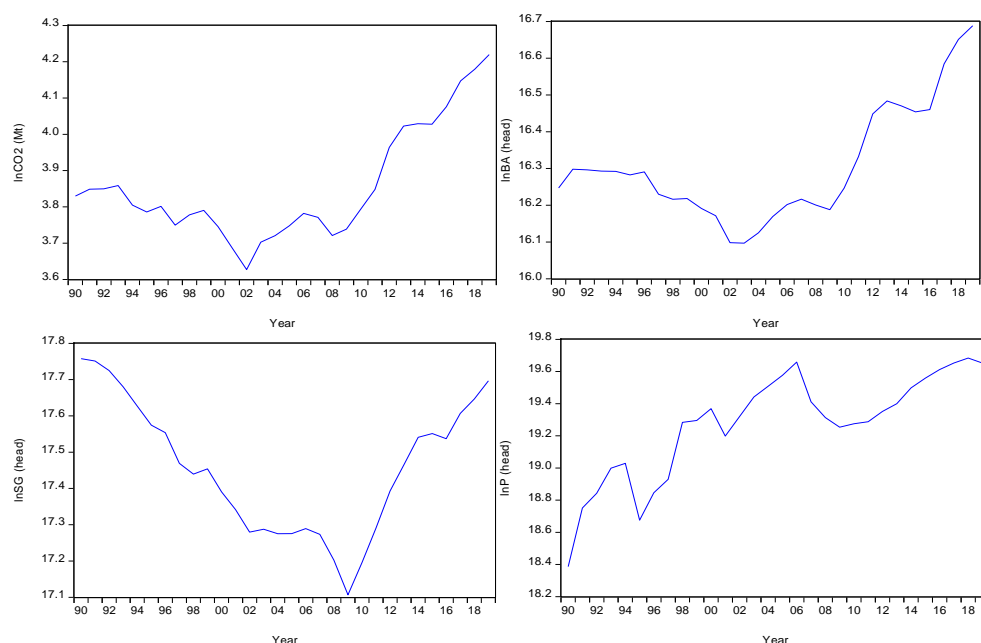


Figure 1- The trend of variables.

In the analyses performed on time series, the non-stationarity of the series leads to obtaining unreliable results among the variables. For this reason, Augmented Dickey–Fuller (ADF) and Phillips–Perron (PP) unit root tests, which are the most widely used methods to test the stationarity properties of the series, were used. Table 3 shows the results of the ADF and PP unit root tests.

Table 3. Results of Unit root test

	ADF at Level		ADF at First Difference		PP at Level		PP at First Difference	
	<i>t-stat</i>	<i>p value</i>	<i>t-stat</i>	<i>p value</i>	<i>t-stat</i>	<i>p value</i>	<i>t-stat</i>	<i>p value</i>
<b>Intercept</b>								
lnCO <sub>2</sub>	1.2449	0.9977	-3.3377**	0.0226	1.2449	0.9977	-3.3377**	0.0226
lnBA	-2.6539	0.0979	-0.6859	0.8321	0.8055	0.9924	-2.9723**	0.0499
lnSG	-1.6283	0.4554	-2.5525	0.1146	-1.4328	0.5525	-2.5466	0.1158
lnP	-2.7617	0.0763	-5.4531***	0.0001	-2.8457	0.0644	-8.8426***	0.0000
<b>Trend and Intercept</b>								
lnCO <sub>2</sub>	-0.3883	0.9832	-4.1437**	0.0154	-0.0898	0.9926	-5.1060***	0.0016
lnBA	-3.1913	0.1117	-4.4720***	0.0077	0.2241	0.9970	-5.7158***	0.0004
lnSG	0.01739	0.9945	-3.7165**	0.0378	-0.0457	0.9934	-3.6192**	0.0462
lnP	-2.6494	0.2634	-5.3547***	0.0009	-3.1850	0.1071	-9.9105***	0.0000

\*\*\* Significance at the 1% level, \*\* Significance at the 5% level.

The results of both the ADF and PP tests show that the null hypothesis of the unit root cannot be rejected at a 5% significance level. In other words, all variables have unit roots in their levels. Based on the unit root test results, all variables become stationary I(1) at their first differences, which means that all the variables are integrated of the I(1) series at 1% and 5% significance levels over the period of 1990–2019 (Table 2). Since the pre-condition of the ARDL model is fulfilled that none of the variables are integrated with I(2), cointegration between variables is examined by using the ARDL bound test.

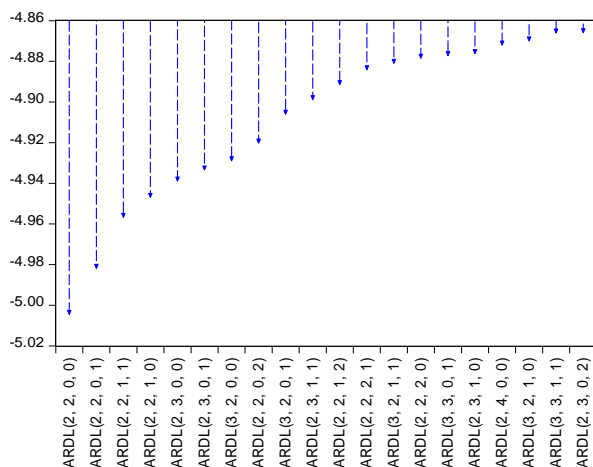


Figure 2. ARDL model selection criterion (AIC)

After unit root testing, which showed all variables are integrated at I(1), the ARDL method of cointegration to estimate the relationship between the variables was employed. The maximum number of lags in the ARDL was set equal to 4 and the optimal lag length was selected using the Akaike information criterion (AIC). Employing the AIC shows the top twenty possible ARDL models (Figure 2). According to Figure 2, the most suitable model was determined as (2, 2, 0, 0) model.

In the ARDL bounds test, it is necessary to determine the F-statistic to determine whether there is a cointegration relationship between the variables. The ARDL bound test proposed by Pesaran et al. (2001) is based on F-test on the joint null hypothesis. The ARDL bounds test cointegration test results are presented in Table 4.

The value of the F-statistic, which tests the long-term relationship between the variables, was found to be 7.112 (Table 4). This value was found to be greater than the critical upper limit values that were taken from both Pesaran et al. (2001) and Narayan (2005) at the 1% and 5% significance levels. According to the results of the bound test, the null hypothesis of no cointegration association among variables is rejected. This result reveals that there is a cointegration relationship between the variables.

Table 4 - ARDL Bound Test

Test Statistic	Value	k	Sig.	Narayan critical values		Pesaran critical values	
				I(0)	I(1)	I(0)	I(1)
F-statistic	7.112***	3	10%	3.01	4.15	2.72	3.77
			5%	3.71	5.02	3.23	4.35
			1%	5.33	7.06	4.29	5.61

\*\*\* Significance at the 1% level.

The long-run and short-run model results of the cointegration relationship are included in Table 5. According to the long-run coefficients of bovine animals (BA), sheep-goat (SG) and poultry (P) have a positive and statistically significant impact on CO<sub>2</sub> emissions (Table 5). 1% increase in the number of BA, SG, and P in Türkiye will increase CO<sub>2</sub> emissions by 0.87, 0.09, and 0.09%, respectively.

In previous studies, positive correlations were found between livestock and CO<sub>2</sub> emissions (Sarkodie and Owusu, 2017; Appiah et al., 2018; Hongdou et al., 2018; Ullah et al., 2018; Doğan and Saçlı, 2019; Chandio et al., 2020 Balogh, 2020; Leitao and Balogh, 2020; Ali et al., 2021).

The results estimated by the ARDL model, which is based on the error correction model to examine the short-term relationship between the variables, are shown in Table 5. The important outcome of the short-run model is the calculation of the Error Correction Term (ECT). The lagged error correction coefficients ECT(-1) are significant in both cases verifying the established co-integrating relationships among the variables. As shown in Table 4, the ECT(-1) is negative and statistically significant at 1%. The results show that the speed of adjustment ECT(-1) value is -1.045. Narayan and Smyth stated that if the error correction coefficient is greater than -1, the system may fluctuate and reach its long-term equilibrium (Narayan and Smyth 2006).

Table 5 - Long-run and short-run coefficient estimates for the selected model ARDL (2,2,0,0)

Long-run model coefficients				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-statistic	Prob.
LnBA	0.871727***	0.054622	15.95928	0.0000
LnSG	0.097658**	0.040834	2.391594	0.0267
LnP	0.092251***	0.020231	4.559996	0.0002
Short-run model coefficients				

Variable	Coefficient	Std. Error	t-statistic	Prob.
$\Delta (\text{LnCO}_2(-1))$	0.249613	0.144984	1.721663	0.1006
$\Delta (\text{LnBA})$	0.921847***	0.100103	9.209008	0.0000
$\Delta (\text{LnBA}(-1))$	-0.371527**	0.132545	-2.803028	0.0110
C	-14.46808***	2.530146	-5.718279	0.0000
ECT(-1)	-1.045180***	0.182734	-5.719688	0.0000

\*\*\* Significance at the 1% level, \*\* Significance at the 5% level.

The validity and robustness of the estimated equations are confirmed by employing such relevant diagnostic tests, such as the Jarque–Bera normality test, the Breusch–Godfrey serial correlation LM test, the Ramsey RESET test for model specification, and plots of the cumulative sum (CUSUM) and the cumulative sum of the square of the recursive residuals (CUSUMSQ).

Table 6 shows the diagnostic tests of the ARDL model. The serial correlation of the estimated ARDL model is tested by using the Breusch-Godfrey test. The test reports the p-value of 0.7167, which indicates to accept the null hypothesis of no serial correlation at all conventional levels of significance. The result from the Breusch-Pagan Test for heteroskedasticity has an LM statistic with a p-value as 0.4803 demonstrating that the LM statistic is insignificant at a 5 percent level of significance. Since the null hypothesis of constant variance is not rejected, there is no heteroscedasticity problem. The Jarque–Bera value with a p-value of 0.6891 shows that the residuals are normally distributed. The Ramsey test confirms the correct functional form of the model.

Table 6 - Diagnostic test results of the ARDL model

Tests			
Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey			
F-statistic	0.9679	Prob. F (7,20)	0.4803
Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test			
F-statistic	0.3393	Prob. F (2,18)	0.7167
Jarque-Bera Test of Normality			
Jarque-Bera	0.7447	Prob.	0.6891
Ramsey RESET Test			
F-statistic	2.3095	Prob. F (1,19)	0.1451

The plots of parameter stability tests, namely CUSUM and CUSUMSQ, are given in Figure 3. Since the CUSUM and CUSUMSQ plots are within the 5% critical bound, the estimated parameters do not have structural instability over the period of the study, so they are constant or stable within the sample considered. According to the test results, the ARDL model is accepted as robust, stable, and reliable in its form.



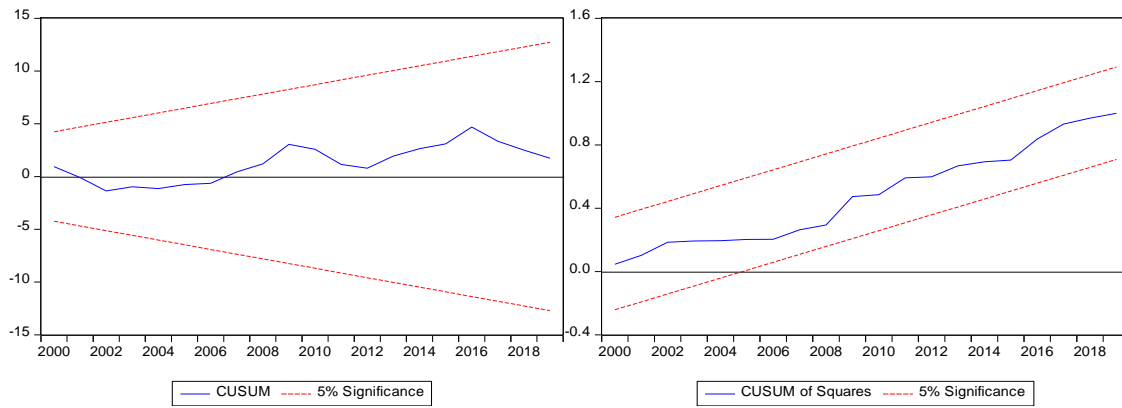


Figure 3. Plots of CUSUM and CUSUMSQ

#### 4. Conclusions

This study aims to explain the relationship between animal stock, which has increased in recent years, and climate change to ensure animal food security in Türkiye. For this purpose, the ARDL bound test method was used with the data covering the period 1990-2019, and long and short-term cointegration were determined. According to the results of the analysis, a positive and statistically significant relationship was found between the number of bovine animals, sheep-goats and poultry and CO<sub>2</sub> emissions. In other words, the increase in the number of animals (especially the number of bovine animals) increases CO<sub>2</sub> emissions.

Several measures and policies are needed to reduce the effects of livestock activities on climate change. Some recommendations regarding these policies and measures are presented below.

Food loss and waste is very important problem in the world and Türkiye. Reducing food loss and waste is seen as an important way to reduce production costs and increase the efficiency of the food system, improve food security and nutrition, and contribute to environmental sustainability. Reducing food loss and waste is important because it will reduce GHG emissions, slow down the destruction of nature through land conversion and pollution, and increase food security. Climate change mitigation efforts must find ways to reduce food losses and waste in Türkiye and around the world. Reducing food losses and waste must be considered as an important part of climate change adaptation strategies. Improving the efficiency of food systems can be identified as an important way of reducing GHG emissions from the food and agriculture sector without compromising food security

Enteric fermentation originating from livestock is the most important source of agricultural GHG emissions with a share of 49%. While the number of animals worldwide is increasing, GHG emissions from animal production will inevitably continue to increase unless improvements are made to enhance nutrition practices. One of the methods to reduce CH<sub>4</sub> emissions in enteric fermentation is to use feeds more efficiently in livestock. Also, emissions from enteric fermentation can be reduced by adding special additives to the feed and long-term management changes. Many studies are conducted to improve animal nutrition, such as feeding animals with sunflower seeds or adding fat to the diet. Such applications seem promising for reducing enteric fermentation.

Improvements in manure management also play an important role in reducing emissions from livestock. Composting, biogas production, and storage of CH<sub>4</sub> can be considered as an important emission reduction strategy when evaluated in terms of animal waste amounts in Türkiye.

Instead of increasing the number of animals, focusing on improvement to increase milk and meat yield per animal will contribute to reducing emissions.

Carbon pricing is considered an effective tool in achieving the Paris Climate Agreement's goals on reducing global climate change. Carbon pricing is based on applying a direct price to GHG emissions. However, considering the importance of the agricultural sector, It is appropriate to offer subsidies that encourage sustainable agricultural techniques instead of punishing farmers who cause GHG emissions using carbon pricing. For this purpose, carbon pricing revenues from other sectors can be used. Policymakers should demand climate change adaptation measures from farmers but must consider local conditions. Policymakers should educate farmers to cope with climate change.

## References

- Ali S., Ying L., Shah T., Tariq A., Chandio A.A., Ali, I. Analysis of the nexus of CO<sub>2</sub> emissions, economic growth, land under cereal crops and agriculture value-added in Pakistan using an ARDL approach. *Energies* 2019; 12(23): 4590.
- Ali E.B., Anufriev V.P. The causal relationship between agricultural production, economic growth, and energy consumption in Ghana. *R-Economy* ., 2020; 6(4): 231-241.  
<https://doi.org/10.15826/recon.2020.6.4.020>.
- Ali B., Ullah A., Khan D. Does the prevailing Indian agricultural ecosystem cause carbon dioxide emission? A consent towards risk reduction. *Environmental Science and Pollution Research* 2021; 28(4): 4691-4703. <https://doi.org/>.
- Appiah K., Du J., Poku J. Causal relationship between agricultural production and carbon dioxide emissions in selected emerging economies. *Environmental Science and Pollution Research* 2018; 25(25): 24764-24777.
- Balogh J.M., Jambor A. Determinants of CO<sub>2</sub> emission: A global evidence. *International Journal of Energy Economics and Policy* 2017; 75 (5), ): 217–226.  
<https://EconPapers.repec.org/RePEc:eco:journ2:2017-05-24>.
- Balogh J.M. The role of agriculture in climate change: A global perspective. *International Journal of Energy Economics and Policy* ., 2020; 10(2): 401. <https://doi.org/>.
- Chandio A.A., Akram W., Ahmad F., Ahmad M. Dynamic relationship among agriculture-energy-forestry and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions: empirical evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research* 2020; 27(27): 34078-34089.
- Doğan N. Agriculture and environmental Kuznets curves in the case of Türkiye: Evidence from the ARDL and bounds test. *Agricultural Economics Agric Econ.*2016; 62(12): 566-574.

- Doğan H.G., Saçlı Y. Contribution Of livestock to CO<sub>2</sub> Emission in D-8 (Developing-8) countries: an empirical analyse of panel data. *Applied Ecology And and Environmental Research* 2019; 17(6): 12909-12919. [http://www.aloki.hu/pdf/1706\\_12909129](http://www.aloki.hu/pdf/1706_12909129).
- Doğan N. The impact of agriculture on CO<sub>2</sub> emissions in China. *Panoeconomicus* 2019; 66(2): 257–272. <https://doi.org/10.2298/PAN160504030D>.
- Edoja P.E., Aye G.C., Abu O. Dynamic relationship among CO<sub>2</sub> emission, agricultural productivity and food security in Nigeria. *Cogent Economics and Finance* 2016; 4: 1-13. E-ISSN 2332-2039. <https://doi.org/10.1080/23322039.2016.1204809>.
- Engle R., Granger C. Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica* 1987; 55(2): 251–276. <https://doi.org/10.2307/1913236>.
- FAOFao, 2017a. FAO Strategy on Climate Change, Rome, 48p. <https://www.fao.org/3/i7175e/i7175e.pdf>. Accessed 03 June 2021.
- FAOFao, 2017b. The future of food and agriculture – Trends and challenges, Rome, 180p. <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>. Accessed 03 June 2021.
- FAOFao. FAOSTAT Database (Emissions Total) 2021. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT>. Accessed 06 July 2021.
- Gokmenoglu K.K., Taspinar N. Testing the agriculture-induced EKC hypothesis: the case of Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research International Environ Sci Pollut Res.* 2018; 25(23): 22829–22841.
- Gokmenoglu K.K., Taspinar N., Kaakeh M. Agriculture-induced environmental Kuznets curve: the case of China. *Environmental Science and Pollution Research International Environ Sci Pollut Res.* 2019; 26(36): 37137–37151.
- Gurbuz I.B., Nesirov E., Ozkan G. Does agricultural value-added induce environmental degradation? Evidence from Azerbaijan. *Environmental Science and Pollution Research International Environ Sci Pollut Res* 2021; 28: 23099–23112.
- Hongdou L., Shiping L., Hao L. Existing agricultural ecosystem in China leads to environmental pollution: an econometric approach. *Environmental Science and Pollution Research* 2018; 25(24): 24488-24499.
- Johansen S. Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control* 1988;12(2-3): 231-254.
- Leitao N.C., Balogh J.M. The Impact of energy consumption and agricultural production on carbon dioxide emissions in Portugal. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics* 2020;Vol. 12(, No.1): , pp. 49-59. ISSN 1804-1930. <https://doi.org/10.7160/aol.2020.120105>.
- Liu X., Zhang S., Bae J. The impact of renewable energy and agriculture on carbon dioxide emissions: investigating the environmental Kuznets curve in four selected ASEAN countries. *Journal of Cleaner Production J Clean Prod* 2017; 164: 1239–1247.

- Mahmood H., Alkhateeb T.T.Y. Trade and Environment Nexus in Saudi Arabia: An Environmental Kuznets Curve Hypothesis. *International Journal of Energy Economics and Policy* 2017; Vol. 7(, No. 5): , pp. 291-295. ISSN 2146-4553.
- Mara F.P.O. The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Animal Feed Science and Technology* 2011; Vol. 166-167, pp.: 7-15. ISSN 0377-8401.
- Mourao P.R., Martinho V.D. Portuguese agriculture and the evolution of greenhouse gas emissions—can vegetables control livestock emissions?. *Environmental Science and Pollution Research* 2017; 24: 16107–16119.
- Narayan S., Narayan P.K. Determinants of demand for Fiji’s exports: an empirical investigation. *The Developing Economies Dev Econ* 2004;42(1):95–112. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1049.2004.tb01017.x>.
- Narayan P.K. The saving and investment nexus for China: evidence from cointegration tests. *Applied Economics Appl Econ* 2005;37(17):1979–1990. <https://doi.org/10.1080/00036840500278103>.
- Narayan P.K., Smyth R. What determines migration flows from low-income to high-income countries? an empirical investigation of Fiji-U.S. migration 1972-2001. *Contemporary Economic Policy* 2006; 24 (2):, 332-342.
- Och M.. Empirical investigation of the environmental kuznets curve hypothesis for nitrous oxide emissions for Mongolia. *International Journal of Energy Economics and Policy* 2017;Vol. 7, No.( 1):, pp. 117-128. ISSN 2146-4553.
- Pesaran M.H., Smith R.P. Structural analysis of cointegrating VARs. *Journal of Economic Surveys J Econ Surv.* 1998; 12: 471–505. <https://doi.org/10.1111/1467-6419.00065>.
- Pesaran M.H., Shin Y., Smith R.J. Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics J Appl Econ.*2001; 16: 289–326.
- Qiao H., Zheng F., Jiang H., Dong K. The greenhouse effect of the agriculture-economic growth-renewable energy nexus: evidence from G20 countries. *Science of The Total Environment Sci Total Environ.* 2019; 671: 722–731.
- Rehman A., Ozturk I., Zhang D. The causal connection between CO<sub>2</sub> emissions and agricultural productivity in Pakistan: empirical evidence from an autoregressive distributed lag bounds testing approach. *Applied Sciences* 2019; 9(8): 1692.
- Sarkodie S.A., Owusu P.A. The relationship between carbon dioxide, crop and food production index in Ghana: By estimating the long-run elasticities and variance decomposition. *Environmental Engineering Research* 2017; 22(2): 193-202. <https://doi.org/>
- Shahbaz M., Khan S., Ali A., Bhattacharya M. The Impact of Globalization on CO<sub>2</sub> Emissions in China. *Munich Personal RePEc Archive Paper* 2015; 64450. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/64450>.

- Sinha A., Shahbaz M. Estimation of environmental Kuznets curve for CO<sub>2</sub> emission: role of renewable energy generation in India. *Renewable Energy* 2018; 119: 703–711.
- TURKSTATTurkstat(a). Turkish Greenhouse Gas Inventory (1990-2019), National Inventory Report for submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change 2021; <https://unfccc.int/documents/271544>. Accessed 06 July 2021.
- TURKSTATTurkstat (b). Livestock Statistics 2021. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=2>. Accessed 06 July 2021.
- Ullah A., Khan D., Khan I., Zheng S. Does agricultural ecosystem cause environmental pollution in Pakistan? Promise and menace. *Environmental Science and Pollution Research* 2018; 25: 13938-13955.
- Waheed R., Chang D., Sarwar S., Chen W. Forest, agriculture, renewable energy, and CO<sub>2</sub> emission. *Journal of Cleaner Production* 2018; 72: 4231-4238.

## Cam Elyaf Takviyeli Poli-fital-amit Polimer Kompozitlerin Aşınma ve Sürtünme Performanslarının Araştırılması

Gizem HATİPOĞLU<sup>1</sup>, Hüseyin ÜNAL<sup>2\*</sup>, Salih Hakan YETGİN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Power Co SE, Industriestraße Nord 38239, Salzgitter, Germany

<sup>2</sup>Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

<sup>3</sup>Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus, Mersin, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-8215-7698>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-0521-6647>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-6068-9204>

\*Sorumlu yazar: unal@subu.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 03.04.2023

Kabul tarihi: 12.08.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Poli-fital-amid

Cam elyaf

Aşınma

Sürtünme

### ÖZ

Endüstrinin birçok alanında üretim makinelerinde hareket iletiminde polimer ve polimer esaslı kompozit malzemelerden imal edilmiş dişli kullanılmaktadır. Uygun malzeme çiftlerinin seçimi dişli mekanizmalarının çalışma ömrünü belirlemektedir. Yüksek performanslı poli-fital-amit (PPA) polimeri ve PPA kompozitleri makine elemanlarının ömrünü artıracak malzemelerdendir. Bu çalışmada, katkısız poli-fital-amit polimeri ile ağırlık olarak %30 oranında cam elyaf takviyeli poli-fital-amit (PPA/%30GF) kompozitinin aşınma ve sürtünme performansları incelenmiştir. Aşınma deneyleri çelik diske karşı kuru ortam şartları altında gerçekleştirilmiştir. Cam elyaf takviyeli PPA kompoziti ikiz vidalı endüstriyel bir ekstruderde granül olarak üretilmiş ardından enjeksiyon makinesinde aşınma test numuneleri basılmıştır. Aşınma testleri 0,5 ve 1,0 m/s kayma hızlarında, 20 N, 30 N ve 40 N yükler altında yapılmıştır. Deneyler, pim-disk aşınma test cihazı kullanılarak ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Aşınma testleri sonucunda, cam elyaf takviyeli PPA kompozitin sürtünme katsayısı ve aşınma oranının katkısız PPA polimerine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Uygulanan yükün artması ile sürtünme katsayısı artarken hızın artması ile sürtünme katsayısı azalmıştır. Aşınma oranı ise uygulanan yük ve kayma hızının artması ile artmıştır. Uygulanan tribolojik test çalışma şartlarında % 30 oranında cam elyaf takviyeli poli-fital-amit katkısız PPA'ya göre ortalama da en az 5 kat dirençli olduğu tespit edilmiştir.

## Investigation of Wear and Friction Performances of Glass Fiber Reinforced Poly-phthalate-amide Polymer Composites

### Research Article

#### Article History:

Received: 03.04.2023

Accepted: 12.08.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Polyphthalamide

Glass fiber

Wear

### ABSTRACT

In many areas of the industry, gears made of polymer and polymer-based composite materials are used for motion transmission in production machines. The selection of suitable material pairs determines the working life of gear mechanisms. Using high performance poly-phthalate-amide (PPA) polymer and PPA composites can increase the life of machine elements. In this study, the wear and friction performances of unfilled poly-phthalate-amide polymer and 30wt% glass fiber reinforced poly-phthalate-amide composite (PPA/30%GF) were investigated. Wear tests

were carried out against a steel disc under dry ambient conditions. Glass fiber reinforced PPA composite was produced as granules in a twin screw industrial extruder and then wear test specimens were molded in an injection molding machine. The wear tests were performed under 20 N, 30 N and 40 N loads at sliding speeds of 0.5 and 1.0 m/s. The tests were accomplished at ambient temperature using a pin-disc abrasion tester. As a result of the wear tests, it was determined that the friction coefficient and wear rate of the glass fiber reinforced PPA composite were lower than the unfilled PPA polymer. While the coefficient of friction increased with the raise of the applied load, the coefficient of friction decreased with the increment of the sliding speed. The wear rate increased with the rising in applied load and sliding speed. In the tribological test working conditions applied, it was determined that glass fiber reinforced poly-phthalate-amide with 30 % glass fiber reinforcement was at least 5 times more resistant on average than PPA polymer.

---

**To Cite:** Hatipoğlu G., Ünal H., Yetgin SH. Cam Elyaf Takviyeli Poli-fital-amit Polimer Kompozitlerin Aşınma ve Sürtünme Performanslarının Araştırılması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(1): 125-140.

## 1. Giriş

Polimer esaslı tribo-malzemeler son yıllarda büyük ilgi çekmektedir. Birbiri üzerinde mekanik olarak hareket eden parçalar için düşük sürtünme katsayısı ve yüksek aşınma direncine sahip tribo-malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Poliamit (PA) mühendislik polimeri mekanik ve tribolojik özellikler açısından ilk akla gelen malzeme olmakla birlikte kuru kayma şartları altında makul seviyelerde sürtünme katsayısına sahiptir (Yi-Lan ve ark., 2016; Neis ve ark., 2017; Takenaka ve ark., 2015). PA polimerinin çelik diske karşı tribolojik özelliklerinin incelendiği birçok çalışma mevcuttur (Pogacnik ve ark., 2017; Kumar ve Kanagaraj, 2016; Jozwik ve ark., 2020; Abdullah ve ark., 2018; Gyorgy ve ark., 2023; Kamlendra ve ark., 2023). Pogacnik ve ark. (2017) katkısız Poliamit 6 (PA6) polimerinin çelik diske karşı tribolojik özelliklerini incelemiştir. Çalışmalarında uygulanan yük, kayma hızı ve temas sıcaklığının etkileri araştırılmıştır. Kumar ve Kanagaraj (2016) katkısız ve % 0-40 oranlarında grafit katkılı PA6 kompozitlerin tribolojik özelliklerini inceledikleri çalışma sonucunda değişen yük ile sürtünme katsayısı ve aşınma oranının azaldığını belirtmişlerdir. Jozwik ve ark. (2020) farklı katı yağlayıcı katkılı PA6 ve PTFE polimer kompozitlerin tribolojik özelliklerini incelediklerini incelemiştir. Yük arttığında sürtünme katsayısının ve aşınma hacminin arttığını belirtmişlerdir. Li ve Xia (2010) karbon fiber takviyeli PA6 kompozitlerin katkısız PA6 polimerine göre daha iyi tribolojik özellikler gösterdiğini tespit etmişlerdir. Optimum aşınma azalımının % 20 karbon elyaf içeriğinde elde etmişlerdir. Sürtünme katsayısının artan yük ile arttığını ancak kayma frekansının artması ile sürtünme katsayısının azaldığını belirtmişlerdir. Yi-Lan ve ark. (2016) yaptığı çalışmada yükün artırılması ile birlikte sürtünme katsayısının ve aşınma oranının önemli oranda arttığını belirtmişlerdir. Çalışma sonunda en iyi tribolojik özelliklere % 15 cam elyaf + % 7 grafit + % 8 çok yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (ÇYMA-PE) katkılı PA6 hibrit kompozitinde ulaşılmıştır. Kamlendra ve ark. (2023) cam elyaf ve grafit katkılı PA6 kompozitlerin tribolojik özelliklerini incelemiştir. Yük ve kayma hızının artması ile sürtünme katsayısının ve spesifik aşınma oranının arttığını belirtmişlerdir. Literatürde görüldüğü gibi gerek katkısız PA6 polimeri gerekse katkılı PA6

kompozitlerin tribolojik özelliklerinin incelendiği çalışmalarda katkı türü ve miktarının yanında uygulanan yük ve kayma hızının etkileri de incelenmiştir. PA/çelik teması için sürtünme katsayısı 0,3-0,5 arasında elde edilirken bazı çalışmalarda sürtünme katsayısı 2,0 olarak elde edilmiştir (Feyzullahoglu ve Saffak, 2008; Unal ve Mimaroglu, 2003; Meng ve ark., 2009; Kumar ve Kanagaraj, 2016; Zhou ve ark., 2014). Genel olarak, sürtünme katsayısının artan yük ile arttığı ancak bazı çalışmalarda ise artan yük ile azaldığı ifade edilmiştir (Kumar ve Kanagaraj, 2016; Unal ve Mimaroglu, 2003; Meng ve ark., 2009; Unal ve ark., 2004). Sürtünme katsayısındaki bu farklılığı ve değişkenliği özellikle polimer malzemenin ergimesi nedeniyle aşınma mekanizmasının değişmesine bağlamışlardır (Stachowiak ve Batchelor, 2006; Myshkin ve ark., 2015).

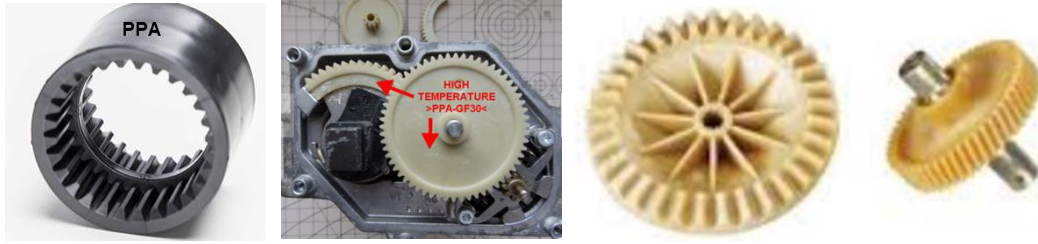
Aromatik ve alifatik fonksiyonelliklerin bir kombinasyonu olan Poli-fital-amid (PPA) polimeri, Poliamit (6, 66) gibi alifatik naylonlar ile Poli-aril-eter-keton (PAEK) ve Poli-eter-eter-keton (PEEK) gibi yüksek termal özelliklere sahip polimerler arasında fiyat/performans açısından bir köprü görevi görmektedirler (Hatipoğlu, 2014). PPA polimeri konfigürasyonunda kullanılan diaminlere ve tereftalik/izoftalik asit oranına bağlı olarak 300 ile 325 °C arasında değişen ergime sıcaklığına, 120 ile 125 °C arasında değişen ısıl sapma sıcaklığına (HDT) ve 2,5 ile 3,5 GPa arasında değişen elastiklik modülüne sahiptir (Mateo ve ark., 2020; 2021; 2022). PPA polimerinin zincirindeki aromatik grup(lar), yüksek ergime sıcaklığına, yüksek camsı geçiş sıcaklığına, düşük nem absorplama, yüksek kimyasal dirence ve yüksek ölçü kararlılığına sebep olmaktadır (Glenn , 1996; Djukic ve ark., 2020; Cao ve ark., 2016; Sandro ve ark., 2017). PPA polimeri bu özellikleri nedeniyle otomotiv sektörü başta olmak üzere elektrik-elektronik sektörü, havacılık ve uzay sektörü gibi alanlarda kullanım alanı bulmaktadır (Ferit ve ark., 2017; Gratzl ve ark., 2019). Cao ve ark. (2016) poli-fenilen-sülfid (PPS) polimerine ilave ettikleri poli-fital-amid (PPA) polimeri ile PPS/PPA karışımına ilave ettikleri % 3 ile % 20 arasında değişen oranlarda karbon nanotüp (KNT) katkının etkilerini incelemişlerdir. PPA polimeri, PPS polimerinin kristallliği üzerine çekirdekleyici etkisi gösterirken mekanik özellikleri geliştirmemiştir. KNT katkısı ise karışımın çekme ve eğilme dayanımını artırırken PPS polimerinin kristallenmesini de teşvik etmiştir. KNT, çekme ve eğilme dayanımını sırasıyla % 34,5 ve % 19,3 oranlarında artırmıştır. Mateo ve ark. (2021) farklı oranlarda PPA/Poliamit 4,10 (PA4,10) polimer karışımının mekanik özelliklerini istatistiksel olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, çekme dayanımı, kopma uzaması ve darbe enerjisindeki değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ancak eğmedeki elastiklik modülü, çekmedeki elastiklik modülü, yoğunluk ve ısıl sapma sıcaklığı (HDT) değerlerindeki değişikliklerin anlamlı olduğunu belirtmişlerdir. Mekanik özelliklerden ödün vermeden ve yoğunluğu önemli bir şekilde artırmadan yüksek sıcaklık uygulamalarının gerekli olduğu yerlerde PPA polimerinin büyük bir potansiyel olduğu belirtilmiştir. Djukic ve ark. (2020) PPA polimerinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, PPA polimerinin düşük darbe dayanımından yüksek darbe dayanımına gevrek-sünek geçiş gösterdiği belirtilmiştir. Oda sıcaklığında, tüm PPA polimerlerinin kırılğan olduğu, çekme ve basma deneyleri sırasında gerilim sertleşmesi davranışının gözlemlendiği belirtilmiştir. Gerilim sertleşmesinin kristallik değerlerinden



bağımsız olduğu bildirilmiştir. Gomez-Mares ve ark. (2015) yakıt ile direkt temas halinde olacak % 35 oranında cam elyaf takviyeli PPA kompozitin termo-mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, akma dayanımının % 50 oranında, çekme dayanımının ise % 51 oranında azaldığı, kopma uzamasının ise % 62,5 oranında arttığı belirtilmiştir. Aynı zamanda, çekmedeki elastiklik modülünün % 38 oranında, kırılma enerjisinin ise % 51 oranında azaldığı belirtilmiştir. Mekanik özelliklerdeki bu değişikliklerin polimer tarafından emilen yakıtın malzemeyi plastikleştirilen veya çözen polimer molekülleri ile etkileşime girdiği için olabileceği belirtilmiştir.

Poliamit polimerinin bir türü olan PPA polimeri, yüksek sıcaklık dirençli olup cam elyaf ve karbon elyaf gibi inorganik elyaflar ile takviye edilerek aynı zamanda politetrafloretillen (PTFE) ve grafit gibi katı yağlayıcılar ilave edilerek aşınma dirençli malzeme olarak kullanılmaktadır. PPA polimeri, PA6, PA66 ve PA46 gibi polimerlere alternatif olarak kullanılmaktadır (Takayuki ve Yosuke, 2019). Unal ve ark. (2016) katkısız PPA polimeri ile PPA/% 30 karbon elyaf (PPA/% 30KE) kompozitlerin çelik diske karşı kuru ortam şartları altında aşınma davranışlarını araştırmışlardır. Kayma hızı ile birlikte sürtünme katsayısı azalırken aşınma oranının arttığını gözlemlemişlerdir. Hatipoğlu (2014) % 5 PTFE katkılı PPA kompozitlerin AISI 440C paslanmaz çelik diske karşı tribolojik özelliklerini incelemiştir. Yaptığı çalışma sonucunda artan yük miktarı ile sürtünme katsayısının ve aşınma oranının arttığını belirtmiştir. Takayuki ve Yosuke (2019) PPA polimerinin bir türü olan ve PTFE ilaveli ve karbon elyaf takviyeli yarı-aromatik PA (PA10T) biyokütle kompozitin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. PA10T polimerine ilave edilen PTFE polimerin sürtünme katsayısı, spesifik aşınma oranı ve P:V (pressure x velocity) faktörü gibi tribolojik özellikleri geliştirdiği belirtilmiştir. PTFE katkılı ve karbon elyaf takviyeli PA10T biyokütle hibrit kompozitin mekanik özelliklerinde pek değişiklik olmadığı belirtilmiştir. Yüksek sıcaklık dirençli yüksek performanslı PPA polimeri, geleneksel olarak kullanılan PA6, PA66, PA46, polioksimetilen (POM), ÇYMAPE ve PTFE gibi polimerlere aşınma ve sürtünmenin ön plana çıktığı uygulamalarda alternatif olarak kullanılabilir. Sözü edilen polimerlere göre pahalı olmasına rağmen sıcaklık direnci istenen tribolojik uygulamalarda ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada, katkısız PPA polimeri ile PPA/%30GF kompozitin tribolojik özellikleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. İki farklı kayma hızı (0,5 ve 1,0 m/s) ve üç farklı yük (20 N, 30 N ve 40 N) uygulanarak saf PPA polimeri ve PPA/%30GF kompozitin sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri tespit edilmiştir. PPA polimer ve kompozit malzemelerinin özellikle dişli mekanizmalarında aşınma ve sürtünme özellikleri ile ilgili alanlara ışık tutabilmesi amacıyla araştırma konusu olarak tercih edilmiştir. Şekil 1'de katkısız PPA polimeri ve PPA/%30GF kompozitten imal edilen ve tribolojik uygulamalarda kullanılan dişli sistemleri verilmiştir.



Şekil 1. PPA malzemeden imal edilen dişli sistemleri (<https://www.stagnoligears.com/en/motor-gears/polyamide-ppa/>, <http://www.hxgcs.com/en/product/288.html>).

## 2. Materyal ve Metot

Deneylerde Eurotec Mühendislik Plastikleri/İstanbul firmasından temin edilen Tecomid HT ticari isimli,  $1,18 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğa,  $310 \text{ }^\circ\text{C}$  ergime sıcaklığına ve % 2,4 oranında nem oranına sahip katkısız poli-fital-amid polimeri matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak  $10,5 \text{ }\mu\text{m}$  çapında ve  $4,5 \text{ mm}$  uzunluğunda, % 0,6 oranında aminosilan bağlayıcı ile yüzeyi kaplanmış olan E tipi cam elyaf kullanılmıştır. PA2 tip kısa cam elyaf Cam Elyaf San. ve Tic. A.Ş/İstanbul'dan temin edilmiştir. DIN X40CrMoV5-1 kompozisyonlu çelik disk karşı disk malzeme olarak kullanılmıştır.

PPA/%30GF kompozit granül formunda endüstriyel tip çift vidalı bir kompond makinesi kullanılarak üretilmiştir. Ekstrüzyon prosesinde besleme hunisi ile ekstrüzyon kalıbı arasındaki sıcaklık dağılımı  $310\text{-}345 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak belirlenmiştir. Enjeksiyonla numune üretimi yapılmadan önce granüller, kurutulmuştur. Ekstrude edilen cam elyaf takviyeli PPA polimer granüller  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 4 saat fırında kurutulduktan sonra enjeksiyon kalıplama yöntemi ile basılmıştır. Aşınma testlerinde kullanılan pim numuneler, çapı  $6 \text{ mm}$  ve uzunluğu  $50 \text{ mm}$  olacak şekilde özel olarak tasarlanmış kalıp kullanılarak üretilmiştir. Enjeksiyon kalıplama ile üretimlerde sıcaklık değerleri  $310\text{-}340 \text{ }^\circ\text{C}$  arasında iken enjeksiyon basıncı  $150 \text{ bar}$  olarak ayarlanmıştır. Tablo 1'de kullanılan malzemeler, kısaltmaları ve üretim şartları verilmiştir.

Tablo 1. PPA esaslı polimer kompozitin kompozisyonları ve üretim şartları

Sıra No	PPA (ağırlık olarak)	Cam elyaf (ağırlık olarak)	Kısaltma	Üretim şartları
1	100	-	PPA	Çift vidalı kompond makinesi ısıtıcı sıcaklık aralığı: $310\text{-}345 \text{ }^\circ\text{C}$
2	70	30	PPA/%30GF	Enjeksiyon makinesi ısıtıcı sıcaklık aralığı: $310\text{-}345 \text{ }^\circ\text{C}$ , Enjeksiyon basıncı: $150 \text{ bar}$

Aşınma testleri, DIN X40CrMoV5-1 çelik diske karşı katkısız PPA ve PPA/%30GF kompoziti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma testleri, Şekil 2'de resmi verilen pim-disk cihazında, kuru ortam şartlarında, oda sıcaklığında ve ASTM G99 standardına uygun olarak yapılmıştır. Tablo 2'de deneylerde kullanılan polimer malzemeler ve aşınma deneyi proses şartlarının detayları verilmiştir. Pim numunelerin deney öncesi ve sonrası ağırlık ölçümleri Precia 220 marka  $0,0001 \text{ gr}$  hassasiyetli hassas terazi ile yapılmış ve spesifik aşınma oranları ( $K_o$ ) Eşitlik 1'de verilen denklem ile

hesaplanmıştır. Burada,  $\Delta m$ : ağırlık kaybı (g), L: kayma mesafesi (m),  $\rho$ : malzemelerin yoğunluğu ( $\text{g/cm}^3$ ) ve F: uygulanan yük (N)'dur.

$$K_o = \frac{\Delta m}{L \cdot \rho \cdot F} \quad (\text{m}^2/\text{N}) \quad (1)$$

**Tablo 2.** Kullanılan polimer malzemeler ve deney şartları

Malzeme	Yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ )	Ortam sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Kayma mesafesi (m)	Yük (N)	Kayma hızı (m/s)
PPA	1,18	21±2	2000	20	0,5
PPA/%30GF	1,40			30	1,0

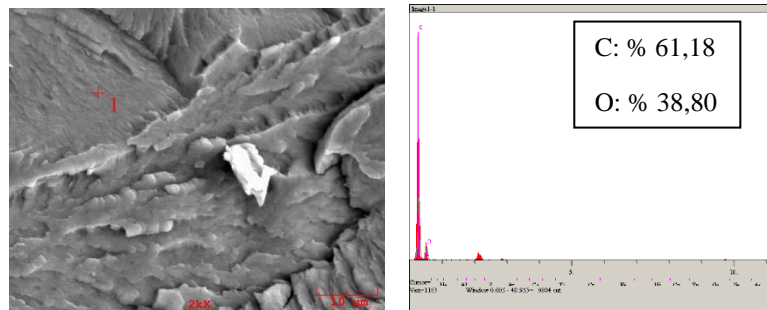


Şekil 2. Aşınma test cihazının gösterimi

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. EDS analiz sonuçları

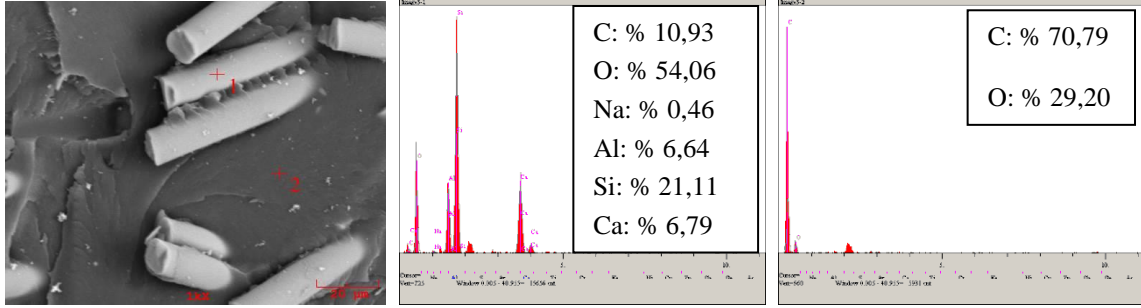
EDS analizi, malzemelerin elementel olarak bileşenlerini tanımlamak için kullanılan test yöntemlerinden birisidir. Şekil 3'te katkısız PPA polimerine ait EDS görüntüsü ve analiz sonucu verilmiştir. Şekil incelendiğinde, polimer yapısındaki karbon ve oksijen elementlerinin varlığı görülmektedir. Karbon miktarı ağırlıkça % 61,18 oranında iken oksijen miktarı ağırlıkça % 38,80 oranındadır.



Şekil 3. PPA polimerinin EDS analizi

Şekil 4'teki EDS analizinde ise PPA/%30GF kompozitin yapısındaki elementel sonuçlar verilmiştir. 1 numaralı nokta cam elyaf iken 2 numaralı nokta PPA polimerini göstermektedir. Sodyum, kalsiyum,

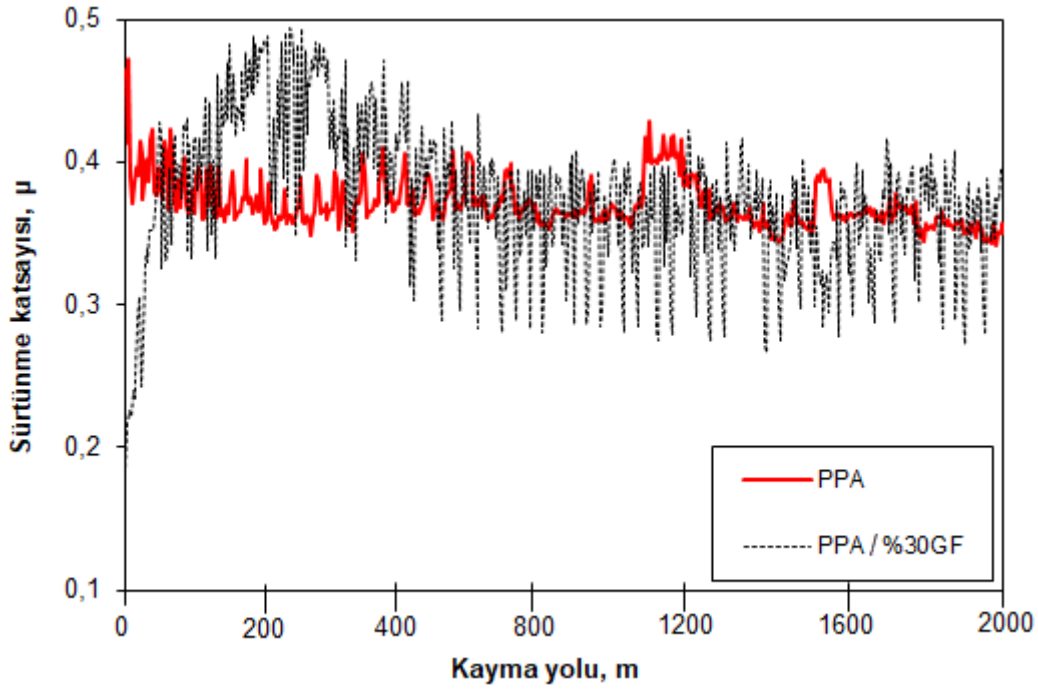
silisyum ve alüminyum gibi cam elyaf bileşiminde bulunan elementlerin varlığı gözlenirken 1 ve 2 numaralı noktalarda karbon ve oksijen elementlerinin yapıda var olduğu da görülmektedir. 1 numaralı EDS analizi sonucunda karbon, oksijen, sodyum, alüminyum, silisyum ve kalsiyumun oranları ağırlıkça sırasıyla % 10,93, % 54,06, % 0,46, % 6,64, % 21,11 ve % 6,79 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. PPA/%30GF kompozitin EDS analizi

### 3.2. Tribolojik Testler

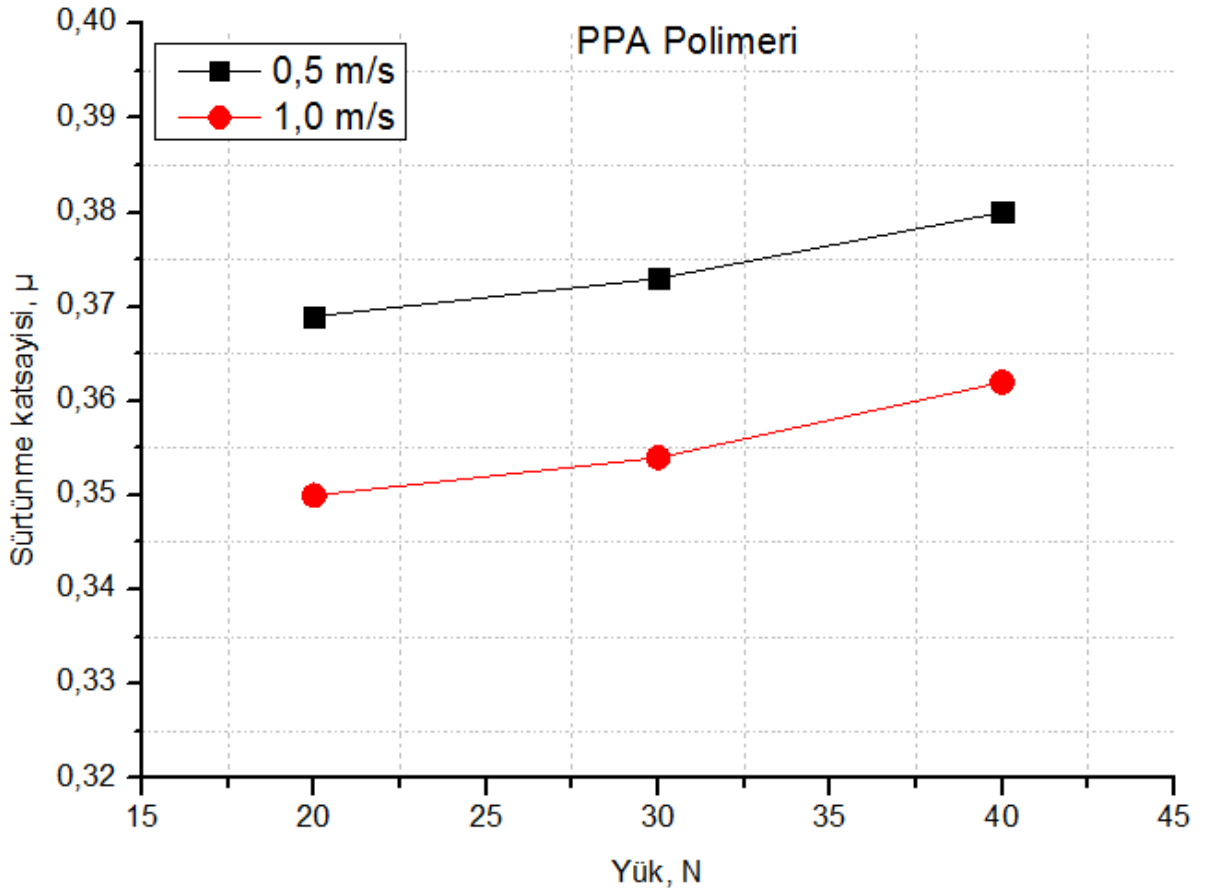
PPA polimeri ile PPA/%30GF polimer kompozitin 1,0 m/s kayma hızında ve 40 N yük altındaki kayma mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Başlangıç ve kararlı hal aşamaları olarak adlandırılan ve iki aşamada gerçekleşen sürtünme katsayısı değişimleri şekilde görülmektedir. PPA polimeri için kararlı hal aşamasına yaklaşık 100 m gibi kısa bir kayma mesafesi ile ulaşılırken PPA/%30GF polimer kompoziti için yaklaşık 400 m kayma mesafesinden sonra kararlı hal aşamasına ulaşılmıştır. Aşınma deneylerinin başlangıç aşamalarında, hem karşı disk hem de polimer pim numunelerin yüzey pürüzlülükleri yüksektir. Bu durum temas eden yüzeyler arasında kuvvetli etkileşime sebep olmakta ve yüksek sürtünme katsayısı oluşturmaktadır. Aşınma testi devam ettiği sürece karşı diskin kaba yüzey profili azalacak ve aynı zamanda test numunesi ısınacaktır. Uygulanan yük düşük olduğunda, karşı disk ve numune arasındaki temas bölgesindeki gerilimde daha düşük olacaktır. Aynı zamanda sürtünme ısı da daha düşük olacaktır. Uygulanan yük ve kayma hızı arttığında test malzemeleri arasındaki sürtünme ısı da artacak ve ilave aşınma parçacıkları numune üzerine yapışacaktır. Bu durum karşı disk yüzeyinde transfer film tabakası adı verilen ince bir film tabakasının oluşmasına ve dolayısıyla polimer-disk arasındaki temasın kesilerek sürtünme ve aşınma miktarının azalmasında önemli rol oynayacaktır. Carmona-Cervantes ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada da dolgu malzemelerinin, sert polimer matrise ilave edilmesi ile tribo-çift arasında bir transfer filmi oluşturan katı yağlayıcılar olarak hareket ettiğini ve sürtünme katsayısını azalttığını belirtmişlerdir.



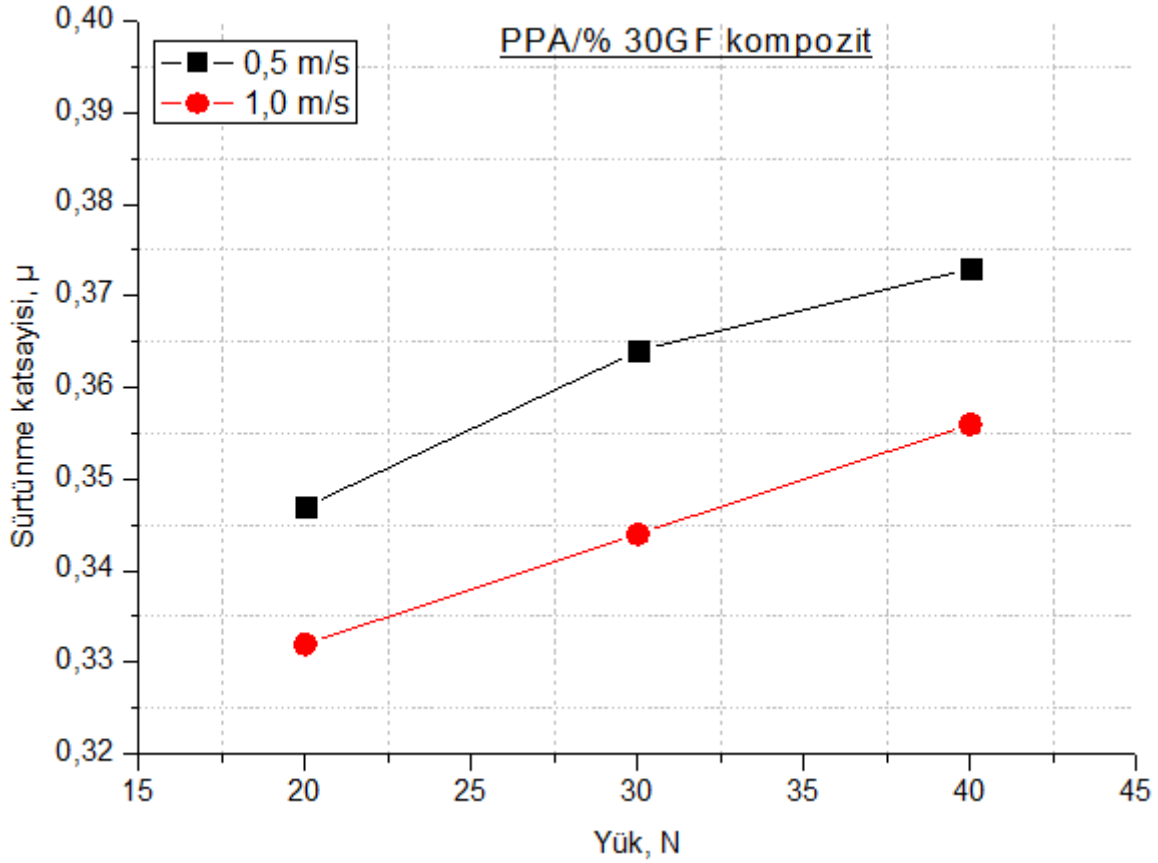
Şekil 5. PPA polimeri ve PPA/%30GF kompozitin kayma yolu-sürtünme katsayısı değişimi (Yük: 40 N, Hız 1,0 m/s)

Şekil 6’da katkısız PPA polimerinin 0,5 m/s ve 1,0 m/s kayma hızlarında yüke bağlı olarak sürtünme katsayılarındaki değişim verilmiştir. Şekilde görüldüğü düşük ve yüksek kayma hızlarında uygulanan yükün artması ile sürtünme katsayısı artmıştır. 0,5 m/s kayma hızında yükün 20 N’den 40 N’a artırılması ile sürtünme katsayısı % 2,98 oranında artarken 1,0 m/s kayma hızında yükün artması ile sürtünme katsayısı % 3,4 oranında artmıştır. PPA polimeri için hızın sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi incelendiğinde ise hızın artması ile sürtünme katsayısı yaklaşık olarak % 5 oranında azalmıştır. Uygulanan yük ve kayma hızı aralıklarında PPA polimeri için sürtünme katsayısı 0,35-0,38 arasında değiştiği belirlenmiştir. Şekil 7’de ise PPA/%30GF kompozitlerin uygulanan yük ve kayma hızlarında sürtünme katsayılarındaki değişim verilmiştir. Katkısız PPA polimerine benzer şekilde artan yük ve kayma hızı ile sürtünme katsayısının arttığı belirlenmiştir. 0,5 m/s sabit kayma hızında yükün artması ile birlikte PPA kompozitin sürtünme katsayısı % 7,4 oranında artış ile 0,347’den 0,373’e yükselmiştir. 1,0 m/s kayma hızı dikkate alındığında ise sürtünme katsayısı % 7,22 oranında artmıştır. Kayma hızının PPA kompozitlerin sürtünme katsayısı üzerine etkisi incelendiğinde ise artan kayma hızı ile birlikte sürtünme katsayısının azaldığı belirlenmiştir. Bu azalma 20, 30 ve 40 N yükler için sırasıyla % 4,5, % 5,8 ve % 4,7 oranlarında elde edilmiştir. Katkısız PPA polimeri ile PPA/%30GF kompozitin sürtünme katsayısı değerleri karşılaştırıldığında, PPA polimerine katılan % 30 oranındaki cam elyafın sürtünme katsayısını % 6,3 oranında azalttığı belirlenmiştir. Uygulanan kayma hızı ve yük aralıklarında en yüksek sürtünme katsayısı katkısız PPA polimerinde elde edilirken en düşük sürtünme katsayısı PPA/%30GF kompozitinde elde edilmiştir. Srinath ve Gnanamoorth (2005) yaptıkları çalışmada cam elyaf takviyeli naylon66 kompozitinin sürtünme katsayısının, katkısız naylon66 polimerinin sürtünme katsayısından daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Sürtünme katsayısında

yaşanan bu düşüşün sebebinin ise cam elyafların yapısındaki yüksek orandaki silisyumun etkisi ile adeta çelik disk yüzeyini zımparalayarak daha düzgün ve pürüzsüz yüzey oluşturması ile açıklamışlardır. Daha pürüzsüz yüzeylerin çelik disk yüzeyinde oluşması muhtemel sıcaklık artışı engelleyici ifade edilmiştir. Kim ve ark. (2014) ise PA 66 kompozitindeki kısa cam elyaflarının, kompozit yüzey üzerinde yüksek orandaki cam elyafı ile temas platoları oluşturarak sürtünme katsayısını azalttığını belirtmişlerdir. Cam elyaf ilavesi ile sürtünme özelliklerindeki değişimin temas yüzeylerinin değişen doğası ve özelliklerinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Temas sırasında, sert yüzey olan çelik disk ile yumuşak olan polimer arasındaki sistemden sert olan çelik ile yine sert olan cam elyaf temasına dönüşecektir. İlk durum daha yumuşak bir aşınma sürtünme mekanizmasını teşvik ederken ikinci durumda daha şiddetli bir aşınma sürtünme mekanizmasının baskın olacağı ve dolayısıyla polimer içerisindeki elyaf miktarı ile sürtünme katsayısının azaltılabileceği belirtilmiştir.



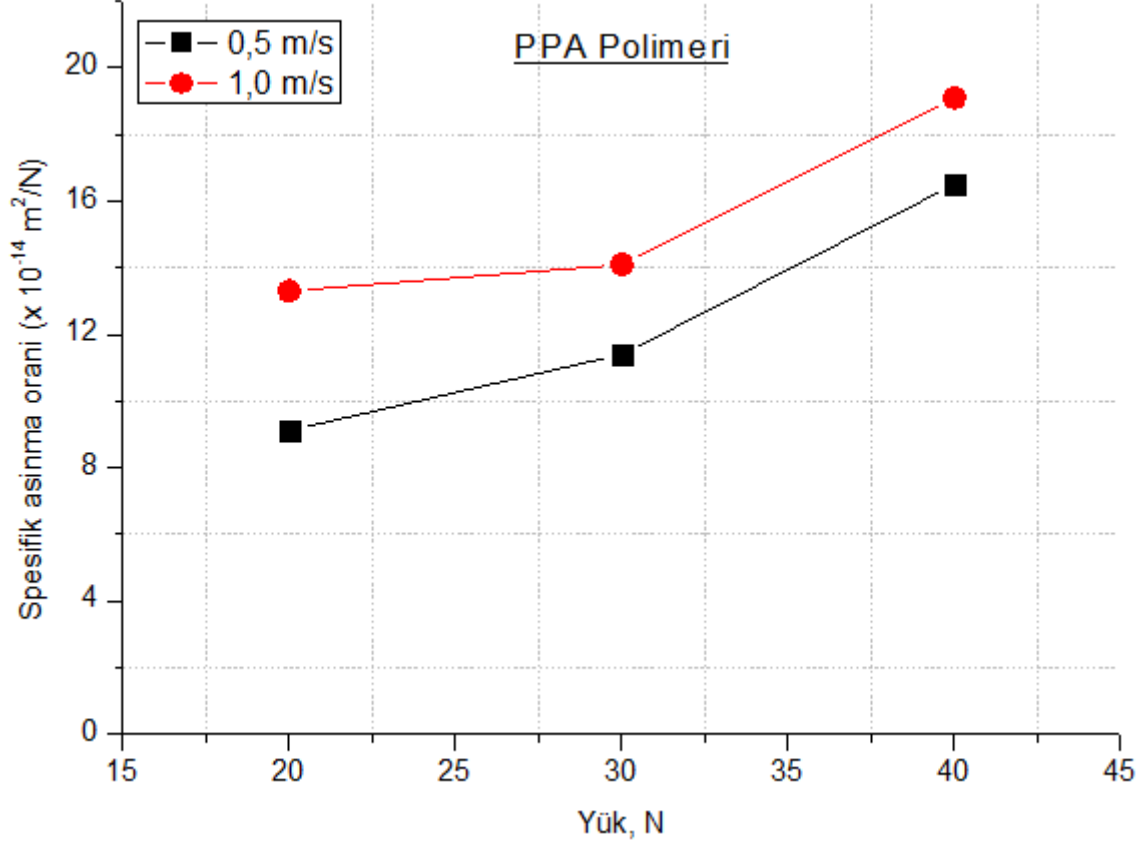
Şekil 6. PPA polimerinin yük-sürtünme katsayısı değişimi



Şekil 7. PPA/%30GF kompozitin yük-sürtünme katsayısı değişimi

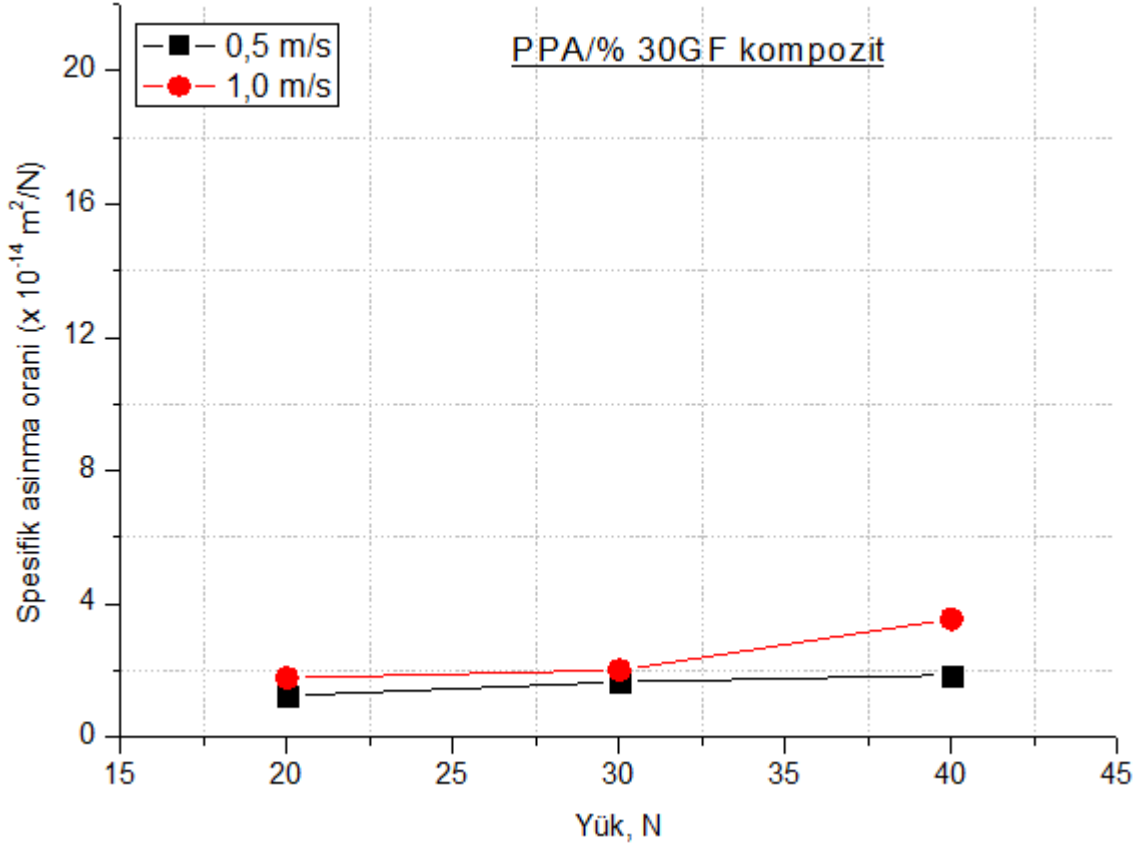
Şekil 8 ve 9’da sırasıyla katkısız PPA polimeri ile PPA/%30GF kompozitin uygulanan yük ve kayma hızlarına bağlı olarak spesifik aşınma oranı değişimleri verilmiştir. Her iki grafik incelendiğinde artan yüke bağlı olarak spesifik aşınma oranının arttığı belirlenmiştir. Bu artış katkısız PPA polimeri için 0,5 m/s kayma hızında % 81,1 oranında iken 1,0 m/s kayma hızında % 43,6 oranında elde edilmiştir. PPA/%30GF kompoziti için ise artan yük ile birlikte kayma hızına bağlı olarak artış oranları % 50 ve % 100 olarak elde edilmiştir. Şekil 8 ve 9’da görüldüğü gibi katkısız PPA polimerinde kayma hızının artması spesifik aşınma oranını artırmıştır. Her üç yük değeri için değerlendirme yapıldığında spesifik aşınma oranının ortalama % 28,4 oranında arttığı belirlenmiştir. Bu artış oranı PPA/%30GF kompoziti için ise ortalama % 51,6 oranında elde edilmiştir. PPA polimerine ilave edilen % 30 oranındaki cam elyafın etkisi incelendiğinde ise 0,5 m/s kayma hızında spesifik aşınma oranı ortalama % 670, 1,0 m/s kayma hızında ise % 564 oranında azaldığı belirtilmiştir. Uygulanan kayma hızı, yük ve katkı miktarı dikkate alındığında spesifik aşınma oranı üzerine etkili olan en önemli parametrenin katkı miktarının oranı olduğu belirlenmiştir. Bilindiği gibi, polimer malzemelerin aşınma prosesi, kırılma, tribokimyasal etki ve plastik akış kısımlarından meydana gelmektedir. Unal ve ark. (2006) yaptıkları çalışma sonucunda yükün artması sonucunda matris ve fiber arasındaki ara-yüzey bağının zayıflamasına sebep olarak kırılma mekanizmasının gerçekleşmesi ile aşınma oranının artacağı belirtilmiştir. Zhou ve ark. (2013) ile Luo ve ark. (2016), artan yapışma kuvveti ve pulluk nedeniyle

çok sayıda fiberin polimer matrisinden ayrıldığını ve polimer matrisin şiddetli mikro pulluk ve mikro kesme ile uzağa aktarıldığını, dolayısıyla uygulanan yükün artması ile kompozitlerin aşınma direncinin kötüleştiğini açıklamışlardır.



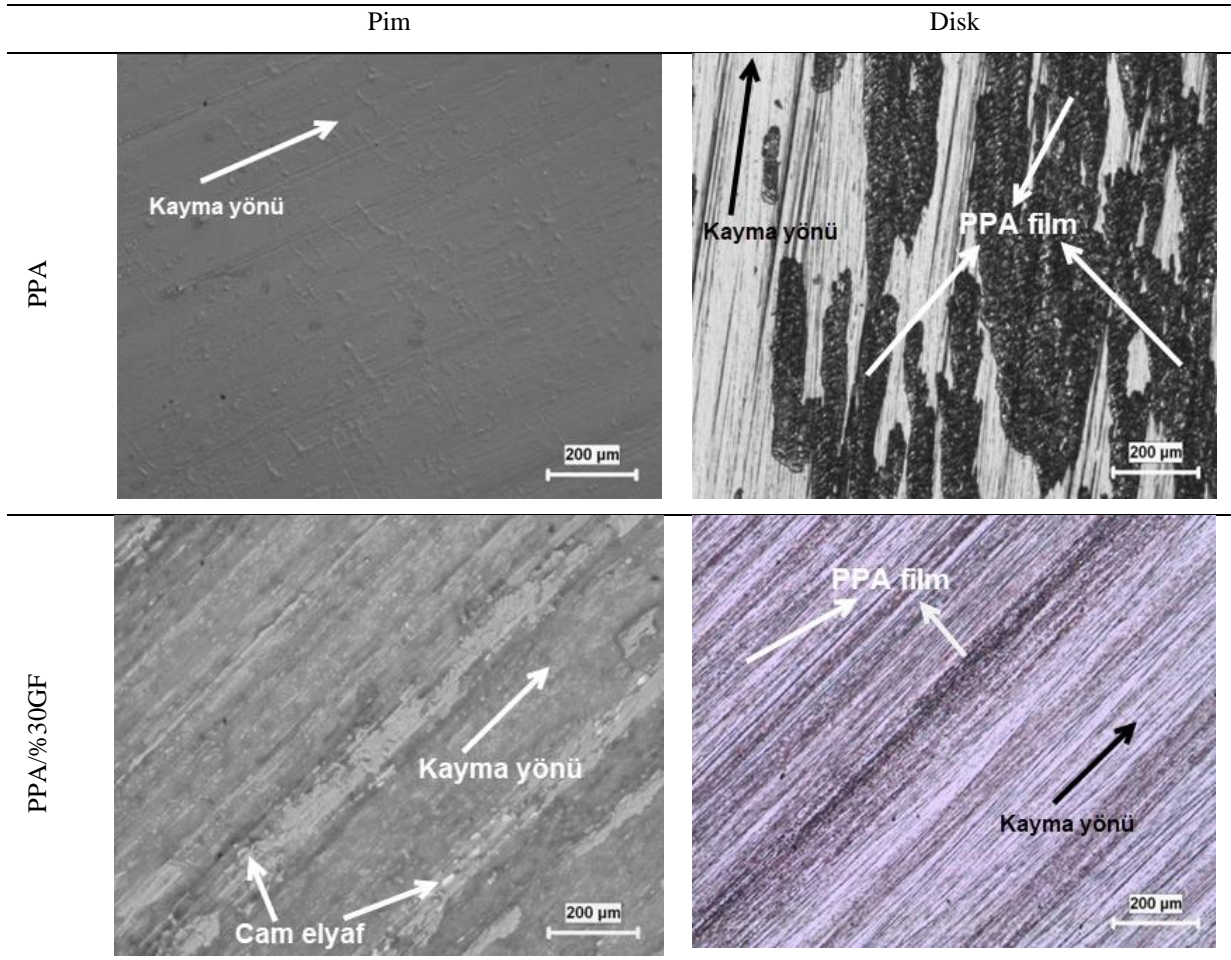
Şekil 8. PPA polimerinin yük-spesifik aşınma oranının değişimi





Şekil 9. PPA/%30GF kompozitin yük-spesifik aşınma oranının değişimi

Şekil 10'da PPA polimeri ile PPA/%30GF kompozit numunelere ait aşınma testi sonrası elde edilen pim ve disk optik resimleri verilmiştir. Katkısız PPA polimerinin aşınma yüzeylerinde kayma yönünde ince ama fazla sayıda aşınma kanalı yer aldığı, çelik diskte ise düzensiz bir şekilde transfer film tabakasının oluştuğu gözlenmiştir. Katkısız PPA polimerinin sünek özelliği nedeniyle kuru kayma şartları altında çelik diske yapıştığı dolayısıyla aşınma mekanizmasının abradif aşınma yerine adhezif (yapışma) şeklinde gerçekleştiği düşünülmektedir. PPA/%30GF kompozitine ait mikroyapı görüntülerinden, kompozite ait pim numunesi yüzeyinde, yapıda yer alan cam elyaflar görülebilmektedir. Aynı zamanda kayma yönünde aşınma kanalları da görülmektedir. Bunun yanında, çelik disk yüzeylerinde daha ince ancak tüm yüzey boyunca yayılmış ve homojen olarak dağılmış transfer film tabakasının şekillendiği görülmektedir. Fiber takviyeli PA66 kompozitin tribolojik özelliklerine metalik karşı diskin etkisi üzerine bir çalışma yapan Chen ve ark. (2003) temas süresince metalik karşı diskin çeşidine (alüminyum, pirinç veya farklı yüzey işlemlili veya ısıl işlemlili çelik) bağlı olarak cam elyaf takviyeli PA66 kompozitin aşınma direnci ve sürtünme katsayısını üzerine önemli oranda etkiye sahip olduklarını belirtmişlerdir. Metal yüzeyin kararlı bir polimer transfer filmi oluşturma kabiliyetinin tribolojik özelliklerde önemli derecede iyileşme sağladığı belirtilmiştir.



**Şekil 10.** Saf PPA polimeri ve PPA/%30GF kompozitin optik mikroskop görüntüleri (Yük: 40 N, Hız 1,0 m/s)

#### 4. Sonuç

Katkısız PPA polimeri ile PPA/%30GF kompozitlerin tribolojik özelliklerinin incelendiği çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

Katkısız PPA polimeri ile PPA/%30GF kompozitlerin uygulanan yükün artması ile sürtünme katsayısı artarken kayma hızının artması ile azalmıştır. Kayma hızı ve yüke bağlı olarak PPA polimerinin sürtünme katsayısı 0,35-0,38 aralığında değişirken cam elyaf takviyeli PPA kompozitinde 0,33-0,375 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. 0,5 m/s kayma hızı ve 40 N yük altında katkısız PPA polimerinde en yüksek sürtünme katsayısı elde edilirken 1,0 m/s kayma hızı ve 20 N yük altında PPA/%30GF kompozitinde en düşük sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Artan yük ve kayma hızı etkisi altında PPA polimeri ile PPA/%30GF kompozitlerin spesifik aşınma oranları artmıştır. PPA polimerine ilave edilen %30 oranındaki cam elyaf kompozitin spesifik aşınma oranını yaklaşık olarak en az 5 kat azalmasına sebep olmuştur. Cam elyaf takviyeli kompozit kullanımı katkısız PPA polimerine göre en az 5 kat çalışma ömrünü artıracaktır tespit edilmiştir. PPA polimerinde adhezif aşınma mekanizması gözlenirken cam elyaf takviyeli PPA kompozitinde cam elyaflardan dolayı abrazif aşınma mekanizması gözlenmiştir.

## **Teşekkür**

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2013-50-01-006).

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

## **Kaynakça**

- Cao L., Shuling D., Ziqin H., Zhidan L., Mingqing L., Peng Z., Wei L. Effects of carbon nanotube on mechanical, crystallization, and electrical properties of binary blends of poly(phenylene sulfide) and polyphthalamide. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2016; 125: 927-934.
- Carmona-Cervantes IA., Paredes-Mogica EA., Lopez-Cabrera HR., Figueroa-Lopez U., Vieyra-Ruiz H., Guevara-Morales A. Tribological behavior of glass fiber reinforced polyamide (PA-GF) and recycled polyvinyl butyral (r-PVB) blends. *Materials Letters* 2022; 319: 132261.
- Chen YK., Modi OP., Mhay AS., Chrysanthou A., O'Sullivan JM. The effect of different metallic counterface materials and different surface treatments on the wear and friction of polyamide 66 and its composite in rolling-sliding contact. *Wear* 2003; 255: 714-721.
- Djukic S., Anthony B., Jerome B., Didier RL. Mechanical properties of amorphous and semi-crystalline semi-aromatic polyamides. *Heliyon* 2020; 6: 03857.
- Feyzullahoglu E., Saffak Z. The tribological behaviour of different engineering plastics under dry friction conditions. *Materials and Design* 2008; 29: 205–211.
- Fıçıcı F., Ayparcası Z., Unal H. Influence of cutting tool and conditions on machinability aspects of polyphthalamide (PPA) matrix composite materials with 30 % glass fiber reinforced. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2017; 90: 3067-3073.
- Glenn PD. Characterization and properties of polyphthalamide/polyamide blends and polyphthalamide/polyamide/polyolefin blends. *Journal of Vinyl & Additive Technology* 1996; 2(3): 229-234.
- Gomez-Mares M., Arroyo-Ortega G., Martinez-Ortega ME., Reyes-Blas H., Hernandez-Paz JF., Marquez-Marquez C. Study of the effects of FAM B (test fuel) on the mechanical properties of an automotive polymer from the polyamide family (PA). *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology* 2015; 42(2): 61-66.
- Gratzl T., Van Dijk Y., Schramm N., Kroll L. Influence of the automotive paint shop on mechanical properties of continuous fibre-reinforced thermoplastics. *Composite Structures* 2019; 208: 557-565

- Gyorgy C., Anna S., Dora J. Effect of different fillers on thermal conductivity, tribological properties of Polyamide 6. *Scientific Reports* 2023; 13; 845
- Hatipoğlu G. Poli-tetra-flor-etilen katkılı poli-fital-amid polimer karışımlarının mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Smart Systems* 2014; II-III: 09-14.
- <http://www.hxgcs.com/en/product/288.html> (Erişim 03.03.2023)
- <https://www.stagnoligears.com/en/motor-gears/polyamide-ppa/> (Erişim 03.03.2023).
- Jozwik J., Krzysztof D., Marcin B., Mykhaylo P. Analysis and comparative assessment of basic tribological properties of selected polymer composites. *Materials* 2020; 13: 75.
- Kamlendra V., Shubrajit B., Sumit P. Effect of graphite on tribological and mechanical properties of PA6/5GF composites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2023; 148: 3341–3355.
- Kim JW., Jang H., Kim JWO. Friction and wear of monolithic and glass-fiber reinforced PA66 in humid conditions. *Wear* 2014; 309: 82-88.
- Kumar SS., Kanagaraj G. Investigation on mechanical and tribological behaviors of PA6 and graphite-reinforced PA6 polymer composites. *Arabian Journal for Science and Engineering* 2016; 41: 4347-4357.
- Li J., Xia YC. The friction and wear properties of thermoplastic PA6 composites filled with carbon fiber. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 2010; 23: 337-349.
- Luo W., Liu Q., Li Y., Zhou S., Zou H., Mei L. Enhanced mechanical and tribological properties in polyphenylene sulfide/polytetrafluoroethylene composites reinforced by short carbon fiber. *Composites Part B: Engineering* 2016; 91: 579-588.
- Mateo G de G., Manjusri M., Amar KM. Polyphthalamide polymers: A review on synthesis, properties, and advance manufacturing and emerging applications. *Journal of Applied Polymer Science* 2022; 139: 52965.
- Mateo G de G., Manjusri M., Arturo RU., Amar KM. Insights on the structure-performance relationship of polyphthalamide (PPA) composites reinforced with high-temperature produced biocarbon. *RSC Advances - The Royal Society of Chemistry* 2020; 10: 26917.
- Mateo G de G., Manjusri M., Stefano G., Amar KM. Statistical Design of Biocarbon Reinforced Sustainable Composites from Blends of Polyphthalamide (PPA) and Polyamide 4,10 (PA410). *Molecules* 2021; 26: 5387.
- Meng H., Sui GX., Xie GY., Yang R. Friction and wear behavior of carbon nanotubes reinforced polyamide6 composites under dry sliding and water lubricated condition. *Composites Science and Technology* 2009; 69: 606-611.
- Mimaroglu A., Unal H., Yetgin SH. Tribological properties of nanoclay reinforced polyamide-6/polypropylene blend. *Macromolecular Symposia* 2018; 379: 1700022.
- Myshkin NK., Pesetskii SS., Grigoriev AY. Polymer tribology: currentstate and applications. *Tribology in Industry* 2015; 37: 284-290.

- Neis PD., Ferreira NF., Poletto JC., Sukumaran J., Andó M., Zhang Y. Tribological behavior of polyamide-6 plastics and their potential use in industrial applications. *Wear* 2017; 376-377: 1391-1398.
- Pogacnik A., Kupec A., Kalin M. Tribological properties of polyamide (PA6) in self-mated contacts and against steel as a stationary and moving body. *Wear* 2017; 378-379: 17-26.
- Sandro DM., Antidio de OSN., Maria Odila HC, Eduardo CB. Replacement of metallic parts for polymer composite materials in motorcycle oil pumps. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 2017; 36(2): 149-160.
- Srinath G., Gnanamoorthy R. Effect of short fibre reinforcement on the friction and wear behaviour of nylon 66. *Applied Composite Materials* 2005; 12: 369-383
- Stachowiak GW., Batchelor AW. *Wear of non-metallic materials*. In *Engineering Tribology Third Ed.* Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann 2006; 651-704.
- Takayuki O., Yosuke N. Influence of Addition of PTFE on the Tribological Properties of CF Reinforced Plant-Derived Semi-Aromatic Polyamide (PA10T) Biomass Composites. *AIP Conference Proceedings* 2019; 2065: 040008.
- Takenaka Y., Nishitani Y., Kitano T. Tribological properties of PTFE filled plants-derived semi-aromatic polyamide (PA10T) and GF reinforced PTFE/PA10T composites. *AIP Conference Proceedings* 2015; 1664(1): 060009.
- Unal H., Gizem H., Yetgin SH. Poli-Fital-Amid (PPA) Polimerinin tribolojik özelliklerine karbon fiber ve kayma hızının etkisinin incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2016; 4: 167-175.
- Unal H., Mimaroglu A., Serdar V. Dry sliding performance of thermoplastics against reinforced unsaturated polyester (BMC): In use in electrical contact breakers components. *Wear* 2006; 841-847.
- Unal H., Mimaroglu A. Friction and wear behaviour of unfilled engineering thermoplastics. *Materials and Design* 2003; 24: 183-187.
- Unal H., Sen U., Mimaroglu A. Dry sliding wear characteristics of some industrial polymers against steel counterface. *Tribology International* 2004; 37: 727-732.
- Yi-Lan Y., Du-Xin L., Gao-Jie S., Ruo-Yun L., Xin D. Improvement in the tribological properties of polyamide 6: Talc, glass fiber, graphite, and ultrahigh-molecular-weight polyethylene. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 2016; 29(4): 494-507.
- Zhou S., Huang J., Zhang Q. Mechanical and tribological properties of poly-amide-based composites modified by thermoplastic polyurethane. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 2014; 27: 8-34.
- Zhou S., Qiaoxin Z., Chaoqun W., Jin H. Effect of carbon fiber reinforcement on the mechanical and tribological properties of polyamide6/polyphenylene sulfide composites. *Materials & Design* 2013; 44: 493-499.

## Yerli ve Yabancı Yumurtacı Tavuk Hibritlerinde (Atabey, Decalp White ve Nick Chick) Yumurta İç ve Dış Kalite Özelliklerinin Karşılaştırılması

Kadriye KURŞUN<sup>1\*</sup>, Melis ÇELİK GÜNEY<sup>2</sup>, Mikail BAYLAN<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, 01330, Adana

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9533-7391>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6825-6884>

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6299-5811>

\*Sorumlu yazar: kadriyehatipoglu01@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.04.2023

Kabul tarihi: 14.08.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Dış kalite  
Ak indeksi  
Sarı indeksi  
E değeri

### ÖZ

Bu çalışma, bazı yerli ve yabancı yumurtacı tavuk hibritlerinde (Atabey, Decalp White ve Nick Chick) yumurta iç ve dış kalite özelliklerinin karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır. Yumurta iç kalite özelliklerinden sarı indeksi, ak indeksi, haugh birimi, pH, L (parlaklık), a (kırmızılık), b (sarılık), E değerleri; yumurta dış kalite özelliklerinden ise kabuk ağırlığı, kırılma direnci, şekil indeksi, yumurta ağırlığı araştırmaya dahil edilmiştir. Yumurta kalite analizi için 33 haftalık yaştaki her bir genotipten 60'ar adet yumurta alınarak toplamda 180 adet yumurta incelenmiştir. Varsayımları sağlayan kalite özelliklerine tek yönlü varyans analizi ve Duncan testi; varsayımları sağlamayan kalite özelliklerine ise Kruskal Wallis-H testi ve Dunn testi uygulanmıştır. Bu analizler sonucunda, ak indeksi, kabuk ağırlığı, ak pH değeri, yumurta ağırlığı, Haugh birimi, kırılma direnci, b ve E değerleri bakımından hibritler arasındaki farklılığın önemli olduğu belirlenmiştir ( $P<0,01$ ).

### Comparison of Egg Internal and External Quality Traits in Domestic and Foreign Layer Chicken Hybrids (Atabey, Decalp White and Nick Chick)

#### Research Article

#### Article History:

Received: 25.04.2023

Accepted: 14.08.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

External quality  
Albumen index  
Yolk index  
E value

#### ABSTRACT

This study was carried out to compare the internal and external egg quality characteristics of some domestic and foreign layer hen hybrids (Atabey, Decalp and Nick Chick). Internal egg quality characteristics such as yolk index, albumen index, haugh unit, pH, L (lightness), a (redness), b (yellowness), E values and external egg quality characteristics such as shell weight, shell breakage resistance, shape index, egg weight were included. For egg quality analysis, 60 eggs were taken from each genotype at 33 weeks of age, and a total of 180 eggs were examined. One-way analysis of variance (ANOVA) and Duncan test to the quality characteristics providing the assumptions; Kruskal Wallis-H test and Dunn test were applied to the quality characteristics that did not provide the assumptions. As a result of these analyzes, it was determined that the difference between the hybrids was significant in terms of white index, shell weight, albumen pH value, egg weight, Haugh unit, breaking resistance, b and E values ( $P<0.01$ ).

**To Cite:** Kurşun K., Çelik Güney M., Baylan M. Yerli ve Yabancı Yumurtacı Tavuk Hibritlerinde (Atabey, Decalp White ve Nick Chick) Yumurta İç ve Dış Kalite Özelliklerinin Karşılaştırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 141-149.

## 1. Giriş

Tavuklardan elde edilen başlıca ürünlerden biri yumurtadır. Yumurta, tüm dünyada her milletten insan tarafından tüketilen son derece sağlıklı, besleyici, kaliteli ve ulaşılabilir bir hayvansal üründür. Geçmişten günümüze yumurtacı tavukların verim döneminde verdikleri yumurta sayıları, yapılan ıslah çalışmaları ile çok iyi seviyelere ulaşmıştır. Üretimde saf hatlar yerine hibrit materyallerin kullanılmaya başlanmasıyla yumurta veriminde artışlar olmuştur. Günümüz yumurta tavukçuluğu üretim sistemlerinde çoğunlukla ebeveynlerine göre daha iyi performans gösteren, yaşama gücü yüksek, daha yüksek verim veren ve bir örnek olan hibrit tavuklar kullanılmaktadır (Türkoğlu ve Sarıca, 2018). Hibrit tavuklar, ticari üretimde genellikle bir üretim dönemi kullanılmakta, piyasanın durumuna göre üretim dönemi sonunda ya elden çıkarılmakta ya da tüy dökümüne sokularak bir üretim dönemi daha elde tutulabilmektedir. Piyasada yaygın olarak kullanılan yabancı yumurtacı hibrit tavuklardan bazıları; Hy-line, Lohman, Nick, İsa, Babcock gibi firmaların kontrolündedir. Türkiye'de 1995 yılında Ankara Tavukçuluk Araştırma Enstitüsü tarafından yapılan ıslah çalışmalarıyla biri beyaz yumurtacı Atabey, ikisi kahverengi yumurtacı Atak ve Atak-S olmak üzere 3 adet ticari yerli hibrit geliştirilmiştir (Durmuş ve ark., 2009). Tarım ve Orman Bakanlığı Evcil Hayvan Genetik Kaynakları Tescil Komitesinin 20.12.2019 tarihli Kararı 10 Eylül 2020 tarih ve 31240 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak Akbay yerli beyaz yumurtacı hibrit tavuk tescillenmiştir (Canoler, 2020). Bu kurumda gerçekleştirilen ıslah çalışmaları ile hibrit genotiplerin özellikle canlı ağırlık, yem tüketimi, yumurta verimi, yumurta kalitesi gibi özelliklerini yabancı kökenli hibritlerle rekabet edebilecek seviyelere çıkarmaya çalışılmaktadır (Türker ve ark., 2017). Özellikle son yıllarda elde edilen yumurtaların verimi kadar kalitesi de üzerinde durulan önemli konulardan biridir. Kalite, kişiden kişiye değişebilen bir kavramdır ve kaliteyi etkileyen pek çok unsur vardır. Yetiştirme sistemleri, yumurtanın rengi, tavukların genotipi, tavukların yaşı, sağlık durumu, iklim, verilen yem ve içeriği, verim dönemi, kümes koşulları gibi pek çok faktör yumurta kalitesini etkilemektedir.

Bu araştırma, bazı yerli ve yabancı yumurtacı tavuk hibritlerinin (Atabey, Decalp White ve Nick Chick) yumurta iç ve dış kalite özelliklerinin karşılaştırılması amacıyla yürütülmüştür.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırmanın materyalini Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Araştırma Uygulama Çiftliği Tavukçuluk Biriminde 3 nolu yumurta tavukçuluğu kümesinde, kafes sisteminde; 3 katlı ve her bir kafes gözü 57cm x 57cm x 40cm (Uzunluk, genişlik, yükseklik) ölçülerinde olan, her bir kafes gözünde 4 tavuk/kafes olacak şekilde yerleştirilen sistemde yetiştirilen Atabey, Decalp White ve Nick Chick hibrit tavuklar oluşturmuştur. Deneme gruplarına, yapısında %17 ham protein ve 2750 kcal/kg metabolik enerji (ME) içeren ticari yumurta yemi verilmiştir. Yem ve su serbest olarak verilmiştir. Yumurtlama dönemi boyunca kontrollü kümeslerde aydınlatma programı, 16 saat aydınlık, 8 saat karanlık olacak şekilde ayarlanmıştır. Aynı yaş grubuna ait olan deneme hayvanları 33 haftalık yaşa geldiğinde yumurta iç ve dış kalite özelliklerini belirlemek amacıyla her gruptan 60 adet yumurta alınarak toplam 180 adet yumurtada kalite analizi yapılmıştır. Yumurtalar 24 saat 24°C sıcaklıktaki

odada bekletildikten sonra analizler yapılmıştır. Yumurta iç kalite özelliklerinden sarı indeksi, ak indeksi, haugh birimi, pH, L (parlaklık), a (kırmızılık), b (sarılık), E değerine; yumurta dış kalite özelliklerinden ise kabuk ağırlığı, kırılma direnci, şekil indeksi ve yumurta ağırlığı tespit edilmiştir. Yumurtanın eni ve boyu 0,1 mm hassas digital kumpasla ölçülmüştür. Yumurta sarısının L, a, b değerleri Konica Minolta Clorometer CR-300 cihazı ile belirlenmiştir (Hunt ve ark., 1991; Altan ve ark., 2001). Yumurtanın kabuk kırılma direncini ölçmek için Egg Force Reader (06-UM-001, Version B, Orka Food Tech. Ltd., Hong Kong, China) cihazı kullanılmıştır. Kabuk ağırlığı, kırılan yumurtaların iç yüzeyi iyice kurulandıktan sonra 0,01 g hassas terazi ile tartılarak ağırlıklar kaydedilmiştir. Kabuk kırılma direnci  $\text{kg/cm}^2$  olarak ifade edilmiştir. Ak pH seviyesi, pH-metre ile belirlenmiştir. Tartımlar 0,01 g hassasiyetli terazi ile yapılmıştır. E değeri; L, a ve b değerinin karelerinin toplamın karekökü alınarak hesaplanmakta ve yumurta sarısının rengini ifade etmektedir. E değeri, şekil indeksi, ak indeksi, sarı indeksi ve Haugh biriminin hesaplanmasında aşağıdaki formüllerden yararlanılmıştır.

$$E \text{ değeri} = \sqrt{L^2 + a^2 + b^2}$$

$$\text{Şekil İndeksi} = [\text{Yumurta Eni} / \text{Yumurta Boyu}] \times 100$$

$$\text{Ak İndeksi} = [\text{Yumurta Akının Yüksekliği (mm)} / (\text{Yumurta Akının Uzunluk ve Genişlik Ortalaması (mm)})] \times 100$$

$$\text{Sarı İndeksi} = [\text{Sarı Yüksekliği (mm)} / \text{Sarı Genişliği (mm)}] \times 100$$

$$\text{Haugh Birimi} = 100 \text{ Log} (H + 7,57 - 1,7 \times G^{0,37}) \quad (H: \text{Ak Yüksekliği (mm)}, G: \text{Yumurta Ağırlığı (g)})$$

Atabey, Decalp White ve Nick Chick ırklarına ait verilerin normallik varsayımı kontrolü için Shapiro Wilks testi; homojenlik varsayımı kontrolü için Leven testi kullanılmıştır. Varsayımları sağlayan kalite özelliklerine tek yönlü varyans analizi; varsayımları sağlamayan kalite özelliklerine ise Kruskal Wallis-H testi uygulanmıştır. Gruplar arasındaki farklılığın belirlenmesinde Duncan ve Dunn testi kullanılmıştır. Tek yönlü varyans analizinin matematiksel modeli (1) nolu eşitlik ile verilmiştir (Efe ve ark., 2020).

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, t \quad j = 1, 2, \dots, r \quad (1)$$

Burada;

$Y_{ij}$ : i. ırkın, j. tekerrürüne ait gözlem değerini,

$\mu$ : Genel populasyon ortalamasını,

$\alpha_i$  i. ırka ait etki payını

$e_{ij}$ : i. ırkın, j. tekerrürüne ait deneme hatasını göstermektedir.



Kruskal Wallis-H testinin formülü (2) nolu eşitlik ile verilmiştir (Quraissy ve ark., 2021).

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1) \sim \chi^2_{(k-1, \alpha)} \quad (2)$$

Burada;

$R_i^2$ : i. ırka ait sıra sayıları toplamının karesini,

N: Tüm birleştirilmiş gruptaki gözlem sayısını,

$n_i$ : i. örnekteki gözlem sayısını göstermektedir.

$H > \chi^2_{(k-1, \alpha)}$  veya  $P < 0,05$  olması durumunda ırkların medyan değerlerinin en az birinin farklı sonucuna varılmaktadır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan istatistik analiz sonucuna göre önemli bulunan iç kalite özellikleri ak indeksi, ak pH ve a değeridir. Ortalama Ak indeksi değerleri Atabey için 10,756, Decalp için 12,269 ve Nick Chick için 11,687 olarak, ortalama ak pH değeri Atabey için 8,408, Decalp White için 8,303 ve Nick Chick için 8,354 olarak hesaplanmıştır. Yumurta sarı rengi özelliklerinden olan a (kırmızılık) değeri ortalamaları ise Atabey için 17,145, Decalp White için 16,607 ve Nick Chick için 16,758 olarak ölçülmüştür. Dış kalite özelliklerinden kabuk ağırlıkları ortalamaları ise sırasıyla Atabey için 6,357 g, Decalp White için 6,891 g ve Nick Chick için 6,869 g olarak ölçülmüştür. Yapılan analizler neticesinde ortalama ak indeksi, kabuk ağırlığı, ak pH ve a değeri varsayımları sağlarken ( $P > 0,05$ ) diğer kalite özellikleri sağlamadığı tespit edilmiştir. ( $P < 0,05$ ). Varsayımları sağlayan kalite özelliklerine uygulanan tek yönlü varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 1’de, varsayımları sağlamayan kalite özelliklerine uygulanan Kruskal Wallis-H ve Dunn testi sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Yumurta kalite özelliklerinin Tek Yönlü Varyans Analiz ve Duncan testi sonuçları

Kalite Özellikleri	Hibritler			P
	Atabey ( $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ )	Decalp White ( $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ )	Nick Chick ( $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ )	
Ak indeksi (%)	10,756±0,196 <sup>c</sup>	12,269±0,213 <sup>a</sup>	11,687±0,193 <sup>b</sup>	0,000**
Kabuk ağırlığı (g)	6,357±0,060 <sup>b</sup>	6,891±0,064 <sup>a</sup>	6,869±0,059 <sup>a</sup>	0,000**
Ak Ph	8,408±0,017 <sup>a</sup>	8,303±0,023 <sup>b</sup>	8,354±0,020 <sup>ab</sup>	0,002**
a	17,145±0,167	16,607±0,188	16,758±0,142	0,06

\*:  $P < 0,05$ , \*\*:  $P < 0,01$

Tablo 1'e göre Decalp genotipinin diğer genotiplere göre daha yüksek ak indeksine sahip olduğu görülmüştür ( $P < 0,01$ ). Friars ve ark. (1978), yumurta ak indeksinin normal sınırlarının %8-11,8 arasında olması gerektiğini bildirmiştir. Yabancı hibrit Decalp'e ait ak indeks değeri normal sınırların üzerindedir. Elde edilen değerler Benli ve Durmuş (2015) ile Artan ve Durmuş (2015)'in bildirdiği değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Ayaz (2019), yumurtacı hibrit tavukta yumurta ak indeksini kafes sisteminde %8,53 olarak bulmuştur. Durmuş ve Türkoğlu (2007), 4 farklı yumurtacı

melez tavukla yaptıkları çalışmada ak indeksi değerini % 11,62, % 10,17, %10,62, %10,71 olarak tespit etmişlerdir. Hatipoğlu (2017), 32 haftalık yaştaki yerli hibritlerde kafes sisteminde ak indeksi değerini %10,09 olarak bulmuştur. Bu veriler çalışmanın sonuçları ile benzerlik göstermekte olup, sonuçları destekler niteliktedir. Kabuk ağırlığı bakımından en yüksek ortalama değerler 6,891 g ile Decalp ve 6,869 g ile Nick genotipinde görülmüştür (P<0,01). Hatipoğlu (2017), ATAK-S yerli yumurtacı hibrit ile yaptığı çalışmada kabuk ağırlığını kafes siteminde ortalama 6,55 g olarak belirlemiştir. Ak pH değeri Atabey genotipinde en yüksek, Decalp genotipinde ise en düşük olduğu görülmüştür (P<0,01). Sarıca ve Erensayın (2009), taze yumurtalarda ortalama ak pH değerinin 7,6-9,3 ile nötr ve bazik değerler arasında değişerek bu aralıkta olması gerektiğini vurgulamıştır. Bu çalışmada bulunan her üç ırkın ortalama ak pH değeri istenilen sınırlar içerisinde yer almaktadır. Hatipoğlu (2017), Atak-S yerli yumurtacı hibritte ortalama ak pH değerini 8,38 olarak, Çakıroğlu ve ark. (2022), Hy-line Brown yumurtacı hibritte ortalama ak pH değerini 7,45 olarak, Ayaz ve ark. (2022), Atak-S yerli yumurtacı hibritte ise ortalama ak pH değerini 7,86 olarak tespit etmiştir.

Yumurta sarı rengi özelliklerinden biri olan a değeri bakımından ırklar arasında istatistiki olarak önemli bir fark bulunmamıştır (P>0,05). Atabey, Decalp White ve Nick Chick genotipleri için a değeri sırasıyla ortalama 17,145, 16,607 ve 16,758 olarak ölçülmüştür. Kafes sisteminde Atak-S genotipinde Hatipoğlu (2017), a değerini ortalama 23,16 olarak, Ayaz ve ark. (2022), ortalama 15,326 olarak bulurken, Çakıroğlu (2020), Hy-Line Brown genotipinde ortalama 17,286 olarak tespit etmişlerdir. Daha önce yapılan bu çalışmalar, elde edilen sonuçları destekler niteliktedir.

**Tablo 2.** Yumurta kalite özelliklerinin Kruskal Wallis-H testi ve Dunn çoklu karşılaştırma testi Sonuçları

Kalite Özellikleri	Hibritler				Dunn çoklu karşılaştırma		
	Atabey ( $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ )	Decalp White ( $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ )	Nick Chick ( $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ )	P	Atabey- Decalp White	Atabey- Nick Chick	Decalp White- Nick Chick
					P	P	P
Yumurta ağırlığı (g)	58,813±0,452	61,731±0,559	61,716±0,673	0,000**	0,000**	0,000**	0,698
Şekil İndeksi (%)	75,705±0,350	75,678±0,287	75,254±0,267	0,274	-	-	-
Sarı İndeksi (%)	43,586±0,434	43,597±0,265	44,274±0,366	0,290	-	-	-
Haugh Birimi	90,005±0,671	95,022±0,598	93,031±0,592	0,000**	0,000**	0,004**	0,023*
Kırılma Direnci (kg/cm <sup>2</sup> )	3,994±0,087	4,501±0,097	4,581±0,107	0,000**	0,000**	0,000***	0,627
L	59,037±0,577	59,488±0,191	59,636±0,160	0,627	-	-	-
b	61,298±0,665	59,648±0,461	59,005±0,422	0,003**	0,013**	0,001**	0,425
E	86,992±0,529	85,928±0,313	85,604±0,264	0,001**	0,004**	0,001**	0,604

33 haftalık yaştaki ortalama yumurta ağırlık değerleri sırasıyla Atabey için 58,813 g, Decalp White için 61,731 g ve Nick Chick için 61,716 g olarak ölçülmüştür. Yumurta ağırlığı bakımından genotipler arasındaki farklılık istatistiki olarak önemli bulunmuştur ( $P<0,01$ ) ve bu farklılığın Atabey-Decalp White ve Atabey-Nick Chick genotiplerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Kafes sisteminde yumurta ağırlığını, Hatipoğlu (2017), Atak-S genotipinde 21-58 haftalık yaşta ortalama 59,53 g olarak, Ayaz ve ark. (2022), Atak-S genotipinde 60 haftalık yaşta 61,80 g olarak, Durmuş ve Kamanlı (2012), Atak-S genotipinde 30 haftalık yaşta 3 farklı grupta sırasıyla 57,79 g, 58,13 g, 57,69 g olarak, Çakıroğlu (2020), Hy-line Brown genotipinde 32 haftalık yaşta 64,62 g olarak ölçmüştür. Elde edilen değerler, yapılan pek çok çalışma sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Atabey, Decalp White ve Nick Chick genotipleri için Haugh birimi değerleri sırasıyla ortalama 90,005, 95,022 ve 93,031 olarak hesaplanmıştır. Türk Standardları Enstitüsü tarafından belirlenen Haugh birimi değerlerine göre 3 genotipe ait yumurtalar A sınıfına ( $>72$  Haugh Birimi) girmektedir (TSE, 2015). Haugh birimi bakımından genotipler arasındaki farklılık istatistiki olarak önemli bulunmuştur ( $P<0,01$ ) ve bu farklılık Atabey-Decalp White, Atabey-Nick Chick ( $P<0,01$ ) ve Decalp White-Nick Chick ( $P<0,05$ ) genotiplerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Sarıca ve ark. (2010), kafeste yetiştirilen yerli ve yabancı hibrit yumurtacılarla yaptıkları çalışmada Haugh birimini Brown Nick genotipi için 80,23, Supernick genotipi için 91,83 ve Atabey genotipi için 86,54 birim olarak ölçmüşler ve istatistiki açıdan önemli bir farklılık olduğunu belirtmişlerdir ( $P<0,01$ ). Hatipoğlu (2017), Atak-S genotipinde Haugh birimini ortalama 88,42, Ayaz ve ark. (2022), Atak-S genotipinde ortalama 81,41 olarak, Yardım ve Akşit (2021), Atak-S genotipinde ortalama 84,90 olarak ölçmüşlerdir. Çalışmada elde edilen değerler mevcut çalışmaların sonuçlarından daha yüksektir. Ekinci (2013), yumurta dış kalite özelliklerinden kabuk kırılma direncine ait değerlerin genellikle 1,6-4,3  $\text{kg/cm}^2$  değerleri arasında değiştiğini bildirmiştir. Çalışmada, kabuk kırılma direnci değerleri Atabey, Decalp White ve Nick Chick genotipleri için sırasıyla 3,994, 4,501 ve 4,581  $\text{kg/cm}^2$  olarak ölçülmüştür. Kırılma direnci bakımından genotipler arasındaki farklılık istatistiki olarak önemli bulunmuştur ( $P<0,01$ ) ve bu farklılığın Atabey-Decalp White ve Atabey-Nick Chick genotiplerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Hatipoğlu (2017), Atak-S genotipinde kabuk kırılma direnci değerini kafes sisteminde 3,94  $\text{kg/cm}^2$  olarak, Çakıroğlu ve ark. (2022) ise Hy-Line Brown genotipinde 4,73  $\text{kg/cm}^2$  olarak ölçmüşlerdir. Sarıca ve ark. (2010), kafeste yetiştirilen yerli ve yabancı hibrit yumurtacılarla yaptıkları çalışmada kırılma direncini Brown Nick genotipi için 3,16, Supernick genotipi için 3,43 ve Atabey genotipi için 2,45  $\text{kg/cm}^2$  olarak bulmuşlardır. Artan ve Durmuş (2015), kafes sisteminde kırılma direncini 2,831  $\text{kg/cm}^2$  olarak ölçmüşler ve istatistiki açıdan önemli bir farklılık olduğunu belirtmişlerdir ( $P<0,01$ ). Çalışmanın sonuçları önceki çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Yumurta sarı rengi özelliklerinden biri olan b (sarılık) değeri Atabey, Decalp White ve Nick Chick genotipleri için sırasıyla ortalama 61,298, 59,648 ve 59,005 olarak ölçülmüştür. E değeri ise yumurta sarısının L, a ve b değerlerini kapsayan bir değerdir ve Atabey, Decalp White ve Nick Chick genotipleri için sırasıyla 86,992, 85,928 ve 85,604 birim olarak hesaplanmıştır. E ve b değeri

bakımından genotipler arasındaki farklılıklar istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ( $P < 0,01$ ) ve bu farklılığın Atabey-Decalp White ve Atabey-Nick Chick genotiplerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Ayaz ve ark. (2022), Atak-S yerli hibrit tavukta b değerini 49,959, E değerini 76,928 olarak, Hatipoğlu (2017), Atak-S yerli hibrit tavukta b değerini 54,33, E değerini ise 78,99 olarak hesaplamıştır. Çakıroğlu (2020), Hy-line Brown yabancı yumurtacı hibrit tavukta b değerini 49,286, E değerini ise 76,019 olarak tespit etmiştir. Yerli ve yabancı yumurtacı hibrit genotipler için bulunan b ve E değerleri mevcut çalışmanın sonucundan daha düşüktür. Bu farklılığın ana nedeni genotip farklılığından kaynaklanabilmektedir.

#### **4. Sonuç**

Yerli ve yabancı yumurtacı hibritlerde (Atabey, Decalp White ve Nick Chick ) yumurta iç ve dış kalite özelliklerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan bu çalışmada, elde edilen veriler doğrultusunda yumurta iç kalite özelliklerinden ak indeksi, b ve E değerleri, Haugh birimi, ak pH değeri ile dış kalite özelliklerinden yumurta ağırlığı, kabuk ağırlığı, kırılma direnci dikkate alındığında, genotiplerden Decalp White genotipinin daha avantajlı olduğu söylenebilir. Bundan sonraki çalışmalarda farklı genotipten yumurtacı tavukların, farklı yaş ve farklı bölgelerde, farklı yetiştirme sistemlerinde de verim performansı ve yumurta kalite özelliklerinin belirlenmesi, özellikle yetiştiricilere üretimde kullanacakları hibrit seçiminde katkı sağlayacaktır.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler

#### **Kaynakça**

- Altan A., Bayraktar H., Önenç A. Etlik piliçlerde sıcak stresinin et rengi ve pH'sı üzerine etkileri. Hayvansal Üretim 2001; 42(2):1-8.
- Artan S., Durmuş İ. Köy. Serbest ve kafes sistemlerinde üretilen yumurtaların kalite özellikleri bakımından karşılaştırılması. Akademik Ziraat Dergisi 2015; 4(2):89-97.
- Ayaz E. Tavuklarda farklı yetiştirme sisteminin verim özellikleri, kalite kriterleri ve yumurta kabuğu mikrobiyal yük bakımından karşılaştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 59, Adana, Türkiye, 2019.
- Ayaz E., Baylan M., Kurşun K. Atak-S tavuklarda farklı yetiştirme sisteminin verim özellikleri, kalite kriterleri ve yumurta kabuğu mikrobiyal yükü üzerine etkileri. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi 2022; 2(2): 216-229.

- Benli N., Durmuş İ. Değişik markalarda ordu ilinde satışa sunulan yumurtaların kalite özelliklerinin belirlenmesi. Akademik Ziraat Dergisi 2015; 4(1):27-36.
- Çakıroğlu F. Yumurtacı tavuklarda yaştın ve yetiştirme sistemlerinin yumurta kalite kriterleri üzerine etkisi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sayfa:57, Adana, Türkiye, 2020.
- Çakıroğlu F., Baylan M., Kurşun K. Yumurtacı tavuklarda yaştın ve yetiştirme sistemlerinin yumurta kalite kriterleri üzerine etkisi. 5. Uluslararası Tarım, Çevre ve Sağlık Kongresi Tam Metin Bildiriler Kitabı 2022: 604- 616.
- Canoler Y. Yerli yumurtacı hibrit: Akbay. Performans Dergileri, sayfa: 34-36, 2020. <http://performansdergileri.com/yerli-yumurtaci-hibrit-akbay-h> (Erişim tarihi: 17.10.2022)
- Durmuş İ., Kamanlı S. Yumurtacı tavuklarda kafes katlarının bazı verim özelliklerine etkisi ile verimler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. Akademik Ziraat Dergisi 2012; 1(2): 77-82.
- Durmuş İ., Türkoğlu M. Geliştirilmekte olan yerli beyaz yumurtacı saf hatlar ve melezlerinde bazı verim ve yumurta kalitesi özellikleri. Tavukçuluk Araştırma Dergisi 2007; 7(1): 23-30.
- Durmuş İ., Sarıca M., Aktan S., Yıldız T., Kahraman Z., Ertaş S. Geliştirilmekte olan yerli ticari yumurtacı hibritlerin verim özelliklerinin belirlenmesi. Tavukçuluk Araştırma Dergisi 2009; 8 (1): 5-9.
- Efe E., Bek Y., Şahin M. İstatistiksel yöntemler II. Kahramanmaraş: Sütçü İmam Üniversitesi Rektörlüğü Yayınları; 2000.
- Ekinci Ö. Farklı kafes yoğunluklarında barındırılan yumurtacı tavukların rasyonlarına özel bitkisel ekstraktlar ve vitamin ilavesinin verim, yumurta kalitesi ve bazı kan parametrelerine etkileri. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Erzurum, Türkiye, 2013.
- Friars GW., Fairfull RW., Gavora JS., Gowe RS. Eggs olid yields inselected and control strains at differentages. Processing and Abstracts Worlds' Poultry Congress Rio De Janeiro, 1978; 1612-1617.
- Hatipoğlu K. Atak-S yerli yumurtacı hibritlerde farklı yetiştirme sisteminin verim özelliklerine etkisi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sayfa:51, Adana, Türkiye, 2017.
- Hunt MC., Acton JC., Benedict RC., Calkins CR., Conforth DP., Jeremiah LE., Olson DG., Salm CP., Savell JW., Shiwas SD. Guidelines for meat color evaluation. Chicago: American Meat Science Association and National Live Stock And Meat Board, 1991.
- Quraisy A., Wahyuddin W., Hasni N. Analisis kruskal-wallis terhadap kemampuan numerik siswa. VARIANSI: Journal of Statistics and Its application on Teaching and Research 2021; 3(3): 156-161.
- Sarıca M., Erensayın C. Tavukçuluk bilimi yetiştirme, besleme, hastalıkları. (Ed. Türkoğlu, M., Sarıca, M.) 3. Basım Ankara: Bey Ofset; 2009: 588.

- Sarıca M., Yamak US., Boz MA. Dış kaynaklı ve yerli yumurtacı hibritlerde yumurta kalitesinin yaşa bağlı değişimi. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi* 2010; 9(1): 11-17.
- TSE (Türk Standardları Enstitüsü). TS 1068 Ekim 2015. ICS 67.120.20 Tavuk yumurtası-kabuklu chicken eggs in shell. Türk Standardları Enstitüsü Necatibey Caddesi No.112 Bakanlıklar, Ankara.
- Türker İ., Nariç D., Alkan S. Yerli ve yabancı yumurtacı hibrit sürülerde yumurta ağırlığının zamana bağlı değişiminin karşılaştırılması ve modellenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi* 2017; 6(2): 169-176.
- Türkoğlu M., Sarıca M. *Tavukçuluk bilim (Yetiştirme, Besleme, Hastalıklar)*. 5. Baskı Ankara: Bey Ofset Matbaacılık; 2018: 604.
- Yardım Z., Akşit M. The effect of cage system and stocking density on performance, egg quality and microbial load of eggshell of laying hens. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology* 2021; 9(11): 2004-2012.



## A Sustainable Bio-Filler for Epoxy Composites: Use of Pistachio Shell Powder

Mustafa OZEN<sup>1</sup>, Gokhan DEMIRCAN<sup>2\*</sup>, Abuzer ACIKGOZ<sup>3</sup>, Huseyin ALPTEKIN<sup>4</sup>, Murat KISA<sup>5</sup>

<sup>1-5</sup>Harran University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Şanlıurfa

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0282-9387>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-9579-6878>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-2648-3560>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-6060-6915>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0001-7015-2198>

\*Corresponding author: gdemircan@harran.edu.tr

### Research Article

#### Article History:

Received: 28.04.2023

Accepted: 15.08.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Pistachio shell

Epoxy

Composite

Mechanical properties

### ABSTRACT

The use of natural materials has become a crucial concern for humanity due to the limited quantity of petroleum-based products and their harmful impact on nature. The use of natural materials is inevitable for a greener and more sustainable world. Transforming agricultural industrial waste into a high-value product or a source of fuel can significantly benefit our country's economy and environment. Pistachio shell is one of the agro-industrial wastes and is abundant in our country. Our country can benefit economically and environmentally by utilizing and repurposing discarded shells, whether as fuel or as a valuable commodity. In this study, the shells of pistachios grown in Şanlıurfa were crushed in a stone mortar, and reduced to certain sizes, and turned into powder. Later, this powder was used as a bio-filler material for epoxy resin. Powders were used at 1 % and 2 % additive ratios and homogeneous mixing was carried out using both magnetic and ultrasonic mixers. The mechanical properties of the obtained bio-filled epoxies were investigated and their microstructures were analyzed. Tensile tests, bending tests and hardness tests were performed as mechanical tests, and densities were measured. An improvement of 8 % and 15 % was detected in the maximum tensile and bending strength, respectively. The hardness and density values also increased by 8% and 1.7%, respectively. As a result of the microstructure analysis, no air bubbles were formed in the samples, and no agglomeration occurred. Obtained results revealed that pistachio shell grown in Şanlıurfa can be used as bio-filler.

## Epoksi Kompozitler İçin Sürdürülebilir Bir Biyo-Dolgu: Antep Fıstığı Kabuğu Tozu Kullanımı

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 28.04.2023

Kabul tarihi: 15.08.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Antep fıstığı kabuğu

Epoksi

Kompozit

Mekanik özellikler

### ÖZ

Petrol tabanlı ürünlerin doğaya zarar vermeleri ve miktarlarının sınırlı olmaları, insanlığı açısından doğal malzemelerin kullanımını oldukça önemli bir noktaya taşımaktadır. Doğal malzemelerin kullanımı daha yeşil ve sürdürülebilir bir dünya için kaçınılmazdır. Yakıt olarak kullanılan veya çöpe atılan tarımsal endüstriyel atıkların katma değeri yüksek ürün olarak ekonomiye kazandırılması ülkemiz açısından önemlidir. Antep fıstığı kabuğu tarımsal-endüstriyel atıklardan biridir ve ülkemizde bolca bulunur. Her yıl ya yakıt olarak kullanılan ya da çöpe atılan bu kabukların değerlendirilip ekonomiye kazandırılması ülkemiz açısından önemlidir. Bu çalışmada Şanlıurfa ilinde yetişen Antep fıstıklarının kabukları taş havanda

dövülerek belli boyutlara indirilmiş ve toz haline getirilmiştir. Daha sonra bu toz epoksi reçinesi için biyo-dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Tozlar %1 ve %2 katkı oranlarında kullanılmış ve hem manyetik hem de ultrasonik karıştırıcı kullanılarak homojen karıştırma gerçekleştirilmiştir. Elde edilen biyo-dolgu katkılı epoksilerin mekanik özellikleri incelenmiş ve mikroyapıları analiz edilmiştir. Mekanik testler olarak çekme testi, eğilme testi ve sertlik testi yapılmış ve yoğunluklar ölçülmüştür. Maksimum çekme ve eğilme gerilmelerinde sırası ile %8 ve %15'lik bir iyileşme tespit edilmiştir. Sertlik ve yoğunluk değerleri de sırası ile %8 ve %1,7 oranlarında artmıştır. Mikroyapı analizi sonucunda ise numunelerde herhangi bir hava kabarcığının oluşmadığı ve topaklanma meydana gelmediği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şanlıurfa şartlarında yetişen Antep fıstığı kabuğunun biyo-dolgu malzemesi olarak kullanılabilir olduğunu ortaya koymuştur.

---

**To Cite:** Özen M., Demircan G., Açıkgöz A., Alptekin H., Kısa M. A Sustainable Bio-Filler for Epoxy Composites: Use of Pistachio Shell Powder. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(1): 150-165.

## 1. Introduction

Due to their excellent technical properties, epoxy resins have found extensive use across various industries (Demircan et al., 2020a; Neves et al., 2021; Wazalwar et al., 2021). Epoxy resins, which are especially used as matrix materials in fiber-reinforced composite materials, are materials with high mechanical strength, excellent chemical and electrical resistance, high-level thermal insulation, and high-quality adhesion (Earp et al., 2019; Özen et al., 2019; Ozen et al., 2022). Due to these properties, materials produced with epoxy resin are widely used in aerospace technologies, the defense industry, the automotive industry, marine vehicles, construction, and the energy industries (Ma et al., 2020; Margoy et al., 2021; Demircan et al., 2023a). Polymer materials, including epoxy resins, exhibit superior properties in industrial applications, but they also have various disadvantages (Prolongo et al., 2014). One of their most significant drawbacks is their resistance to natural degradation. Polymers that persist in the natural environment for an extended period of time pose a threat to living organisms. Additionally, their recycling rates are low, and various chemical reactions are required to obtain them. These negative aspects have prompted researchers to develop environmentally friendly, usable, sustainable, and functional materials (Matykiewicz et al., 2019; Demircan et al., 2020b).

Due to the harmful effects of petroleum-based materials on the environment and their decreasing availability, researchers are focusing on natural materials. Natural materials are used as additive materials in various polymer resins due to their environmental friendliness, low cost, and easy availability (Puglia et al., 2005; Chang et al., 2021; Zaghoul et al., 2021). Researchers emphasize the use of easily degradable materials in nature to reduce the harm caused by petroleum-based polymers (Acikgoz et al., 2021). In particular, food waste such as pistachio shells, peanut shells, eggshells, walnut shells, and olive pits is annually discarded. These are referred to as agricultural-industrial wastes and are suitable for developing low-cost materials obtained from renewable sources (Prabhu et al., 2020). The use of natural additives obtained from agricultural-industrial wastes in polymer matrices is crucial to benefit from non-industrial materials and obtain composite polymers with specific mechanical and thermal properties (Dalbehera and Acharya, 2016; Erdoğan et al., 2019).



Antep pistachio shell is a natural additive material that is abundant in our country and classified as agricultural-industrial waste. These shells are obtained from the Antep pistachio. Antep pistachio is grown in 56 provinces in our country, and the largest producer is Şanlıurfa province (Alsaadi et al., 2018). Turkey has approximately a 15 % share of world pistachio production (Satil et al., 2003). Therefore, it is crucial to evaluate and utilize Antep pistachio shells in order to contribute to the economy. Pistachio shell is quite hard, and its chemical composition (%42 cellulose, %13.5 lignin, %3.11 cellulose lignin, % 1.26 ash, and % 0.18 extract) makes it a suitable material for various purposes (Al-Obaidi et al., 2020; Rizal et al., 2020). Additionally, it has high strength, hardness, and elastic modulus properties. Pistachio shells have a characteristic color range from beige to white. They are very light as a powder and, in some cases, even resemble natural marble granules. This unique color makes pistachio shell granules a versatile bio-based component.

Pistachio shell powders are commonly used as a bio-filler in the production of wood and plastic composites. Due to their lightweight, they increase the density/strength ratio of composites. Thiagarajan et al. (2021) used pistachio shell powder as an additive material (at weight percentages of 1 %, 2 %, and 3 %) to produce chopped glass fiber-reinforced epoxy composites. They used the vacuum-assisted resin infusion method for composite production and examined their mechanical properties. As a result, they found that the flexural strength of the composite material increased by 14 % with a 1 % addition. Alsaadi et al. (2018) added pistachio shell powders, which were reduced to micron sizes, to polyester resin and determined their tensile, flexural, and charpy impact properties. In addition, it is possible to evaluate pistachio shells by subjecting them to different processes. Çetin et al. (2022) produced flexible electrically conductive polymer composites by carbonizing shell residues and found that as the addition rate increased, the conductivity values increased. Salazar-Cruz et al. (2022) chemically modified shell particles in NaOH solutions and determined their thermal properties. They observed that as the shell amount increased, the thermal properties of the polypropylene composite improved.

In this study, the shells of pistachios grown in Şanlıurfa province were pulverized into powder form, and these powders were used as a bio-filler material for epoxy resin. The mechanical properties of the produced bio-filler additive epoxy composites were examined, and the results were evaluated. The main objective of this study is to enhance the economic value of pistachio shells, which are widely available in our country, by utilizing them as a high-value-added product.

## **2. Materials and Method**

High-quality pistachios grown in Şanlıurfa province were selected for the production of pistachio shell powders. The mechanical properties of the shells were determined in the materials laboratory of Harran University and presented in Table 1.

**Table 1.** Mechanical properties of pistachio shell

<b>Technical Specifications of Pistachio Shell Powder</b>	
Density	1.311 gr/cm <sup>3</sup>
Maximum Particle Size	75 μm
Hardness Value	31.9 HV

Commercially available F1564 epoxy resin and F3487 hardener were used as matrix materials. The technical properties of this resin are given in Table 2.

**Table 2.** Technical characteristics of the resin

	<b>F1564 Resin</b>	<b>F3487 Hardener</b>
Density	1.1-1.2 g/cm <sup>3</sup>	0.94-0.95 g/cm <sup>3</sup>
Appearance	Clear Colorless	Clear Colorless, Slight Yellow
Viscosity	1250-1450 mPa.s	10-20 mPa.s

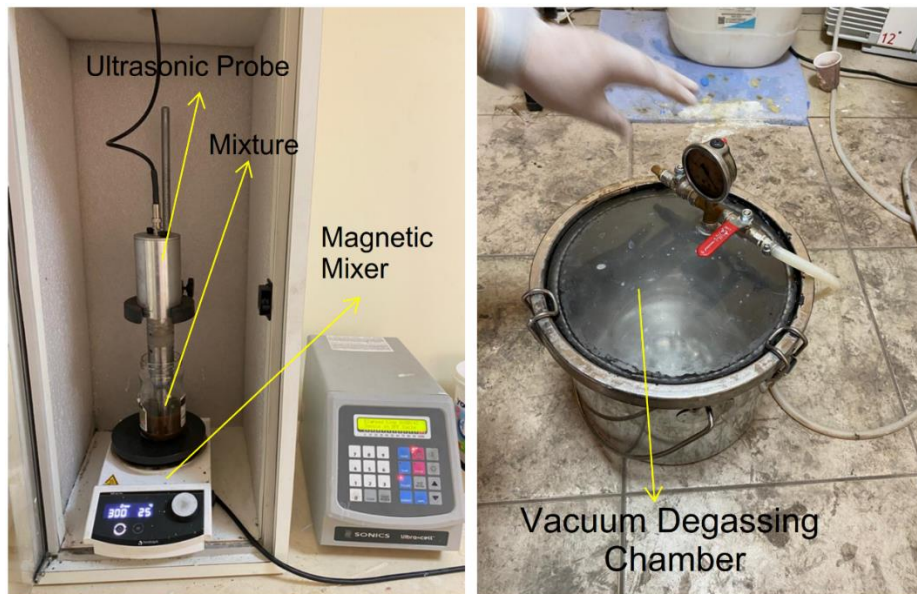
To eliminate the moisture content, pistachio shells were dried in an oven at 80°C for 5 hours. Subsequently, the dried shells were crushed in a stone mortar to reduce their size. After grinding the shells thoroughly in the stone mortar, a ball mill was used to further reduce them to smaller sizes. The shells were then sieved using 0.25 mm, 0.15 mm, and 75 μm mesh sizes, successively, to achieve a maximum particle size of 75 μm. The process of converting the shells into powder is illustrated in Figure 1.



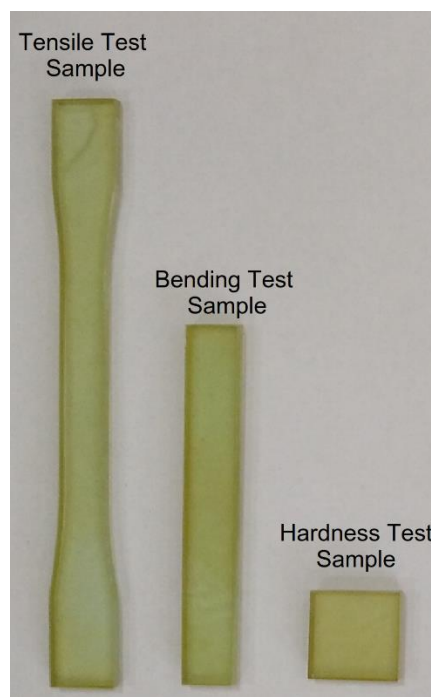
**Figure 1.** Powdering of pistachio shells

The reduced shell powders were weighed in mass ratios of 1% and 2% according to the epoxy resin. The resin/hardener ratio of 100/33 (gr) provided by the resin supplier was used. In order to achieve homogeneity in the resin-shell powder mixture, the simultaneous mixing method was preferred. This method involves immersing an ultrasonic mixing probe from the top and mixing magnetically from the bottom (Demircan et al., 2021). In this study, the mixture was stirred for 1 h with this method. To prevent excessive temperature rise during mixing, the ultrasonic mixer was used at 40% amplitude and

the magnetic mixer at 300 rpm stirring speed. After mixing, the mixture was vacuumed in a vacuum chamber to remove air bubbles. The mixing method and vacuum chamber are shown in Figure 2. The mixture was then poured into wooden molds and left to cure at room temperature for 2 days. The cured plate was post-cured at 80 °C for mechanical stability and then cut into desired dimensions with a CNC router to prepare tensile, bending, and hardness samples for testing. Test samples are shown in Figure 3.



**Figure 2.** Mixing method and vacuum degassing chamber



**Figure 3.** Test samples

### **3. Results and Discussions**

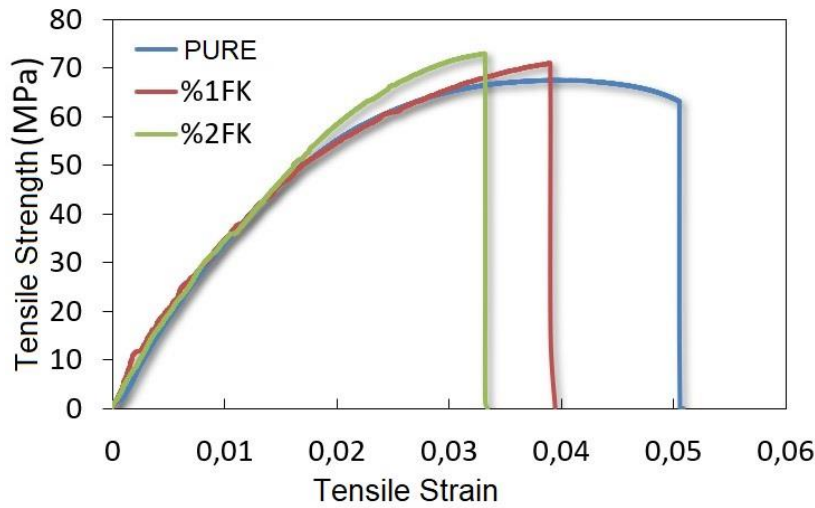
#### **3.1. Tensile Test**

The tensile properties of a material are based on its resistance in the direction of applied axial forces. Determination of the tensile properties is crucial to providing information on elasticity modulus, tensile strength, strain, and other stress characteristics.

In this study, tensile tests were conducted on a Shimadzu AGS-X Plus tensile machine according to the ASTM D638-14 standard. Tests were carried out at a speed of 5 mm/min for each parameter with five samples, and the average values were used for analysis. The stress-strain curve obtained from the tensile test is shown in Figure 4. The maximum strength, strain, and modulus of elasticity values are presented in Table 3. The results indicate that the increase in the amount of shell powder increases the maximum strength value and modulus of elasticity while decreasing the strain value. This shows that the shell powder improves the rigidity of the epoxy. It is known from the literature that an increase in rigidity results in an increase in toughness and mechanical properties (Sun et al., 2019).

The modulus of elasticity of the pure resin was found to be 2.36 GPa, while the 1% pistachio shell-added resin showed an increase in the modulus of elasticity to 2.56 GPa. The highest modulus of elasticity was obtained with 2 % pistachio shell-added resin, which was found to be 2.72 GPa. These results indicate that the addition of pistachio shell to epoxy resin improves the mechanical properties of the resulting biofilled resin. The findings of this study suggest that pistachio shell could be a promising filler material for enhancing the mechanical properties of epoxy resin.

The increase in modulus of elasticity with the addition of pistachio shell to the epoxy resin can be attributed to the rigid and strong structure of the pistachio shell. The shell contains cellulose, hemicellulose, and lignin, which are all tough and fibrous materials that can enhance the mechanical properties of the resulting biofilled resin. When the pistachio shell particles are incorporated into the epoxy matrix, they act as reinforcing agents, which can improve the rigidity, strength, and toughness of the material. The interlocking of pistachio shell particles within the epoxy matrix increases the contact area between the two materials, resulting in better stress transfer and improved load-bearing capacity.



**Figure 4.** Tensile test strength-strain curve

**Table 3.** Tensile test results

	Maximum Strength (MPa)	Strain (-)	Modulus of Elasticity (GPa)
Pure	67.51	0.05085	2.36
% 1FK	71.01	0.03943	2.56
% 2FK	73.02	0.03342	2.72

### 3.2. Three Point Bending Test

Due to the ease of specimen preparation and simplicity of test configurations, the three-point bending test is an important method for determining bending properties. This test involves placing a rectangular cross-sectional test specimen on two supports in a straight position and subjecting the specimen to damage by a loading head located in the middle of the supports. Typically, a support width-depth ratio of 16:1 is used (Demircan et al., 2023b). The bending stress value obtained from the test can be calculated using Equation 1.

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

P (N) represents the maximum load applied to the center of the specimen, L (mm) represents the distance between the lower supports, b (mm) represents the width, and d (mm) represents the thickness of the specimen.

The unit strain that occurs during bending is expressed as the nominal fractional change in length of an element on the outer surface of the test specimen, located at the midpoint of maximum stress. This value can be calculated using Equation 2.

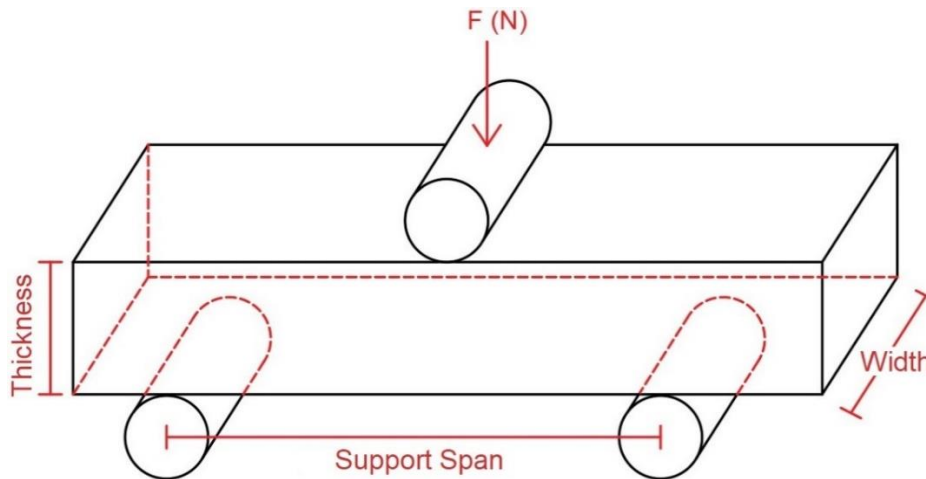
$$\varepsilon_f = \frac{6Dd}{L^2} \quad (2)$$

D (mm) represents the maximum deflection at the center of the specimen, L (mm) represents the distance between the lower supports, and d (mm) represents the thickness of the specimen.

The bending modulus can be obtained using Equation 3.

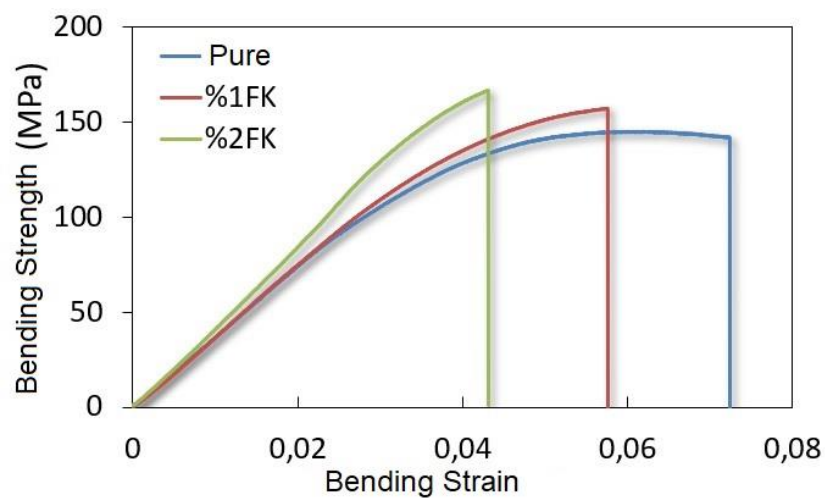
$$E_f = \frac{L^3 m}{4bd^3} \quad (3)$$

In addition to the formulas mentioned above, the value  $m$  (N/mm) represents the slope of the tangent at the initial linear portion of the load-deflection curve. The principle of the three-point bending test is shown in Figure 5.



**Figure 5.** Three-point bending test principle

In this study, bending tests were conducted on a Shimadzu AGS-X Plus universal testing machine according to the ASTM D790-17 standard. Tests were performed at a speed of 2 mm/min for each parameter with five samples, and the average values were used for data analysis. The stress-strain curve obtained from the bending test is presented in Figure 6. The maximum stress, unit strain, and modulus of elasticity are provided in Table 4.



**Figure 6.** Three-point bending test stress-strain curve

**Table 4.** Three-point bending test results

	<b>Maximum Strength (MPa)</b>	<b>Strain (-)</b>	<b>Modulus of Elasticity (GPa)</b>
Pure	145.18	0.07244	3.46
% 1FK	157.01	0.05768	3.92
% 2FK	167.04	0.04313	4.32

The table presents the bending maximum strength, strain, and modulus of elasticity values for pure resin and epoxy resins with varying percentages of pistachio shell powder. As the percentage of shell powder increased, the bending maximum strength increased from 145.18 MPa for pure resin to 157.01 MPa for 1 % FK and 167.04 MPa for 2 % FK. The strain values decreased as the percentage of shell powder increased, with the highest strain value of 0.07244 for pure resin and the lowest value of 0.04313 for 2 % FK. The modulus of elasticity also increased from 3.46 GPa for pure resin to 3.92 GPa for 1 % FK and 4.32 GPa for 2 % FK. This indicates that the material became more rigid in structure.

The adhesion between the epoxy matrix and the pistachio shell particles can affect the strength and stiffness of the composite. With increasing levels of pistachio shell addition, the adhesion between the particles and the matrix may increase, leading to improved mechanical properties. The interaction between the filler particles and the epoxy matrix can also affect the mechanical properties of the composite. With higher levels of pistachio shell addition, the filler-matrix interaction may become stronger, resulting in improved load transfer and increased stiffness. On the other hand, the decrease in strain values can be attributed to the reduced mobility of the polymer chains in the resin matrix, resulting in a more rigid structure.

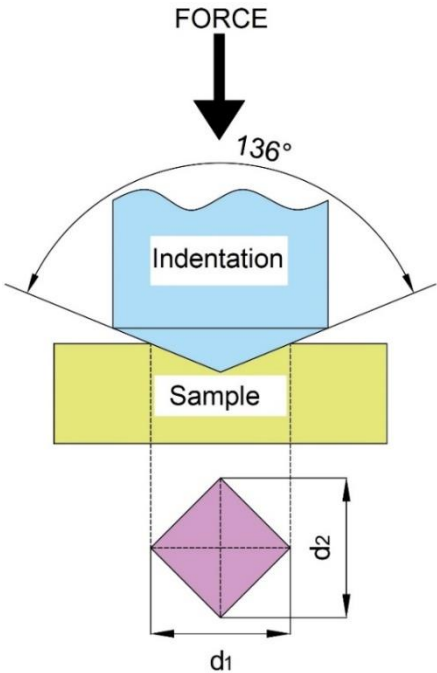
### 3.3. Vickers Hardness Test

The Vickers hardness test is a widely used method for determining the hardness of materials. The test is preferred due to its simplicity, requiring small amounts of material, generally being non-destructive, and being repeatable (Schneider et al., 1999). It is an optical method, meaning that the indentation left by the test on the surface of the specimen is measured to determine its hardness value. The indentation is made by an equilateral pyramid with a square base made of diamond, with a plane angle of 136°. In this test method, the surface of the specimen is first cleaned and polished, and then it is placed on the device perpendicular to the indentation axis. The clarity and brightness of the measuring microscope are adjusted, and the area to be tested is selected. An appropriate load is determined, and the device is operated to ensure that the indentation is made. The indentation is then retracted, and the optical image is analyzed to examine the indentation left. Then, the diagonals of the indentation are calculated. If one diagonal is more than 5 % longer than the other diagonal, or if the four corners of the indentation are not in sharp focus, it means that the test surface is not perpendicular to the indentation axis. Such an indentation can give incorrect data, and deviations may occur in the hardness values (HV) calculated based on this. In such a case, the specimen alignment should be checked, and the test should be

repeated. If there is no problem with the diagonal lengths, the diagonals are measured with a precision of 0.1 μm, their averages are taken, and the hardness value is calculated by substituting them into Equation 4.

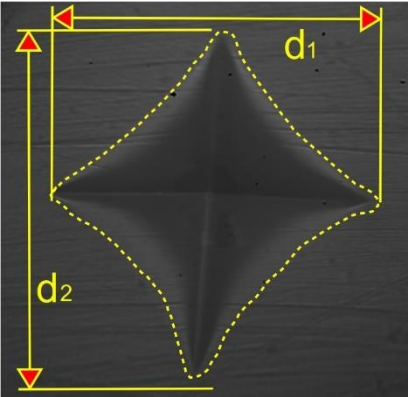
$$HV = 1.8544 \frac{P}{d^2} \tag{4}$$

The applied load P (N) represents the load, and d (mm) represents the average of diagonal lengths. The measurement principle with this test method is shown in Figure 7.



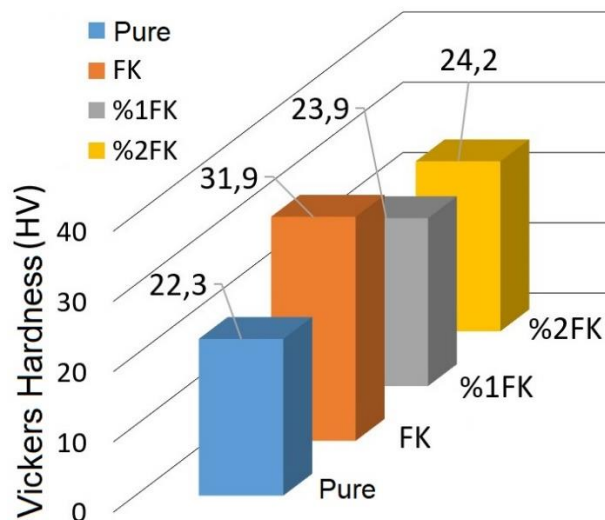
**Figure 7.** Vickers hardness principle

In this study, Vickers hardness tests were conducted on each sample by taking 5 indents according to the ASTM E384-17 standard. A 0.5-kg load was applied for 5 seconds during the indentation process. The indentation was then analyzed under a microscope, and the lengths of the diagonals were measured to calculate the Vickers hardness values (HV) using Equation 4. An example of an indentation mark is shown in Figure 8, while the Vickers hardness values are presented in Figure 9.



**Figure 8.** The diagonals of the indentation





**Figure 9.** Hardness values

In this graph, the hardness value of the pistachio shell is also given with the FK notation. As can be understood from the graph, since the hardness value of the shell powder is higher than that of the epoxy resin, an increase in the amount of powder causes an increase in the hardness value of the epoxy. This value was measured as 22.3 HV in pure epoxy and 24.2 HV in a sample with 2 % powder content. Changes in the microstructure of the composite may have caused this due to the addition of a filling material that can lead to changes in the arrangement of molecules in the composite and change its mechanical properties. Fadhil and Hadi (2021) added pistachio shell powder to the epoxy resin in proportions of 5 %, 7 %, and 9 %, and examined their wear and hardness values. They measured the hardness values on the Hardness Shore D scale. They found that as the amount of powder increased, the wear and hardness values also increased, and the highest values were observed in samples with 9% powder content. Chandrakar et al. (2021) used pistachio shells in proportions of 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, and 30 % compared to epoxy resin and examined their physical and mechanical properties. They observed that the hardness values increased as the proportion of pistachio shell increased. The mechanism behind this increase can be explained by the addition of a filler material, which increases the elasticity modulus of the polymer composite material. The increase in modulus led to an increase in the hardness of the composite (Cheng and Cheng, 1998).

### 3.4. Microstructure and Density

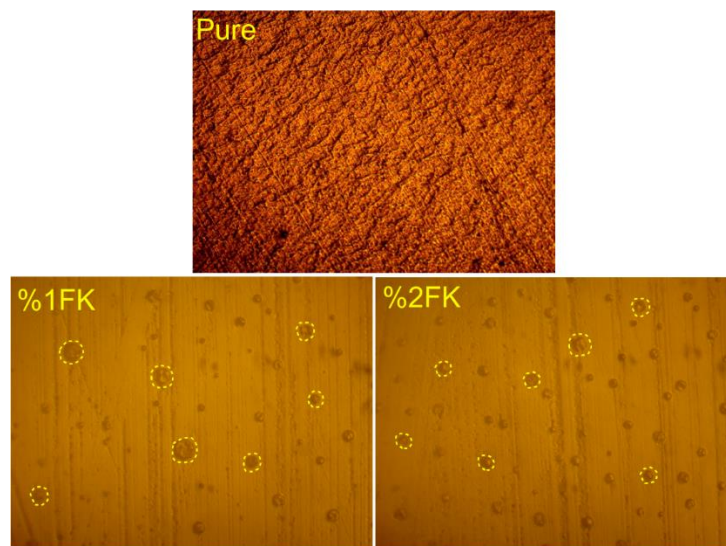
Microstructure analysis is crucial in examining the compatibility between bio-fillers and polymers. Microscopic images are an important method of examination, showing how the filler material is distributed within the matrix material (Mohajer et al., 2017). In this study, micro-images were taken at 100x magnification to determine the compatibility of the pistachio shell powder used with the polymer, and they are shown in Figure 10. As seen from the images, no particles were found in the pure resin. In the sample with 1% filler, particles are clearly visible, and their sizes are found to be variable. This is because the powdered particles were passed through a sieve with a size of 75  $\mu\text{m}$ .

Since particles smaller than this size were present in the powder, these particles were not filtered out. When the sample with 2 % filler was examined, similar particle sizes were observed, but the number of particles was found to be greater than in the 1% filler sample as the filler ratio increased. Additionally, it is evident from the images that the distribution of particles is nearly homogeneous, and there is no indication of agglomeration. The filler material is nicely delimited by the matrix body, and there is no visible void between the two phases. Furthermore, it was observed that no voids were present in the composite during the fabrication process, which is usually encountered in composites. This is because the mixture was placed in a vacuum chamber to remove air bubbles. Therefore, it can be concluded that there is good compatibility between the filler and matrix phases (Ji et al., 2002).

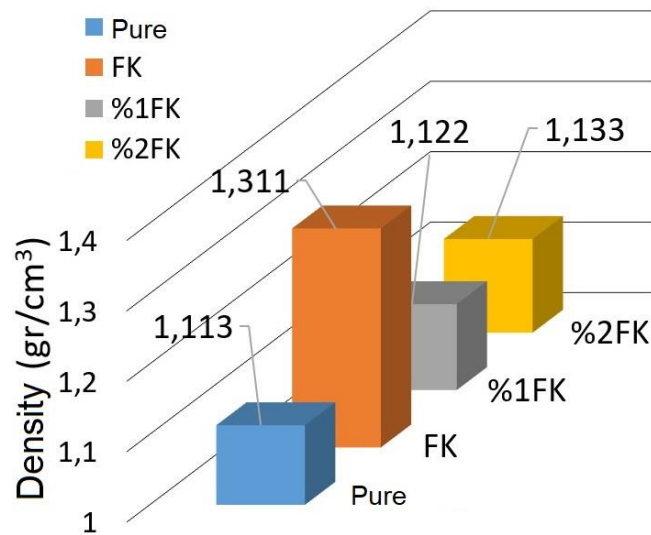
In order to examine the density of epoxy composites, the Archimedes principle was used to measure the density according to the ASTM D792-91 standard. This measurement method is based on the principle of measuring the weight of the sample in air and in water. The first step is to measure the temperature of the pure water used in the method, as the density of water changes with temperature. Once the temperature is determined, the weight of the sample is measured first in air and then in water, and these values are used in Equation 5 to calculate the density.

$$\rho = \frac{\rho_w}{1 - (W_w/W_a)} \quad (5)$$

$\rho_w$  (g/cm<sup>3</sup>) represents the density of water at the measured temperature,  $W_w$  (g) is the weight of the sample in water, and  $W_a$  (g) is the weight of the sample in air. To obtain accurate results, five measurements were taken, and the average values are presented in Figure 11. It was observed that the density value increased as the amount of pistachio shell powder added to the resin increased, as the density of the pistachio shell powder was higher than that of the resin. The density of the pistachio shell was measured at 1.311 g/cm<sup>3</sup>, while the maximum density of the composite with powder additive was measured at 1.122 g/cm<sup>3</sup> at a 2 % powder additive ratio.



**Figure 10.** Microscope images



**Figure 11.** Density values

#### 4. Conclusion

The environmental impact of petroleum has been increasing every year. Researchers are using biofillers as additives to minimize this impact. In this study, epoxy composites were produced using Antep pistachio shells grown in Şanlıurfa as a bio-filler material. The pistachio shells were first reduced to a powder size of 75  $\mu\text{m}$  and added to the epoxy matrix at 1% and 2% ratios using the simultaneous mixing method. Samples were then taken from the prepared plates according to various ASTM standards and subjected to mechanical tests. As the ratio of the additive increased, it was found that the stress and modulus of elasticity values increased and the strain decreased in the tensile and bending tests. A maximum improvement of 8 % was observed in the tensile test, while a 15 % improvement was observed in the elasticity modulus. In the bending test, a 15 % improvement was observed in the maximum strength, and a 24 % improvement was observed in the bending modulus. Hardness values were determined in Vickers hardness units, and it was found that hardness values increased with the increase in powder content. The hardness of the pure epoxy was found to be 22.3 HV, whereas the epoxy composite with the maximum result containing 2 % additive exhibited a hardness of 24.2 HV, signifying a notable 8% increase. As the powder content increased, the densities of the samples also increased. The density of pure epoxy was measured at 1.113  $\text{g}/\text{cm}^3$ , while the density of the sample with 2% additive was measured as 1.133  $\text{g}/\text{cm}^3$ , corresponding to an increase of 1.7%. The reason for the small increase in density is that the density of the shell powder is close to the density of the epoxy. Microstructure analysis revealed that there were no air bubbles in the structure and the shell powder was homogeneously distributed within the matrix material. The data obtained from this study shows that Antep pistachio shells are suitable as a bio-filler and can be used as industrial waste.

## Competing Interests

The authors declare that there is no competing interest to disclose that is directly or indirectly related to the work submitted for publication.

## Author Contribution

The authors declare that they have contributed equally to the article.

## References

- Acikgoz A., Ceyhan G., Aktas B., Yalcin S., Demircan G. Luminescent, structural and mechanical properties of erbium oxide doped natural obsidian glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids* 2021; 572: 121104.
- Al-Obaidi AJ., Ahmed SJ., Abbas AT. Investigation the mechanical properties of epoxy polymer by adding natural materials. *Journal of Engineering Science and Technology* 2020; 15(4): 2544-2558.
- Alsaadi M., Erkliğ A., Albu-khaleefah K. Effect of pistachio shell particle content on the mechanical properties of polymer composite. *Arabian Journal for Science and Engineering* 2018; 43(9): 4689-4696.
- Chandrakar S., Agrawal A., Prakash P., Khan IA., Sharma A. Physical and mechanical properties of epoxy reinforced with pistachio shell particulates. *AIP Conference Proceedings* 2021; 2341(1): 040012.
- Chang BP., Gupta A., Muthuraj R., Mekonnen TH. Bioresourced fillers for rubber composite sustainability: current development and future opportunities. *Green Chemistry* 2021; 23(15): 5337-5378.
- Cheng YT., Cheng CM. Relationships between hardness, elastic modulus, and the work of indentation. *Applied Physics Letters* 1998; 73(5): 614-616.
- Çetin MŞ., Demirel AS., Toprakçı O., Toprakci HAK. Karbonize edilmiş Antep fıstığı kabuk atıklarından iletken, esnek polimer kompozit üretimi ve karakterizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2022; 37(2): 711-722.
- Dalbehera S., Acharya SK. Effect of cenosphere addition on the mechanical properties of jute-glass fiber hybrid epoxy composites. *Journal of Industrial Textiles* 2016; 46(1): 177-188.
- Demircan G., Kisa M., Ozen M., Acikgoz A. Quasi-static penetration behavior of glass-fiber-reinforced epoxy nanocomposites. *Mechanics of Composite Materials* 2021; 57(4): 503-516.
- Demircan G., Kisa M., Ozen M., Aktas B. Surface-modified alumina nanoparticles-filled aramid fiber-reinforced epoxy nanocomposites: preparation and mechanical properties. *Iranian Polymer Journal* 2020a; 29(3): 253-264.

- Demircan G., Kisa M., Özen M., Açıkgöz A., Aktaş B., Ali Kurt M. A bio-based epoxy resin from rosin powder with improved mechanical performance. *Emerging Materials Research* 2020b; 9(4): 1076-1081.
- Demircan G., Ozen M., Kisa M., Acikgoz A., Işiker Y. The effect of nano-gelcoat on freeze-thaw resistance of glass fiber-reinforced polymer composite for marine applications. *Ocean Engineering* 2023a; 269: 113589.
- Demircan G., Kisa M., Ozen M., Acikgoz A., Işiker Y., Aytar E. Nano-gelcoat application of glass fiber reinforced polymer composites for marine application: Structural, mechanical, and thermal analysis. *Marine Pollution Bulletin* 2023b; 194: 115412.
- Earp B., Hubbard J., Tracy A., Sakoda D., Luhrs C. Electrical behavior of CNT epoxy composites under in-situ simulated space environments. *Composites Part B: Engineering* 2021; 219: 108874.
- Erdoğan A., Gök MS., Koc V., Günen A. Friction and wear behavior of epoxy composite filled with industrial wastes. *Journal of Cleaner Production* 2019; 237: 117588.
- Fadhil HS., Hadi RS. Erosion wear and hardness shore d of epoxy resin filled with pistachio powder. *The Iraqi Journal for Mechanical and Materials Engineering* 2021; 21(1): 26-34.
- Ji XL., Jing JK., Jiang W., Jiang BZ. Tensile modulus of polymer nanocomposites. *Polymer Engineering and Science* 2002; 42(5): 983-993.
- Ma Y., Zhang Y., Liu J., Ge Y., Yan X., Sun Y., Wu J., Zhang P. GO-modified double-walled polyurea microcapsules/epoxy composites for marine anticorrosive self-healing coating. *Materials and Design* 2020; 189: 108547.
- Margoy D., Gouzman I., Grossman E., Bolker A., Eliaz N., Verker R. Epoxy-based shape memory composite for space applications. *Acta Astronautica* 2021; 178: 908-919.
- Matykiewicz D., Barczewski M., Michałowski S. Basalt powder as an eco-friendly filler for epoxy composites: Thermal and thermo-mechanical properties assessment. *Composites Part B: Engineering* 2019; 164: 272-279.
- Mohajer S., Rezaei M., Hosseini SF. Physico-chemical and microstructural properties of fish gelatin/agar bio-based blend films. *Carbohydrate Polymers* 2017; 157: 784-793.
- Neves RM., Ornaghi Jr HL., Zattera AJ., Amico SC. Recent studies on modified cellulose/nanocellulose epoxy composites: A systematic review. *Carbohydrate Polymers* 2021; 255: 117366.
- Ozen M., Demircan G., Kisa M., Acikgoz A., Ceyhan G., Işiker Y. Thermal properties of surface-modified nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Kevlar fiber/epoxy composites. *Materials Chemistry and Physics* 2022; 278: 125689.
- Özen M., Demircan G., Kisa M., İlik Z. Investigation of usability of waste textile fabrics in composites. *Emerging Materials Research* 2019; 9(1): 18-23.

- Prabhu L., Krishnaraj V., Gokulkumar S., Sathish S., Sanjay MR., Siengchin S. Mechanical, chemical and sound absorption properties of glass/kenaf/waste tea leaf fiber-reinforced hybrid epoxy composites. *Journal of Industrial Textiles* 2022; 51(10): 1674-1700.
- Prolongo SG., Moriche R., Jiménez-Suárez A., Sánchez M., Ureña A. Advantages and disadvantages of the addition of graphene nanoplatelets to epoxy resins. *European Polymer Journal* 2014; 61: 206-214.
- Puglia D., Biagiotti J., Kenny JM. A review on natural fibre-based composites—Part II: Application of natural reinforcements in composite materials for automotive industry. *Journal of Natural Fibers* 2005; 1(3): 23-65.
- Rizal S., Fizree HM., Hossain MS., Gopakumar DA., Ni ECW., Khalil HA. The role of silica-containing agro-industrial waste as reinforcement on physicochemical and thermal properties of polymer composites. *Heliyon* 2020; 6(3): e03550.
- Salazar-Cruz BA., Chávez-Cinco MY., Morales-Cepeda AB., Ramos-Galván CE., Rivera-Armenta JL. Evaluation of thermal properties of composites prepared from pistachio shell particles treated chemically and polypropylene. *Molecules* 2022; 27(2): 426.
- Satil F., Azcan N., Baser KHC. Fatty acid composition of pistachio nuts in Turkey. *Chemistry of Natural Compounds* 2003; 39(4): 322-324.
- Schneider JM., Bigerelle M., Iost A. Statistical analysis of the Vickers hardness. *Materials Science and Engineering: A* 1999; 262(1-2): 256-263.
- Sun J., Ji J., Chen Z., Liu S., Zhao J. Epoxy resin composites with commercially available graphene: toward high toughness and rigidity. *RSC Advances* 2019; 9(57): 33147-33154.
- Thiagarajan A., Velmurugan K., Sangeeth PP. Synthesis and mechanical properties of pistachio shell filler on glass fiber polymer composites by VARIM process. *Materials Today: Proceedings* 2021; 39: 610-614.
- Wazalwar R., Sahu M., Raichur AM. Mechanical properties of aerospace epoxy composites reinforced with 2D nano-fillers: current status and road to industrialization. *Nanoscale Advances* 2021; 3(10): 2741-2776.
- Zaghloul MYM., Zaghloul MMY., Zaghloul MMY. Developments in polyester composite materials—An in-depth review on natural fibres and nano fillers. *Composite Structures* 2021; 278: 114698.



## Investigation of the Antimicrobial and Antibiofilm Effects of Silver Nanoparticles Obtained From Aloe Vera Plant by Green Synthesis

Aybek YİĞİT<sup>1</sup>, Ayşe KARACALI TUNÇ<sup>2\*</sup>, Büşra Merve SARITAŞ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Iğdır University, Tuzluca Vocational School, Department of Pharmacy Services, 76000, Iğdır

<sup>2</sup> Iğdır University, Dentistry Faculty, Department of Basic Sciences, 76000, Iğdır

<sup>3</sup> Iğdır University, Vocational School of Health Services Department of Dentistry Services, 76000, Iğdır

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8279-5908>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8955-4699>

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6453-9887>

\*Sorumlu yazar: ayse\_karacali@hotmail.com

### Research Article

#### Article History:

Received: 07.04.2023

Accepted: 26.08.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Green synthesis

Antimicrobial effect

Antibiofilm effect

Aloe vera extract

### ABSTRACT

Misuse of antibiotics globally has resulted in the development of resistant bacterial strains. Antimicrobial and antibiofilm effects of silver nanoparticles obtained by green synthesis from Aloe vera extract against *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii* and *Staphylococcus aureus* were investigated. The synthesis of silver nanoparticles from the aloe vera plant was carried out by the green synthesis method. After the characterization of silver nanoparticles was evaluated by UV-Vis Spectroscopy, FT-IR, SEM, TEM, XRD its antimicrobial effect on pathogenic microorganisms was evaluated by microdilution method. The Minimum Inhibitor Concentration (MIC) values ( $\mu\text{g/mL}$ ) of silver nanoparticles on *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, and *Staphylococcus aureus* were found to be 32, 64, 32 and 32, respectively. In this study, the biofilm inhibition rate was evaluated by the crystal violet method. Green synthesis silver nanoparticles showed antibiofilm effect on bacteria.

## Aloe Vera Bitkisinden Yeşil Sentez Yöntemiyle Elde Edilen Gümüş Nanopartiküllerin Antimikrobiyal ve Antibiofilm Etkilerinin Araştırılması

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 07.04.2023

Kabul tarihi: 26.08.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Yeşil sentez

Antimikrobiyal etki

Antibiofilm etki

Aloe vera özütü

### ÖZ

Küresel olarak antibiyotiklerin yanlış kullanımı, dirençli bakteri suşlarının gelişmesine neden olmuştur. Aloe vera ekstraktından yeşil sentez ile elde edilen gümüş nanopartiküllerin *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii* ve *Staphylococcus aureus*'a karşı antimikrobiyal ve antibiofilm etkileri araştırıldı. Aloe vera bitkisinden gümüş nanopartiküllerin sentezi yeşil sentez yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Gümüş nanopartiküllerin karakterizasyonu UV-Vis Spektroskopisi, FT-IR, SEM, TEM, XRD ile değerlendirildikten sonra patojenik mikroorganizmalar üzerindeki antimikrobiyal etkisi mikrodilüsyon yöntemi ile değerlendirilmiştir. Gümüş nanopartiküllerin *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii* ve *Staphylococcus aureus* üzerindeki Minimum İnhibitör Konsantrasyon (MIC) değerleri ( $\mu\text{g/mL}$ ) sırasıyla 32, 64, 32 ve 32 olarak bulundu. Bu çalışmada, biyofilm inhibisyon oranı kristal viyole yöntemi ile değerlendirilmiştir. Yeşil sentez gümüş nanopartiküller bakteriler üzerinde antibiofilm etki göstermiştir.

## 1. Introduction

Nanotechnology has a wide application area in science and technology by synthesizing new molecules in nano size (Ali et al., 2020). Today, interest in the synthesis and characterization of metal nanoparticles has increased. Nanoparticles can be produced especially by chemical, physicochemical, photochemical and electrochemical reduction methods. It can also be produced by many methods such as radiolysis and heat evaporation. Physical and chemical methods are costly, labor intensive and take a long time. In addition, a large amount of chemical waste is released in the precipitation and reduction processes. Recently, environmentally friendly, low-cost "green synthesis" methods that without using toxic solvents are preferred for the production of nanoparticles (Hatipoğlu, 2022). Since the green synthesis method uses plant material as a covering agent, no adverse effects are encountered during medical applications (Ali et al., 2020), Therefore, nanoparticles have become a relatively new trend in medicine (Selem et al., 2022).

Herbal extracts are used in the preparation of silver nanoparticles. Aloe vera leaves, in particular, are of interest as a medicinal plant due to their anti-inflammatory activity, antiarthritic properties, antibacterial properties, and promoting healing of wounds and burns. Aloe vera leaves have many biological properties such as lignin, hemicellulose, pectin, which can be used for the reduction of silver ions. The major enzymes and some proteins in aloe vera plant extract are believed to bind weakly to silver ions and act as a complexing agent. They have excellent reducing properties with their low cost and environmentally friendly nature (Tipayawat et al., 2016).

The antibacterial effect of silver has been known since ancient times. There is a lot of information that silver containers are preferred to preserve the properties of water and that silver ions bind to DNA and stop the growth of bacteria. Nanometric silver (less than 100 nm) nanoparticles have an effective large surface area, serious antibacterial effect and strong toxicity against a wide variety of microorganisms (Parvekar et al., 2020).

Many antimicrobial studies have been found with the isolates of *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC27833, *Escherichia coli* ATCC 25922, which are standard strains. However, studies on the antibacterial effect of silver nanoparticles on multi-drug resistant microorganisms that cause hospital-acquired infections are limited. For this reason, we aimed to see the antimicrobial effect of silver nanoparticles obtained from Aloe vera plant in both gram negative (*Acinetobacter baumannii*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*) and gram positive (*Staphylococcus aureus*) isolates resistant to multidrug. We chose the aloe vera plant because of its tremendous reducing properties, environmental friendliness and good supporting agent.



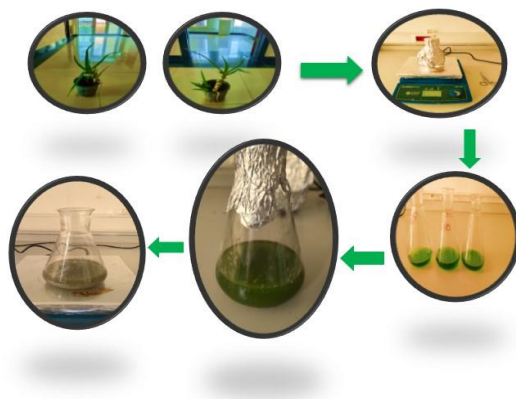
## 2. Material and Method

### 2.1. Aloe Vera Extraction

The mature leaves of the Aloe vera plant, which are now close to fruiting, were cut off. Then, firstly, it was weighed and then washed several times with pure water. Afterwards, these leaves were kept in an oven at low temperature for 5 days. At the end of day 5, the leaves were cut into small parts and taken into 100 ml of methyl alcohol and boiled for 20 minutes. During boiling, it was closed in such a way that it could not see the sun. At the end of this determined period, filtering was done with no:1-2 filter papers placed in 250ml flasks and the Aloe vera extract obtained was stored in the refrigerator at +4°C for later use (Ellis, 2018).

### 2.2. Ag@AVNPs Preparation

10mM 100ml AgNO<sub>3</sub> solution was prepared in a 250 ml flask. To this prepared solution, 80 ml of Aloe vera extract, which was kept ready before, was added and mixed in a magnetic stirrer at 250 rpm at room temperature for 13 hours, covered. At the end of the determined time, centrifugation was started. In the centrifuge (5000 rpm, 5 minutes), the process was terminated by adding 2 times water and then 1 time methyl alcohol, respectively. Finally, the obtained solid sample was stored in an oven at 60 °C for 24 hours to be used in characterizations. Changing the color of the reaction mixture from light yellow to dark brown reveals the formation of Ag@AVNPs (Figure 1) (Ozturk et al., 2022; Gecer et al., 2022).



**Figure 1.** Image of obtaining silver nanoparticle from Aloe vera plant (Ag@AVNPs)

### 2.3. Ag@AVNPs Characterization

**UV-Vis Spectroscopy:** The optical properties of the nanoparticles were characterized using UV-Vis spectroscopy. The absorption spectra of the nanoparticle solution were recorded using a Agilent Cary 60 UV-Vis spectrophotometer in the range of 300-800 nm.

**FT-IR:** The synthesized nanoparticles were characterized using Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). The FTIR spectra of the nanoparticle pellets were then recorded using a Cary 630 FTIR spectrometer in the range of 400-4000 cm<sup>-1</sup>.

FE-SEM: The morphology and size distribution of the synthesized nanoparticles were analyzed using a scanning electron microscope (SEM) (Hitachi Regulus 8230 FE-SEM, 10kV, 1000X and 2000X magnification).

Transmission Electron Microscopy (TEM): The morphology and size distribution of the synthesized nanoparticles were analyzed using TEM. A drop of nanoparticle solution was placed on a carbon-coated copper grid and allowed to dry at room temperature. TEM (Hitachi HT7800 TEM, 100kV, 10000X magnification) was performed with the model device.

X-Ray Diffraction (XRD): The crystal structure and phase of the nanoparticles were produced using XRD. The nanoparticles were deposited on a glass substrate and analyzed using a Panalytical Empyrean,  $2\theta$  angle between 10-90°.

#### 2.4. Identification of Clinical Specimens and Determination of Antimicrobial Susceptibility

In this study, 4 bacteria isolated in Iğdır State Hospital Microbiology Laboratory were used. Clinical samples were inoculated on blood and EMB agar. It was incubated at 37 °C for 24 hours. Growing cultures were evaluated in the VITEK 2 (bioMérieux, France) device for identification and antimicrobial susceptibility testing.

#### 2.5. Determination of Antimicrobial Effects of Silver Nanoparticles

MIC (Minimum Inhibitory Concentration) of synthesized AgNPs on *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii* and *Staphylococcus aureus*, were determined by microdilution method in 96-well ELISA plates. 100 microliters of Brain Heart Infusion Broth was added to the wells. 100 microliters of AgNP prepared at a concentration of 512 µg/ml was added to the wells and two-fold serial dilutions were made. 0.5 McFarland turbidity standard was prepared for each microorganism and inoculated into the wells. The first well without growth after incubation was accepted as the MIC value. In addition, an aqueous solution of 1 mM AgNO<sub>3</sub> and Aloe vera extract were used for comparison purposes.

#### 2.6. Antibiofilm Effect of Silver Nanoparticles by Crystal Violet Assay Method

The inhibition of biofilm formation after treatment with Ag@AVNPs was quantitatively examined by microtiter crystal violet assay. Different concentrations of AgNPs were used in 48-well microplates against the antibiofilm activities of *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*. 400 microliters of Tryptic Soy Broth was added to the wells. Bacterial suspension (10<sup>5</sup> CFU/mL) was added to each well. Silver nanoparticles were added to 18, 9, 4.5 and 2.25 µg/mL concentrations. The microliter plate was maintained at 37°C for 24 h. Biofilms were washed twice with PBS. Then fixation was performed with 100% methyl alcohol for 15 minutes. The formed biofilms were stained with 0.1% crystal violet for 5 minutes. Then, they washed with

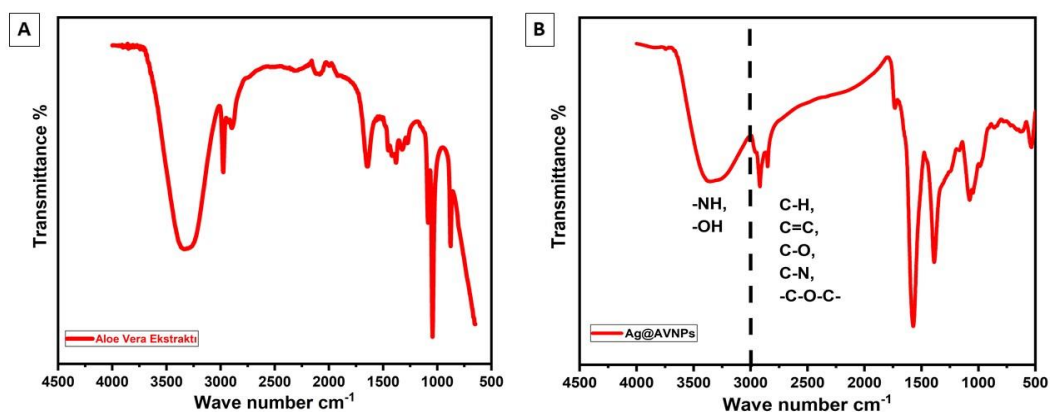
sterile distilled water. 400  $\mu$ l of ethyl alcohol was added and measured at 630 nm using ELISA reader. Control consists of medium without added nanoparticles.

### 3. Results

#### 3.1. Characterization

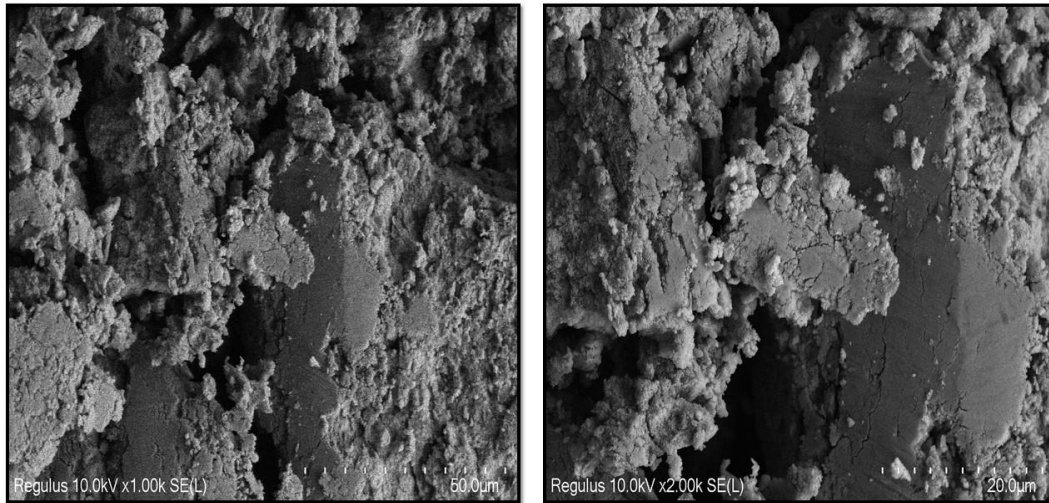
**UV-Vis Spectroscopy:** UV-Vis spectra of Aloe vera AgNPs sample. It is seen that Aloe vera AgNPs sample has peaks about 440 nm in the UV-vis spectrum. In the UV-Vis spectrum of the AgNPs study, however, the signal strength at approximately 360 nm is significantly reduced.

**FT-IR:** We think that some productive peaks were obtained in the sample analysis performed on the FT-IR device. In the FT-IR spectra of the obtained Ag@AVNPs (B), the 3000-3500 $\text{cm}^{-1}$  vibration band was matched with the -OH and -NH groups. The vibration bands obtained between 500-3000 $\text{cm}^{-1}$  are C-H in aromatic structure, C=C; C-N in the vibrational band amide group, C-O, -C-O- in the vibrational band ether group. In addition, it is clearly observed that some vibrational bands differ between (A) and (B) in the FT-IR spectra. It is predicted that the difference in (A) and (B) vibration bands between 500-1500 $\text{cm}^{-1}$  is due to Ag@AVNPs (Figure 2) (Bilgili et al., 2016; Öztürk et al., 2020; Öztürk et al., 2022).



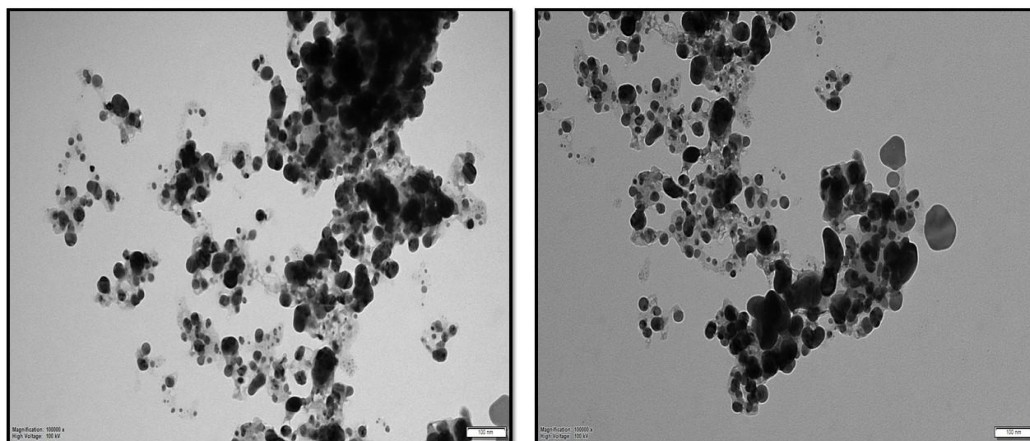
**Figure 2.** FT-IR image of Aloe Vera extract and Ag@AVNPs

**FE-SEM:** In addition, non-conductive samples for SEM imaging were obtained by coating gold/palladium (Au/Pd) at the desired coating thickness with the Leica EM ACE600 coating device. Morphological changes on the surface were observed with the help of FE-SEM. Agglomeration and good compatibility of repeating components are observed from FE-SEM images (Figure 3) (Huang et al., 2013; Jin et al., 2022).



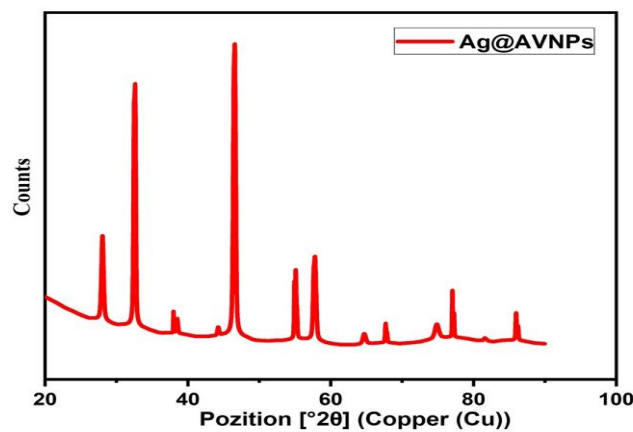
**Figure 3.** FE-SEM image of Ag@AVNPs

TEM: According to TEM imaging; The mean particle size was determined as  $(42.553 \pm 12.855)$  nm (Figure 4). In addition, Ag@AVNPs were observed to be spherical and scattered (Phongtongpasuk et al., 2016).



**Figure 4.** TEM image of Ag@AVNPs

Crystal size analysis was performed with the aid of a device with In the XRD analysis (27,60; 32,03; 46,93;58,24) peaks were obtained (Figure 5).



**Figure 5.** XRD image of Ag@AVNPs

### 3.2. Antimicrobial Effects of Silver Nanoparticles

In our study, MIC values were determined by using the antimicrobial activity of AgNPs on 4 different pathogens using microdilution method (Table 1). AgNP values were higher for *Pseudomonas aeruginosa* and *Acinetobacter baumannii*, while lower concentrations were obtained for *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*.

**Table 1.** MIC values of Aloe vera AgNPs and Aloe vera extract ( $\mu\text{g/ml}$ )

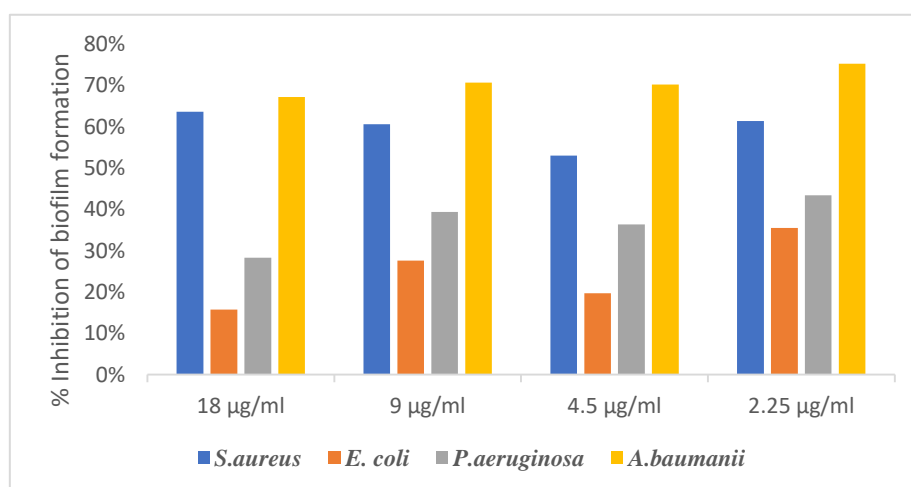
Microorganisms	AgNPs	Aloe Vera extract	AgNO <sub>3</sub>
<i>S. aureus</i>	64	256>	0.25
<i>E. coli</i>	64	256>	0.5
<i>P. aeruginosa</i>	32	128	0.5
<i>A. baumannii</i>	32	256	0.5

Antimicrobial activity of Aloe vera extract has been found to be negligible in our pathogens. When we compared AgNPs, AgNO<sub>3</sub> and Aloe vera extract, the most effective ratio was seen in silver nanoparticles.

### 3.3. Antibiofilm Effects of Silver Nanoparticles

Antibiofilm activity of silver nanoparticles was assayed for biofilm-forming bacteria. In the present study, the in vitro anti-biofilm activity of AgNPs was analyzed in a dose-dependent manner against for *E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa* and *A. baumannii*. Biofilm formation in resistant bacteria is a challenge in treatment. Inhibition of exopolysaccharide formation greatly reduces biofilm formation. The efficiency of green synthesis on silver nanoparticles was evaluated. The biofilm inhibition rate was calculated by calculating the measured OD values with the following formula (Formula 1). Biofilm eradication was found to be higher in *A. baumannii* than in other bacteria. The dose-dependent variation of biofilm inhibition is plotted (Figure 6) (Fan et al., 2018).

$$\text{Inhibition (\%)} = [1 - \text{OD}_{\text{sample}}/\text{OD}_{\text{control}}] \times 100 \quad (1)$$



**Figure 6.** Inhibition of biofilm formation

#### 4. Discussion

The growing case of multidrug resistance in bacteria has become a global concern due to the misuse of antibiotics. It has been observed that the antimicrobial and antibiofilm effect of AgNPs synthesized from the aloe vera plant has a stronger effect than AgNO<sub>3</sub> and aloe vera extract. The antimicrobial effect may be due to the synergistic effects of AgNPs and natural compounds in the structure of aloe vera. Biofilm, which leads to antibiotic resistance in bacteria, draws attention. Biofilms are microbial consortia embedded in self-produced exopolymer matrices composed mainly of exopolysaccharides (EPS) (Arsene et al., 2022). It is necessary to seek ways to combat biofilm formation. For this reason, new products are sought as an alternative to antibiotics all over the world. In this context, it is important the antimicrobial and antibiofilm properties of AgNPs, which have the potential to be used instead of antibiotics. It has a bactericidal effect especially on pathogenic microorganisms *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Acinetobacter baumannii* our study. There are studies showing that the MIC and MBC values of silver nanoparticles are effective at 0.625 µg/ml by the macrodilution method against *S. aureus* (Parvekar et al., 2020). Ellis et al. concluded that *P. aeruginosa* could develop resistance to silver nanoparticles, while *S. aureus* and *A. baumannii* did not develop resistance to silver nanoparticles (Ellis et al., 2018).

In the study of Ahmad et al. evaluating the MIC results of silver nanoparticles synthesized by various plant extracts, the MIC values of aloe vera silver nanoparticles against *E. coli* and *S. aureus* bacteria were found to be 8 µg/mL and 7.8 µg/mL, respectively (Ahmad et al., 2022).

Antibiotic resistance of microorganisms is increasing day by day. Therefore, finding an alternative for antibiotics is an urgent need which has focused attention on natural products. In the study, the antimicrobial activity of AgNPs was found to be more effective than 1 mM silver nitrate solution and antibiotics, similar to ours. They reported that it is effective at concentrations of 12.25 µg/ml for gram negatives and 6.25 µg/ml for gram positives (Baran, 2019).

Using the crystal violet attachment assay *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Acinetobacter baumannii* were retained as biofilm producers in the antibiofilm activity investigation. Biofilm eradication was found to be higher in *A. baumannii* than in other bacteria. Biofilm inhibition was about <40% in case of *E. coli* but was more than 40% for other bacterial isolates. According to the data of Mehrishi P. et al., it was observed that the highest MIC effect was in *S. aureus* and the biofilm reduction was 50% in standard strains. Although the values related to *S. aureus* are close to our study data, the highest effect was determined in *A.baumannii*. Also, clinical isolates with antibiotic resistance were preferred in our study. Aloe vera showed the highest zone of inhibition for *S. aureus* (Mehrishi et al., 2022). Mbarga M. J. Arsene determined the antibiofilm effect of gram negatives at different concentrations of aloe vera extract (Arsene et al., 2022).

Bacterial biofilms are found about 60% of chronic wounds and delay the healing process due to their resistance to many antibiotics. The biofilm inhibition activity of *E.coli* showed a dose-dependent decrease effect. Biofilm inhibition activity at the highest concentration of 150 µg/mL tested was

reported as the highest for *E. coli*. In our study, the highest antibiofilm (40 %) effect was observed for *E. coli* at 2.25 µg/mL (Naveen et al., 2021).

In addition, Aloe vera and AgNPs, have already been reported antimicrobial and antibiofilm activity on several microorganisms, including against Gram (–) bacteria such as *P. aeruginosa*. In addition, AgNPs is that they are known to antimicrobial effect (Rai et al., 2012). However, AgNPs must have a bioactive function during the formation of AgNPs@AVs. It is especially important to understand the functional effects on microorganisms in order to develop novel antibacterial agents.

## **5. Conclusion and Suggestions**

AgNPs have a wide field of study such as catalysis, biosensing, imaging and antimicrobial activity. It has become the focus of attention, especially with its environmental friendliness away from the toxicity of chemicals. Nanoparticles attract a lot of attention as they prevent antibiotic resistance and are an alternative to antibiotics. Green synthesis is an alternative method developed to produce silver nanoparticles using natural plant components. Plant extracts: they contain many functional substances, including cyclic peptides, sorbic acid, citric acid, euphol, polyhydroxy limonoids, ascorbic acid, retinoic acid, tannins, ellagic acid and gallic acid. It is believed to play a crucial role in the biological reduction and stabilization of nanoparticles. Therefore, our study focuses on the biosynthesis of AgNPs with plant extracts of aloe vera leaves (Tippayawat et al., 2016). In addition, we see the effects of AgNPs on antibiotic resistant bacteria in our study.

## **Statement of Conflict of Interest**

There is no conflict of interest between the authors.

## **Statement of Research and Publication Ethics**

The study is complies with research and publication ethics.

## **Author's contributions**

The contribution of the authors is equal.

## **References**

- Ahmad B., Chang L., Satti UQ., Rehman SU., Arshad H., Mustafa G., Shaukat U., Wang F., Tong C. Phyto-synthesis, characterization, and in vitro antibacterial activity of silver nanoparticles using various plant extracts. *Bioengineering* 2022; 9(12): 779.
- Ali SG., Ansari MA., Alzohairy MA., Alomary MN., Jalal M., AlYahya S., Asiri SMM., Khan HM. Effect of biosynthesized ZnO nanoparticles on multi-drug resistant *Pseudomonas aeruginosa*. *Antibiotics* 2020; 9(5): 260.

- Arsene MM., Viktorovna PI., Sergei GV., Hajjar F., Vyacheslavovna YN., Vladimirovna ZA., Sachivkina, N. Phytochemical analysis, antibacterial and antibiofilm activities of Aloe vera aqueous extract against selected resistant gram-negative bacteria Involved in Urinary Tract Infections. *Fermentation* 2022; 8(11): 626.
- Bilgili B., Karademir F., Bozaci E., Özdoğan E., Ayhan H., Ayhan F. Liquidambar orientalis mill. leaf aqueous extract for the synthesis of silver nanoparticles and immobilization on textile fabrics for biomedical applications. *Textile and Apparel* 2016; 26(4): 421-429.
- Baran MF. Prunus avium kiraz yaprağı özütü ile gümüş nanopartikül (AgNP) sentezi ve antimikrobiyal etkisinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 2019; 10(1): 221-227.
- Ellis DH., Maurer-Gardner EI., Sulentic CE., Hussain SM. Silver nanoparticle antibacterial efficacy and resistance development in key bacterial species. *Biomedical Physics & Engineering Express* 2018; 5(1): 015013.
- Fan Q., Zhang Y., Yang H., Wu Q., Shi C., Zhang C., Xia X., Wang X. Effect of coenzyme Q0 on biofilm formation and attachment-invasion efficiency of *Listeria monocytogenes*. *Food Control* 2018; 90: 274–281.
- Gecer EN., Erenler R., Temiz C., Genc N., Yildiz I. Green synthesis of silver nanoparticles from Echinacea purpurea (L.) Moench with antioxidant profile. *Particulate Science and Technology* 2022; 40(1): 50-57.
- Hatipoğlu A. Gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi ve bazı gıda patojenleri üzerindeki antimikrobiyal etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 26(1): 106-114.
- Huang Q., Zhu X. Rapid and large-scale synthesis of pitaya-like silver nanostructures as highly efficient surface-enhanced Raman scattering substrates. *Talanta*, 2013; 105: 117-123.
- Jin B., Liu X., Liang W., Li Q., Yan J., Han, Z. Preparation, physicochemical characteristics and bioactivity evaluation of pitaya peel extract/soy protein nanocomposite film containing zinc oxide nanoparticles by photocatalysis. *Journal of Food Processing and Preservation* 2022; 46(5): e16584.
- Mehrishi P., Agarwal P., Broor S., Sharma A. Antibacterial and antibiofilm properties of Azadirachta indica (neem), Aloe vera (*Aloe vera*), and Mentha piperita (peppermint) against multidrug-resistant clinical isolates. *Biomedical and Biotechnology Research Journal (BBRJ)* 2022; 6(1): 98-104.
- Naveen KV., Saravanakumar K., Sathiyaseelan A., Wang MH. Eco-friendly synthesis and characterization of Aloe vera/Gum Arabic/silver nanocomposites and their antibacterial, antibiofilm, and wound healing properties. *Colloid and Interface Science Communications*, 2022; 46: 100566.



- Ozturk D., Ozguven A., Yonten V., Ertas M. Green synthesis, characterization and antimicrobial activity of silver nanoparticles using *Ornithogalum narbonense* L. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry* 2022; 52(3): 329-341.
- Öztürk BY., Öztürk D. Extracellular biosynthesis of silver nanoparticle using *Tilia rubra* DC. extract and antifungal activity. *Biological Diversity and Conservation* 2020; 3(3): 244-251.
- Parvekar P., Palaskar J., Metgud S., Maria R., Dutta S. The minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) of silver nanoparticles against *Staphylococcus aureus*. *Biomaterial Investigations in Dentistry* 2020; 7(1):105-109.
- Phongtongpasuk S., Poadang S., Yongvanich N. Environmental-friendly method for synthesis of silver nanoparticles from dragon fruit peel extract and their antibacterial activities. *Energy Procedia* 2016; 89: 239-247.
- Rai MK., Deshmukh SD., Ingle AP., Gade AK. Silver nanoparticles: the powerful nanoweapon against multidrug-resistant bacteria. *Journal of Applied Microbiology* 2012; 112(5): 841-852.
- Selem E., Mekky AF., Hassanein WA., Reda FM., Selim YA. Antibacterial and antibiofilm effects of silver nanoparticles against the uropathogen *Escherichia coli* U12. *Saudi Journal of Biological Sciences* 2022; 29-11: 103457.
- Tippayawat P., Phromviyo N., Boueroy P., Chompoosor A. Green synthesis of silver nanoparticles in aloe vera plant extract prepared by a hydrothermal method and their synergistic antibacterial activity. *PeerJ* 2016; 4: e2589.

## *Pinus sylvestris* var. *hamata* Uçucu Yağlarının Fitokimyasal Bileşimi, Antioksidan ve Antimikrobiyal Aktiviteleri

Tunay KARAN<sup>1\*</sup>, Canan USTA<sup>2</sup>, Ayşe KAYIR<sup>3</sup>, Sude BOZKURT<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Yozgat Bozok Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Genetik Bölümü, 66900, Yozgat  
<sup>2</sup>Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 66250, Tokat

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-9114-8400>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-9489-8768>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0007-1717-6298>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0009-0009-8902-1900>

\*Sorumlu yazar: tunay.karan@bozok.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.05.2023

Kabul tarihi: 28.08.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Antibakteriyel test

Antioksidan analiz

Esansiyel yağ

*Pinus sylvestris* var. *hamata*

### ÖZ

Çamgiller familyasına ait olan *Pinus sylvestris* L., değerli orman ağaçlarından biridir. Çam yağları; içecek ve yiyeceklerde tatlandırıcı olarak ve kozmetikte koku olarak kullanılmaktadır. *Pinus sylvestris* var. *hamata* Türkiye'nin Orta Karadeniz Bölgesi'nden toplanmış ve iğneleri gölgede kurutulmuştur. Uçucu yağlar (EO'lar) hidrodistilasyonla üretilmiştir ve EO bileşiklerini tanımlamak için gaz kromatografisi/kütle spektrofotometrisi (GC-MS/MS) kullanılmıştır.  $\beta$ -pinene (%18,70),  $\alpha$ -pinene (%15,62), Germacrene (%12,53), Karyofilen (%11,35) ve Limonen (%3,62) ana bileşenlerdir. EO'ların antioksidan analizi için DPPH', ABTS<sup>+</sup> süpürme ve FRAP testleri yapılmıştır. Ayrıca antibakteriyel etki; *Bacillus cereus*, *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* ve *Staphylococcus aureus* ve kullanılarak disk difüzyon testi ile araştırılmıştır. EO'lar, *Salmonella typhimurium* dışında test edilen bakterilere karşı iyi antibakteriyel aktiviteler sergilemiştir. Ek olarak, EO'lar, test edilen deneylerde önemli aktiviteler ortaya çıkarmıştır. Sonuç olarak, *P. sylvestris* var. *hamata* esansiyel yağının ilaç ve gıda endüstrisinde kullanılması mümkündür.

## Phytochemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Essential Oils of *Pinus sylvestris* var. *hamata*

### Research Article

#### Article History:

Received: 25.05.2023

Accepted: 28.08.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Antibacterial test

Antioxidant analysis

Essential oil

*Pinus sylvestris* var. *hamata*

### ABSTRACT

*Pinus sylvestris* L. belongs to the Pinaceae family and is one of the valuable forest trees. Pine oils are used as a flavoring in beverages and food and as a fragrance in cosmetics. *Pinus sylvestris* var. *hamata* was collected from Turkey's Central Black Sea Region, and its needles were dried in the shade. Essential oils (EOs) were generated by hydro-distillation, and Gas chromatography/mass spectrophotometry (GC-MS/MS) was used to identify the EOs compounds. pinene (18.70%),  $\alpha$ -pinene (15.62%), Germacrene (12.53%), Caryophyllene (11.35%), and Limonene (3.62%) were major constituents. DPPH' ABTS<sup>+</sup> scavenging and FRAP tests were performed for antioxidant analysis of EOs. Moreover, antibacterial effect was investigated by disk diffusion assay using *Bacillus cereus*, *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, and *Staphylococcus aureus*. EOs exhibited good antibacterial activities against the tested

bacteria, except for *Salmonella typhimurium*. In addition, EOs revealed the significant activity on tested assays. As results, *P. sylvestris* var. *hamata* essential oil has possible to be utilized in the pharmaceutical and food industries.

---

**To Cite:** Karan T., Usta C., Kayır A., Bozkurt S. *Pinus sylvestris* var. *hamata* Uçucu Yağlarının Fitokimyasal Bileşimi, Antioksidan ve Antimikrobiyal Aktiviteleri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(1): 177-189.

## 1. Introduction

Plants have been employed for food and medicinal roles for years since they contain secondary metabolites with critical biological activities (Ertas et al., 2016; Heyem et al., 2022). Essential oils (EOs) are compounds obtained from plants' leaves, flowers, seeds, and roots, often fragrant, also called essential or ethereal oils. It is possible to obtain EOs by distillation, most commonly by boiling water from vegetable sources or passing water vapor through the material (Packiyasothy and Kyle, 2002; Greathead, 2003; Al-Breiki et al., 2018). A large number of compounds in the composition of essential oils are identified by separating them from each other by an effective analytical technique called Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) (Krone et al., 2010).

EOs are used as herbal tea and are preferred in preparing sauces and ready meals. They are also suitable in the cosmetic industry, weed control, and organic agriculture due to their odor properties. EOs obtained from plants are classified as safe additives regarding their chemical structure. It has been determined that there is no harm in terms of health when consumed by humans and animals (Inouye et al., 2009; Soković et al., 2009). It has significant benefits in medicine as a treatment for colds, appetite, indigestion, diarrhea, toothache, inflammation, and gout. In recent years EOs have been used instead of synthetic antioxidants (such as butyl hydroxy and hydroxy anisole) that are harmful to health in storing foods and extending their shelf life. Some EOs exhibit high biological activities such as antimicrobial and antioxidant (Chao et al., 2000; Botsoglou et al., 2002; Burt, 2004). It was reported that thymol in thyme essential oil has antioxidant activity by reducing the formation of hydroxy peroxide (Youdim and Deans, 2000; Keawsa-ard and Kongtaweelert, 2012). The main components of Eos, such as carvacrol, cinnamaldehyde, ionone, and eugenol, obtained from thyme, rosemary, and cinnamon, and plants have antimicrobial, antiviral, antifungal, and antiparasitic properties (Wei A and Shibamoto, 2004 Hong et al., 2012). In another study, it was determined that clove oil inhibited *Pseudomonas aeruginose*, *Klepsiella pneumoniae*, *Clostridium albicans*, *Escherichia coli*, and *Staphylococcus aureus* microorganisms by 99.9% (Tekce and Gul, 2016).

*Pinus sylvestris* L., an important forest tree species, belongs to the Pinaceae family in the conifer class of Gymnospermae. *Pinus sylvestris*, *Pinus brutia*, *Pinus pinea*, *Pinus nigra*, and *Pinus halepensis* are pine species registered in Turkey, and only *P. nigra*, *P. brutia*, and *P. sylvestris* are employed commercially (Sezik et al., 2010). Apart from perfumery and cosmetics, essential pine oils exhibit pharmacological activities such as expectorant, diaphoretic, diuretic, antimicrobial, and antispasmodic.

*P. sylvestris* is a very complex species with many subspecies, variants, and forms, and there needs to be more literature regarding critical biological activity studies such as antimicrobial and antioxidant. Our study aimed to analyze the antimicrobial and antioxidant activities by obtaining EOs from *P. sylvestris* var. *hamata*.

## 2. Material and Methods

### 2.1. Plant material

*P. sylvestris* var. *hamata* was collected from the Central Black Sea Region, Tokat-Turkey (40° 19' 21" N, 36° 28' 03" E) in June 2022, and it was identified by Dr. Bedrettin Selvi from Tokat Gaziosmanpasa University (TOGU). A voucher specimen was deposited in the Herbarium of Tokat Gaziosmanpasa University (Herbarium No: 8249).

### 2.2. Isolation of essential oils

Air-dried aerial parts of the plant (300 g) was mixed with distilled water (900 mL) and the mixture was subject to hydro distillation for 5 hours using a Clevenger-type apparatus to produce oil in 0.24% (w/w) (Karan et al., 2018).

### 2.3. Gas chromatography/mass spectrophotometry

Chemical analyses of the EOs were performed using a divided-mode (50:1) Perkin Elmer Clarus 500 Series GC-MS/MS equipped with a flame ionization detector (FID). The essential (20 mg) oils were dissolved in acetone (1.2 mL). The BPX5 column was used. 2.0 L injection volume at a 250°C injection temperature were the parameters. Ionization energy was set to 70 eV, and the total program time was 60 minutes (Erenler et al., 2018).

### 2.4. Antimicrobial test

The EOs was assayed for antibacterial effect against *Salmonella typhimurium* (ATCC®14028), *Bacillus cereus* (ATCC®10876), *Staphylococcus aureus* (ATCC®25923), *Escherichia coli* (ATCC®25922), *Klebsiella pneumoniae* (ATCC®13883) and *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC® 27853) by Mueller Hinton Agar (MHA) plate disc diffusion method. The microorganism concentrations were adjusted by 0.5 McFarland standard ( $0.5 \times 10^5$  cfu/mL). Chloramphenicol (50 µg) and methanol were used as the positive and negative control. 35 µl of EOs was impregnated on the discs, then the plates were allowed for incubation (37 °C, 16 h). After incubation, the inhibition zone diameters (mm) were measured (Usta et al., 2018).

### 2.5. DPPH free radical scavenging activity

The antioxidant activity of EOs of *P. sylvestris* var. *hamata* was examined using a 1.1-diphenyl-2-picryl-hydrazil (DPPH') assay. DPPH solution (1.0 mL, 0.1 mmol/L in methanol) was added to the

samples at various concentrations. The absorbance measurement was performed at 517 nm with a spectrophotometer. The equation was used for free radical scavenging activity (Karan, 2018).

#### 2.6. ABTS free-radical scavenging activity

2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) cation radical (ABTS<sup>+</sup>) is based on reducing the ABTS radical cation at 737 nm compared to the standard. (Karan and Cadirci, 2018a).

#### 2.7. Reducing power activity

In 1 mL of deionized water, different quantities of samples (2.5-10 g/mL) were combined with sodium phosphate buffer (1.25 mL, 0.2 M, pH 6.6) and potassium ferricyanide [K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>] (1.25 mL, 1%). The reaction liquid was completely vortexed, and absorbance at 700 nm was measured using a spectrophotometer (Erenler et al., 2017).

#### 2.8. Statistical analysis

GraphPad Prism (8.0.1) with ANOVA was used for the statistical analysis. The multiple-comparison analysis was executed by Tukey test. The results were stated as mean values ± SDs of three independent assays (P < 0.05) and considered significant.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 Phytochemical composition of *P. sylvestris* var. *hamata*

EOs compounds were defined by GC-MS/MS analysis. The mass spectra of the components were defined by comparing them with the standards in the Adams and NIST library database. 66 components were identified, representing 97.12% of the oil and β-Pinene (18.70%), α-Pinene (15.62%), Germacrene D (12.53%), Caryophyllene (11.35%) and Limonene (3.62%) were the chief products. In addition, our study revealed the presence and amount of many previously undetected components in *P. sylvestris* essential oils. The results determined that monoterpene hydrocarbons (43.98%) were dominated group, and sesquiterpenes hydrocarbons (35.52 %) described the second largest group (Table 1).

The EOs of *P. sylvestris* collected from different regions of Turkey have been reported by previous studies. There is a coherence between this study and the reported study. In the former study, α-pinene, camphene, β-pinene were the major compounds. The studies also detected the presence of essential components such as Camphene, β-myrcene, γ-terpinene, Limonene, and Bornyl acetate. (Ustun et al., 2006; Tumen et al., 2010). There are many studies on the EOs of *Pinus* sp., but the chemical content of EOs varies due to the geographical, seasonal, genotypic, and environmental conditions in which the plant lives (Barnola and Cedeño, 2000; Koukos et al., 2000).

Essential oils obtained from plants have been employed for treating diseases and as a preservative and flavoring in food products. Valuable essential oil source coniferous species such as *P. sylvestris* are

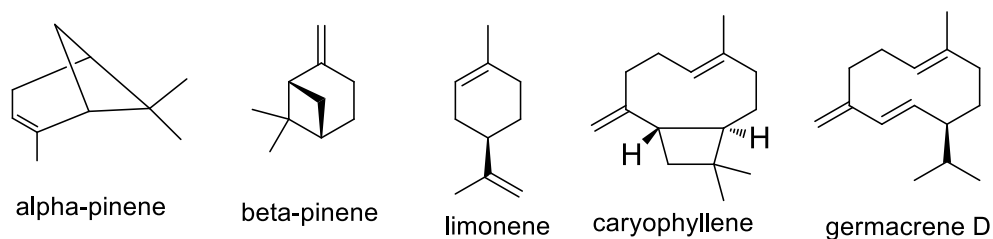
used in many industrial areas such as food and pharmaceuticals. Compounds  $\alpha$ -pinene,  $\beta$ -pinene, caryophyllene, limonene and germacrane D shown in Figure 1 have high biological activities, including antioxidant, antimicrobial, and apoptotic effects (Doughari and Bazza, 2010; Silva et al., 2012; Zheljaskov et al., 2012; Dahham et al., 2015; Zheljaskov et al., 2018).

**Table 1.** EOs contents of *P. sylvestris* var. *hamata*

No	RT(min)	Compounds	Content (%)
1	10.31	$\alpha$ -thujene	0.32
2	10.69	$\alpha$ -pinene	15.62
3	11.19	Camphene	0.59
4	12.53	$\beta$ -pinene	18.7
5	13	$\beta$ -myrcene	1.73
6	13.57	$\alpha$ -phellandrene	0.05
7	13.83	3-carene	1.13
8	14.11	$\alpha$ -terpinene	0.08
9	14.47	p-cymene	0.08
10	14.69	Limonene	3.62
11	15.07	$\beta$ -ocimene	0.05
12	15.55	$\alpha$ -ocimene	0.81
13	16.03	$\gamma$ -terpinene	0.15
14	17.39	Isoterpinolene	1.01
15	17.91	Linalool	0.04
16	18.1	Nonanal	0.05
17	18.55	Fenchol	0.14
18	19.13	$\alpha$ -campholenal	0.15
19	19.72	Pinocarveol	0.35
20	19.98	Camphor	0.5
21	20.17	2-norbornanol	0.27
22	20.72	Pinocamphone	0.1
23	20.82	Pinocarvone	0.14
24	20.97	endo-borneol	0.25
25	21.01	$\alpha$ -phellandren-8-ol	0.17
26	21.5	4-terpineol	0.3
27	22.15	$\alpha$ -terpineol	1.69
28	22.38	Myrtenol	0.48
29	23.78	Citronellol	0.13
30	24.09	Methyl thymol ether	0.3
31	26.39	Bornyl acetate	1.79
32	26.99	trans-pinocarvyl acetate	0.59
33	28.62	Elemene isomer	0.04
34	29.13	Copaene	0.13
35	30.07	Ylangene	0.07
36	30.27	Copaene-isomer	0.18
37	30.66	$\beta$ -bourbonene	0.5
38	30.95	$\beta$ -elemene	0.23
39	31.46	Methyleugenol	0.25
40	32.23	Caryophyllene	11.35

41	32.51	$\beta$ -copaene	0.79
41	33.1	Isogermacrene D	0.33
43	33.49	Humulene	2.56
44	34.45	$\gamma$ -muurolene	0.94
45	34.66	Germacrene D	12.53
46	34.86	Isovaleric acid phenethyl ester	1.33
47	35.01	$\gamma$ -amorphene	0.42
48	35.16	$\alpha$ -muurolene	0.26
49	35.46	$\gamma$ -cadinene	0.2
50	35.72	$\beta$ -cadinene	0.64
51	36.04	$\delta$ -cadinene	1.59
52	36.68	Bisabolene	2.4
53	38.09	Caryophyllene oxide	1.16
54	39.93	tau-muurolol	0.73
55	40.05	$\delta$ -cadinol	0.32
56	40.32	$\alpha$ -cadinol	1.52
57	40.82	6.7-dihydrofarnesol	0.54
58	41.94	Pentadecanal	0.6
59	42.19	trans-farnesol	0.3
60	45.42	Farnesol acetate	0.4
61	45.98	Platambin	0.27
62	49.37	Thunbergol	0.37
63	50.73	trans-geranylgeraniol	0.33
64	52.18	Sclareol	0.27
65	57.37	Neoabietinal	0.13
66	57.58	11-methyltricosane	0.21
	Monoterpene hydrocarbons (Sr. No. 1-15)	43.98	
	Oxygenated monoterpenes (Sr. No. 17-20, 22-29)		4.54
	Sesquiterpenes hydrocarbons (Sr. No. 33-38,40-45,47-52)		35.52
	Oxygenated sesquiterpenes (Sr. No. 53-59, 61)		5.44
	Oxygenated diterpenes (Sr. 62-65)		1.1
	Others (Sr. No. 16,21,30-32,39,46, and 3)		6.54
	<b>Total identified</b>		<b>97.12</b>

RT: Retention times (min), % calculated from FID data.



**Figure 1.** Major bioactive compounds of *P. sylvestris* EOs (Ayad and Akkal, 2019).

### 3.2 Antioxidant analyses of essential oils

The antioxidant activities of *P. sylvestris* var. *hamata* EOs were determined by DPPH<sup>•</sup>, ABTS<sup>•+</sup> scavenging and FRAP assays. DPPH<sup>•</sup>, radical scavenging activity was determined to be more effective than the BHT standard with the value of 9.19 (IC<sub>50</sub>, µg/mL), but it was observed to have lower activity than BHA (4.35 µg/mL) and trolox (4.54 µg/mL). When ABTS cation radical scavenging activity was examined, *P. sylvestris* was found to be high (6.11 µg/mL) compared to all standards. In the FRAP assay, EOs displayed the excellent activity with a value of 6.61 ± 0.02 (µ mol TE/mg EOs) (Table 2).

**Table 2.** Antioxidant activities of *P. sylvestris* var *hamata*

Samples	*DPPH <sup>•</sup> scavenging	*ABTS <sup>•+</sup> scavenging	**FRAP
<i>Pinus sylvestris</i> var. <i>hamata</i>	9.19± 0.32 <sup>b</sup>	6.11± 0.04 <sup>c</sup>	6.61 ± 0.02 <sup>c</sup>
BHT	10.23 ± 0.12 <sup>c</sup>	7.28 ± 0.19 <sup>d</sup>	5.34 ± 0.07 <sup>b</sup>
BHA	4.35 ± 0.10 <sup>a</sup>	4.25 ± 0.12 <sup>a</sup>	7.52± 0.04 <sup>d</sup>
Trolox	4.54 ± 0.14 <sup>a</sup>	5.52 ± 0.22 <sup>b</sup>	nt

\* IC<sub>50</sub> (µg/mL), \*\* (µ mol TE/mg EOs) Values represent the mean of the average of experiments ± SD, nt: not tested. Different letters in each column pointed out the statistically different (p < 0.05).

When the recent literature studies are examined, the fact that the essential oil contents of *Pinus* species are very diverse and enormous. Antioxidant tests were carried out on *P. sylvestris* L. var. *hamata* Steven, *P. pinaster* Aiton subsp. *pinaster*, and *P. pinea* L. bark extracts and found that *P. pinea* showed higher activity (1.643 µg/mL) than standard BHT and trolox (Karacelik et al., 2022). Studies have shown that the antioxidant capacity of *Pinus* sp. is remarkable (Kačániová et al., 2017). Russian Siberia, the northeastern region of China, and Mongolia are the native habitats of *Pinus sylvestris* var. *mongolica*, also known as Mongolian Scots pine. The DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical scavenger's half-inhibition concentration was 14.36 ± 0.28 mg/mL (Namshir et al., 2020). The EOs and antioxidant analyses of five different species of *Pinus* (*P. holdreichii*, *P. peuce*, *P. mugo*, *P. nigra*, and *P. sylvestris*), all grown wild in Southern Kosovo, were investigated, and the most activity was reported in *P. mugo* EOs (Kurti et al., 2019). In the antioxidant study performed with EOs of *Pinus* taxa (*P. tabulaeformis*, *P. tabulaeformis* f. *shekanensis*, *P. tabulaeformis* var. *mukdensis*, *P. tabulaeformis* var. *umbraculifera*, *P. henryi* and, *P. massoniana*) endemic in China, the highest activity was determined in *P. tabulaeformis* var. *mukdensis* (Xie et al., 2015). In another study, *P. canariensis*, *P. attenuata*, and *P. nigra* var. *caramanica* EOs were found to have significant antioxidant activities (Koutsaviti et al., 2021).



### 3.3 Antibacterial effect

According to our results, the growth of all six bacterial strains tested were inhibited by EOs of *P. sylvestris* var. *hamata* in different degrees. *P. aeruginosa* showed higher diameters of growth inhibitions in 1.65 mm zone. *K. pneumonia* and *S. aureus* had the same inhibition as 1.55 mm. *S. typhimurium*, *B. cereus* and *E. coli* showed growth inhibition diameters of 0.15, 1.35, and 1.45 mm respectively. Both the gram-negative and gram-positive strains showed their sensitivities with varying inhibition zone diameters, as can be seen (Table 3).

**Table 3.** Inhibition zones of *P. sylvestris* var *hamata* EOs

Bacteria	Inhibition zones (mm)	C <sub>p</sub>	C <sub>n</sub>
<i>Staphylococcus aureus</i>	1.5 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.9 <sup>a</sup>	0.1
<i>Salmonella typhimurium</i>	0.1 ± 0.2 <sup>b</sup>	1.4 <sup>b</sup>	0.1
<i>Escherichia coli</i>	1.4 ± 0.1 <sup>a</sup>	1.5 <sup>b</sup>	0.1
<i>Bacillus cereus</i>	1.3 ± 0.08 <sup>a</sup>	2.3 <sup>c</sup>	0.1
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	1.5 ± 0.07 <sup>a</sup>	2.1 <sup>c</sup>	0.1
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1.6 ± 0.3 <sup>a</sup>	1.7 <sup>a</sup>	0.1

C<sub>p</sub>: Positive control (Chloramphenicol); C<sub>n</sub>: Negative control (methanol). Values represent the mean of the average of experiments ± SD. Same letters in each column indicated the no significant differences (p < 0.05).

In a study, it was determined that the main components of EOs obtained from *Pinus caribaea* needles, phelandrene (67.9%), caryophyllene (10.2%) and a-pinene (5.4%) had good antibacterial activity by disc diffusion method (Sonibare and Olakunle, 2008). It has been reported by disc diffusion method that *Pinus halepensis* EOs is effective against *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus*. (Abi-Ayad et al., 2011). In another study, *Pinus roxburghii* EOs were also found to be effective on *S. aureus* and *B. subtilis* (Hassan and Amjid, 2009). As a result of the disc diffusion test, *Pinus pinaster* EOs were reported to have moderate activity against *S. aureus*, *B. subtilis*, and *E. coli* (Mimoune et al., 2013). EOs from *Pinus* sp. consist of a complex mixture of terpenes, sesquiterpenes, and diterpenes compounds (Allenspach et al., 2020). The bioactive chemicals in EOs are effective against various pathogenic microorganisms (Hong et al., 2004). The presence of different types of aldehydes, terpenes, phenolics, and other phytoactive compounds particularly may alter some metabolic pathways and structural parts in bacteria, fungi, and viruses. For example, some studies in the literature presented that some delocalized electrons and the hydroxyl group of the phenolic terpenoids have been accepted

among the antimicrobial determining factors (Thapa et al., 2015). The antimicrobial activities of terpenoids were determined according to their functional groups (Mahizan et al., 2019).

In the present study,  $\alpha$ - and  $\beta$ -pinenes in the EOs may interact with the cell membranes of both gram-negative and gram-positive bacterial cells. *P. sylvestris* showed different sensitivities against the gram-negative bacterial strains, *P. aeruginosa* (1.65 mm) and *K. pneumonia* (1.55 mm). This differential response may be possibly related to the fact that the contents of the sample *P. sylvestris* EOs. The positive bacterial strains, *B. cereus* and *S. aureus*, showed different susceptibilities at 1.35 mm and 1.55 mm, respectively. This might indicate that different reaction mechanisms could take place in the bacterial cells regardless of the cell wall types. EOs components may have other targets in bacterial cells, such as the cell membrane and embedded proteins. Thus, the lipophilic nature of the terpenoid compounds eventually disrupts the cell membrane integrity and leads to cell fragmentation (Kačániová et al., 2017). The results may also suggest that the composition of each essential oil may vary in effectiveness against bacterial cell structures and cellular metabolic reactions. Reports indicate that some interactions between the components EOs lead to synergistic or additive effects (Burt, 2004). Even though additive effects have been observed in some studies, it was also suggested that the other minor components are essential to the synergistic activity (Bassolé and Juliani, 2012).

#### **4. Conclusions**

Essential oils that do not pose any risk to human and animal health are important because of their biological activities. EOs from the *P. sylvestris* var. *hamata*, which have good antimicrobial properties, has prospects that can be used against bacterial pathogens, primarily gram negatives. It has been revealed that the EOs exhibits excellent activity close to the standards in the screening of antioxidant activity using various tests. EOs generated from *P. sylvestris* var. *hamata* may be a favorable agent for cosmetic, food, and pharmaceutical industries. Further research in vivo is required to confirm the antimicrobial and antioxidant activities of *P. sylvestris* var. *hamata*, which may be used for the preservation and/or extension of the shelf life of raw and processed foods, as well as pharmaceuticals and natural therapies for infectious diseases in humans.

#### **Acknowledgements**

The authors thank Tubitak 2209-A (University Students Research Project Support Program) for financial support and Dr. Bedrettin Selvi for providing the plant.

#### **Authors' Contributions**

TK designed the study, wrote the manuscript and did the statistical analysis. CU executed the antibacterial assays. AK and SB work the lab experiments.

## Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

## References

- Abi-Ayad M., Abi-Ayad FZ., Lazzouni HA., Rebiahi SA. Antibacterial activity of *Pinus halepensis* essential oil from Algeria (Tlemcen). *Journal of Natural Product and Plant Resources* 2J Nat Prod Plant Resour 2011; 1(1): 33-36.
- Al-Breiki AM., Al-Brashdi HM., Al-Sabahi JN., Khan SA. Comparative GC-MS analysis, in-vitro antioxidant and antimicrobial activities of the essential oils isolated from the peel of *Omani lime*. *Chiang Mai Journal of Science* 2018; 45(4): 1782-1795.
- Allenspach M., Valder C., Flamm D., Grisoni F., Steuer C. Verification of chromatographic profile of primary essential oil of *Pinus sylvestris* L. combined with chemometric analysis. *Molecules* 2020; 25(13): 2973.
- Ayad R., Akkal S. Phytochemistry and biological activities of algerian *Centaurea* and related genera. *Studies in Natural Products Chemistry* 2019; 63: 357-414.
- Barnola L., Cedeño A. Inter-population differences in the essential oils of *Pinus caribaea* needles. *Biochemical Systematics and Ecology* 2000; 28(10): 923-931.
- Bassolé IHN., Juliani HR. Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Molecules* 2012; 17(4): 3989-4006.
- Botsoglou N., Florou-Paneri P., Christaki E., Fletouris D., Spais A. Effect of dietary oregano essential oil on performance of chickens and on iron-induced lipid oxidation of breast, thigh and abdominal fat tissues. *British Poultry Science* 2002; 43(2): 223-230.
- Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. *International Journal of Food Microbiology* 2004; 94(3): 223-253.
- Chao SC., Young DG., Oberg CJ. Screening for inhibitory activity of essential oils on selected bacteria, fungi and viruses. *Journal of Essential Oil Research* 2000; 12(5): 639-649.
- Dahham SS., Tabana YM., Iqbal MA., Ahamed MB., Ezzat MO., Majid AS., Majid AM. et al. The anticancer, antioxidant and antimicrobial properties of the sesquiterpene  $\beta$ -caryophyllene from the essential oil of *Aquilaria crassna*. *Molecules* 2015; 20(7): 11808-11829.
- Doughari JH., Bazza MJ. Phytochemistry, GC-MS analysis, antioxidant and antibacterial potentials of limonene isolated from pericarp of *Citrus sinensis*. *International Journal of Microbiology and Biotechnology* 2010; 5: 22-27.
- Erenler R., Tugba A., Karan T., Elmastas M., Yildiz I., Aksit H., Topcu G., Sanda MA. et al. Chemical constituents isolated from *Origanum solymicum* with antioxidant activities. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics* 2017; 1: 139-145.

- Erenler R., Demirtas I., Karan T., Gul F., Kayir O., Karakoc OC. Chemical constituents, quantitative analysis and insecticidal activities of plant extract and essential oil from *Origanum onites* Trends in Phytochemical Research 2018; 2(2): 91-96.
- Ertas A., Boga M., Gazioglu I., Yesil Y., Hasimi N., Ozaslan C., Yilmaz H., Kaplan M.et al. Fatty acid, essential oil and phenolic compositions of *Alcea pallida* and *Alcea apterocarpa* with antioxidant, anticholinesterase and antimicrobial activities. Chiang Mai Journal of Science 2016; 43(1): 1143-1153.
- Greathead H. Plants and plant extracts for improving animal productivity. Proceedings of the Nutrition Society 2003; 62(2): 279-290.
- Hassan A., Amjid I. Gas chromatography-mass spectrometric studies of essential oil of *Pinus roxburghaii* stems and their antibacterial and antifungal activities. Journal of Medicinal Plants Research 2009; 3(9): 670-673.
- Heyem Z., Nassima B., Ahmed M., Erenler R., Lahcene Z., Fadila B., Ameddah, Set al. Phytochemical profile, anti-lipid peroxidation and anti-diabetic activities of *Thymus algeriensis* Boiss. and Reut. Egyptian Journal of Chemistry 2022; 65(12): 695-705.
- Hong JC., Steiner T., Aufy, Lien TF. Antibacterial and antifungal effects of essential oils from coniferous trees. Livestock Science 2012; 144(3): 253-262.
- Hong EJ., Na KJ., Choi IG., Choi KC., Jeung EB. Effects of supplemental essential oil on growth performance, lipid metabolites and immunity, intestinal characteristics, microbiota and carcass traits in broilers. Biological and Pharmaceutical Bulletin 2004; 27(6): 863-866.
- Inouye S., Takahashi M., Abe S. Inhibitory activity of hydrosols, herbal teas and related essential oils against filament formation and the growth of *Candida albicans*. Nippon Ishinkin Gakkai Zasshi 2009; 50(4): 243-251.
- Kačániová M., Terentjeva M., Vukovic N., Puchalski C., Roychoudhury S., Kunová S., Klůga A., Marián Tokár M., Maciej Kluz M., Eva Ivanišová E. et al. The antioxidant and antimicrobial activity of essential oils against *Pseudomonas* spp. isolated from fish. Saudi Pharmaceutical Journal 2017; 25(8): 1108-1116.
- Karacelik AA, Seker ME., Karaköse M. Determination of antioxidant activity of different extracts from bark of *Pinus* spp. grown in Giresun (Turkey) Province–Phenolic analysis by RP-HPLC-DAD. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi 2022; 25(1): 10-18.
- Karan T, Simsek S, Yildiz I., Erenler R. Chemical composition and insecticidal activity of *Origanum syriacum* L. essential oil against *Sitophilus oryzae* and *Rhizopertha dominica*. International Journal of Secondary Metabolite 2018; 5(2): 87-93.
- Karan T. Metabolic profile and biological activities of *Lavandula stoechas* L. Cellular and Molecular Biology 2018; 64(14): 1-7.
- Karan T, and Cadirci BH. Evaluation of antimicrobial and antioxidant activity of *Lepidium draba* L. World Journal of Pharmaceutical Research, 2018a; 7(13): 1123-1131.

- Keawsa-ard S., Kongtaweelert S. Antioxidant, antibacterial, anticancer activities and chemical constituents of the essential oil from *Mesua ferrea* leaves. *Chiang Mai Journal of Science* 2012; 39(3): 455-463.
- Koukos P., Papadopoulou K., Patiaka DT, Papagiannopoulos A. Chemical composition of essential oils from needles and twigs of balkan pine (*Pinus peuce* Grisebach) grown in Northern Greece. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2000; 48(4): 1266-1268.
- Koutsaviti A., Toutoungy S., Saliba R., Loupassaki S., Tzakou O., Roussis V., Ioannou E. Antioxidant potential of pine needles: a systematic study on the essential oils and extracts of 46 species of the genus *Pinus*. *Foods* 2021; 10(1): 142-161.
- Krone N., Hughes BA., Lavery GG., Stewart PM., Arlt W., Shackleton CH. Gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) remains a pre-eminent discovery tool in clinical steroid investigations even in the era of fast liquid chromatography tandem mass spectrometry (LC/MS/MS). *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* 2010; 121(3-5): 496-504.
- Kurti F., Giorgi A., Beretta G., Mustafa B., Gelmini F., Testa C., Angioletti S., Giupponi L., Zilio E., Pentimalli D., Hajdari A. et al. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oils of different *Pinus* species from Kosovo *Journal of Essential Oil Research* 2019; 31(4): 263-275.
- Namshir J., Shatar A., Khandaa O., Tserennadmid R., Shiretorova VG., Nguyen MC. Antimicrobial, antioxidant and cytotoxic activity on human breast cancer cells of essential oil from *Pinus sylvestris*. var *mongolica* needle. *Mongolian Journal of Chemistry* 2020; 21(47): 19-26.
- Mahizan NA., Yang SK., Moo CL., Song AAL., Chong CM., Chong CW., Abushelaibi A., Lim SE., Lai KS. et al. Terpene derivatives as a potential agent against antimicrobial resistance (AMR) pathogens. *Molecules* 2019; 24(14): 2631.
- Mimoune NA., Mimoune DA., Yataghene A. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils of *Pinus pinaster*. *Journal of Coastal Life Medicine* 2013; 1(1): 54-58.
- Packiyasothy E, Kyle S. Antimicrobial properties of some herb essential oils. *Food Australia* 2002; 54(9): 384-387.
- Sezik E., Üstün O., Demirci B., Başer KHC. Composition of the essential oils of *Pinus nigra* Arnold from Turkey. *Turkish Journal of Chemistry* 2010; 34(2): 313-325.
- Silva Rivas AC, Lopes PM., de Azevedo Barros MM, Costa Machado DC., Alviano CS., Alviano DS. Biological activities of  $\alpha$ -pinene and  $\beta$ -pinene enantiomers. *Molecules* 2012; 17(6): 6305-6316.
- Soković MD., Vukojević J., Marin PD., Brkić DD., Vajs V., Van Griensven LJ. Chemical composition of essential oils of *Thymus* and *Mentha* species and their antifungal activities. *Molecules* 2009; 14(1): 238-249.
- Sonibare OO., Olakunle, K. Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of *Pinus caribaea* from Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 2008; 7(14): 2462-2464.

- Tekce E., Gül M. Esansiyel yağların broiler beslemedeki kullanım alanları. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2016; 6(2): 74-88.
- Thapa D., Louis P., Losa R., Zweifel B., Wallace RJ. Essential oils have different effects on human pathogenic and commensal bacteria in mixed faecal fermentations compared with pure cultures. Microbiology 2015; 161(2): 441-449.
- Tumen I., Hafizoglu H., Kilic A., Dönmez IE., Sivrikaya H., Reunanen M. Yields and constituents of essential oil from cones of *Pinaceae* spp. natively grown in Turkey. Molecules 2010; 15(8): 5797-5806.
- Usta C., Yildirim AB., Turker AU. Antibacterial and antitumour activities of some plants grown in Turkey. Biotechnology & Biotechnological Equipment 2014; 28(2): 306-315.
- Ustun O., Sezik E., Kurkcuglu M., Baser K. Study of the essential oil composition of *Pinus sylvestris* from Turkey. Chemistry of Natural Compounds 2006; 42: 26-31.
- Wei A., Shibamoto T. Antioxidant activities and volatile constituents of various essential oils. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2007; 55(5): 1737-1742.
- Xie Q., Liu Z., Li Z. Chemical composition and antioxidant activity of essential oil of six *Pinus* taxa native to China. Molecules 2015; 20(5): 9380-9392.
- Youdim KA., Deans SG. Effect of thyme oil and thymol dietary supplementation on the antioxidant status and fatty acid composition of the ageing rat brain. British Journal of Nutrition 2000; 83(1): 87-93.
- Zheljazkov VD., . Astatkie T., and Schlegel V. Effects of distillation time on the *Pinus ponderosa* essential oil yield, composition, and antioxidant activity. HortScience 2012; 47(6): 785-789.
- Zheljazkov VD., Kacaniova M., Dincheva I., Radoukova T., Semerdjieva IB., Astatkie T., Schlegel et al. V. Essential oil composition, antioxidant and antimicrobial activity of the galbuli of six *Juniper* species. Industrial Crops and Products 2018; 124: 449-458.

## Kahramanmaraş Onikişubat İlçesindeki Bazı Evlerde Radon Aktivite Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Erdal KÜÇÜKÖNDER<sup>1\*</sup>, Serdar GÜMBÜR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, Kahramanmaraş

<sup>2</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fizik Bölümü, Kahramanmaraş

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-9661-1583>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-6213-1004>

\*Sorumlu yazar: ekucukonder@ksu.edu.tr

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

**Makale Tarihi:**  
Geliş tarihi: 18.05.2023  
Kabul tarihi: 01.09.2023  
Online Yayınlanma: 22.01.2024

**Anahtar Kelimeler:**  
Kahramanmaraş  
Radon  
Yıllık efektif doz eşdeğeri  
Yaşam boyu kanser riski

Bu çalışmada; Kahramanmaraş ili merkez ilçelerinden birisi olan Onikişubat' ta bazı evlerin oturma ve yatak odalarında radon gazı aktivite konsantrasyonlarının ölçümleri Durridge Rad7 dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Bu odalarda ölçülen değerlerin ortalamaları alınarak evlerin içerisindeki radon aktivite değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama radon aktivite konsantrasyon değerlerinin  $4,14 \pm 1,34$  Bq/m<sup>3</sup> ile  $25,54 \pm 9,14$  Bq/m<sup>3</sup> arasında değiştiği saptanmıştır. Bu değerlerin aritmetik ortalaması ise;  $16,81 \pm 6,08$  Bq/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Çalışma kapsamındaki hesaplanan değerler kapalı mekânlar için ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenen seviyelerle karşılaştırıldığında önerilen sınır değerlerin çok altında olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, ölçüm yapılan evlerde yaşayan insanların maruz kaldıkları radon gazından dolayı yıllık efektif doz eşdeğerlerinin (YEDE),  $0,10 \pm 0,03$  mSv/y ile  $0,64 \pm 0,27$  mSv/y arasında değiştiği hesaplanmıştır. Yaşam süresi 70 yıl düşünülerek hesaplanan yaşam boyu kanser risklerinin (YBKR)  $0,37 \pm 0,12 \times 10^{-3}$  ile  $2,26 \pm 0,95 \times 10^{-3}$  arasında değiştiği tespit edilmiştir.

## Determination of Radon Activity Concentration in Some Houses in Kahramanmaraş Onikişubat District

### Research Article

### ABSTRACT

**Article History:**  
Received: 18.05.2023  
Accepted: 01.08.2023  
Published online: 22.01.2024

**Keywords:**  
Kahramanmaraş  
Radon  
Annual effect dose equivalent  
Excessive lifetime cancer risk

In this study, measurements of radon gas activity concentrations in the living and bedroom rooms of some houses in Onikişubat, one of the central districts of Kahramanmaraş province, were made using the Durridge Rad7 detector. The radon activity values inside the houses were calculated by taking the average of the values measured in these rooms. The values of the calculated mean radon activity concentrations ranged from  $4,14 \pm 1,34$  Bq/m<sup>3</sup> to  $25,54 \pm 9,14$  Bq/m<sup>3</sup>. The arithmetic mean of these values was calculated as  $16,81 \pm 6,08$  Bq/m<sup>3</sup>. The calculated values within the scope of the study were compared with the levels determined by national and international organizations for indoor spaces and it was understood that they were far below the recommended limit values. In addition, it has been calculated that the annual effective dose equivalents (YEDE) of people living in the houses where the measurement is made vary between  $0,10 \pm 0,03$  mSv/y and  $0,64 \pm 0,27$  mSv/y due to the radon gas exposure. It was determined that the calculated lifetime cancer risks (YBKR) ranged from  $0,37 \pm 0,12 \times 10^{-3}$  to  $2,26 \pm 0,95 \times 10^{-3}$ .

**To Cite:** Küçükönder E., Gümbür S. Kahramanmaraş Onikişubat İlçesindeki Bazı Evlerde Radon Aktivite Konsantrasyonunun Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 190-199.

## 1. Giriş

İnsanoğlunun radyasyona doğal ve yapay olmak üzere iki şekilde maruz kaldığı bilinmektedir. Maruz kalınan radyasyonun yaklaşık olarak %85’lik kısmının doğal geriye kalan %15’lik kısmının ise yapay olduğu düşünülmektedir (UNSCEAR, 2000). Doğal olarak maruz kalınan radyasyonunda neredeyse yarısının radon gazı sebebiyle olduğu değerlendirilmektedir (Küçükönder, 2021). Radon gazı;  $^{238}\text{U}$  serisinin bozunum ürünü olan ve atom numarası 86 olan periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan radyoaktif bir elementtir. Söz konusu bu gazın yarılanma süresi 3,8 gündür (UNSCEAR, 2000). Bu elementin insanlar tarafından vücuda alımı; havadaki radonun solunmasıyla ya da su ve gıdadaki radonun yutulması şeklinde gerçekleşmektedir. Vücuda alınan radon gazı radyoaktif olması sebebiyle kararlı hale gelinceye kadar bozunmaya devam ederek katı haldeki kız çekirdekleri meydana getirmekte ve böylece bu çekirdeklerin özellikle akciğerlerde birikmesi sonucunda yayılan radyasyon sebebiyle akciğer kanserine yol açabilmektedir (Council, 1999; UNSCEAR, 2000). Bu nedenle; insanların yüksek aktivitede radona maruz kalması sağlıkları açısından son derece riskli sonuçlar doğurabilmektedir (WHO, 2009). Amerikan çevre koruma ajansı (EPA) ülkelerinde akciğer kanserinin en büyük sebebi olarak sigaradan sonra radon gazını göstermektedir (USEPA, 2012).

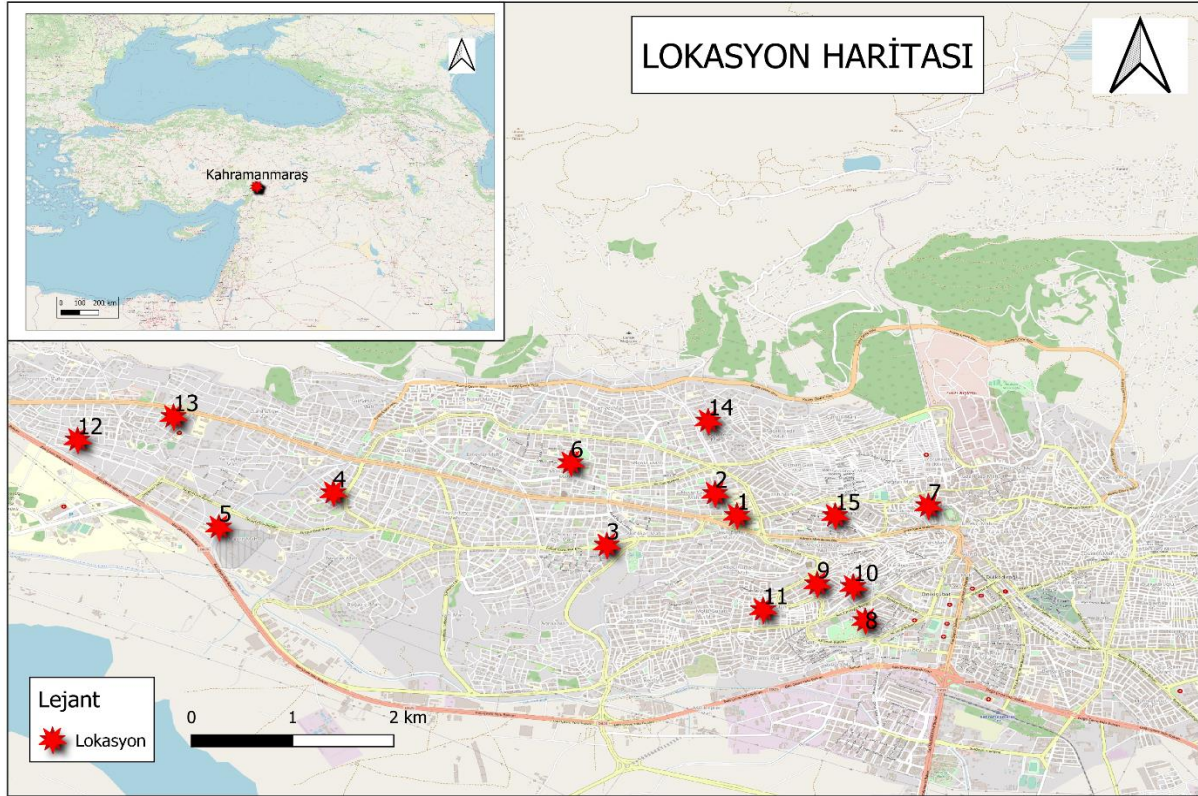
Bina içerisinde maruz kalınan radonun başlıca kaynakları; bina yapımında kullanılan malzemeler, binanın zeminindeki toprak ve kayaçlar, içme ve temizlik ihtiyaçları için kullanılan sular ve ısınma için kullanılan doğal gazdır (Çelebi ve ark., 2015). Dünya Sağlık Örgütü; konutlarda radona maruz kalmanın sağlık üzerindeki etkilerine ilk kez 1979 yılında, bina içerisindeki hava kalitesi üzerine bir Avrupa çalışma grubu aracılığıyla dikkat çekmiştir (WHO, 2009). O dönemden sonra da, birçok ülkede meskenlerde radonun solunmasından kaynaklanan dozları değerlendirmek için ulusal veya bölgesel radon araştırmaları başlatılmıştır. Ülkemizde konutlardaki radon aktivitelerinin ülke çapında ölçümleri 1984 ile 2013 yılları arasında planlı olarak yapılan bir dizi çalışma ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ilk radon konsantrasyonu ölçümleri İstanbul evlerinde yapılmıştır (Koksal ve ark., 1993). Daha sonra çalışma tüm Türkiye’ye yayılmıştır (Çelebi ve ark, 2015).

İnsanların sağlığı açısından son derece önemli olan radon gazı hakkında Kahramanmaraş’ta yapılmış olan birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla; Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi’ndeki binalarda (Küçükönder, 2021, 2022), insanların kullandıkları içme sularında (Küçükönder ve Gümür 2022, 2023), toprakta (Küçükönder ve ark., 2023), sebze ve meyve örneklerindedir (Küçükönder ve ark., 2022). Bununla birlikte, aynı bölgede, radon gazının devamlı olarak fay hattı üzerlerinde izlenmesi ve ölçülen radon gazlarındaki anomaliler durumunda yaşanabilecek depremin önceden tahmin edilmesini temel alan başka bir çalışma daha bulunmaktadır (Gümür, 2022). Mevcut çalışma bu nedenle ayrı bir önem taşımaktadır. Çünkü bölgede yaşanan son deprem felaketinden sonra radon gazı salınımı periyodik olarak ölçülmesi önem kazanmıştır. Ayrıca; Kahramanmaraş’taki Onikişubat ilçesinde yakın tarihte bazı evlerde radon aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi, radondan kaynaklı yıllık efektif doz oranlarının ve yaşam boyu kanser risklerinin hesaplanması ile ilgili benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır.



## 2. Materyal ve Metot

Kahramanmaraş Türkiye'nin güneyinde yer alan bir il olup büyükşehir statüsündedir ve iki adet merkez ilçesi bulunmaktadır. Bunlar; Onikişubat ve Dulkadiroğlu'dur. Mevcut çalışma Onikişubat ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Toplamda 13 farklı mahallede 15 betonarme tarzlı yüksek katlı binaların çeşitli katlarında yer alan evlerde 15/08/2022 ile 15/09/2022 tarihleri arasında radon aktivite konsantrasyon ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm yapılan binaların lokasyon haritası Şekil 1 de verilmektedir.



Şekil 1. Bina içi ölçüm alınan yerlerin lokasyon haritası

Ölçüm yapılan binaların bulunduğu lokasyonlara ait jeolojik formasyonlar incelendiğinde; 8 numaralı Hacı Bayram Veli Mahallesinin jeolojik formasyonu Kuvaterner yaşlı ayrılmamış kuvaterner iken diğer binaların bulunduğu lokasyonların jeolojik formasyonu Miyosen yaşlı Kırıntılılar ve karbonatlardan oluşmaktadır (MTA, 2002).

Radonu ölçmek için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bunlar aktif ve pasif yöntemler olarak ayrılmaktadır. Pasif zaman entegrasyon yöntemi; havadaki radon konsantrasyonunun ölçülmesi tekniklerinden biridir. Bu teknikte, LR-115, CR-39 ve Makrofol gibi katı hal nükleer iz dedektörleri, radon ölçümleri için yaygın olarak kullanılmaktadır (IAEA, 2013). Aktif radon ölçüm tekniklerinde ise Durrige Rad7 ve AlphaGuard gibi cihazlar kullanılmaktadır. Bu cihazlar ile havada, suda, toprakta ve yapı malzemelerinde anlık radon aktivite konsantrasyonu tespit edilebilmektedir.

Mevcut çalışmada; insanların evlerinde en fazla zaman geçirdikleri yerlerin oturma ve yatak odaları olduğu düşünülerek radon aktivite konsantrasyon ölçümleri bu iki odada gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 4,3 kg ağırlığındaki taşınabilir Durrige Rad7 dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Dedektör radon ölçümünün temelini oluşturan yerleşik hava pompası, şarj edilebilir piller ve çıkarılabilir yazıcı ile birlikte çalışan çok yönlü bir araç olup farklı modda farklı amaçlar için kullanılabilir. Bu cihaz, alfa radyasyonunu direkt olarak elektrik sinyaline dönüştüren katı hal alfa dedektörü kullanmaktadır. Sağlık ve her bir alfa parçacığının elektronik olarak sinyallerini belirleme yeteneği dedektörün avantajları arasındadır. Bu dedektör ile %10 standart sapma ve 4 pCi/L EPA eylem seviyesini iki saatin altında sürekli radon ölçülebilmektedir. Radon ölçüm aralığı 0,1 – 20.000 pCi/L (4,0 – 750.000 Bq/m<sup>3</sup>)'dür. Dedektörün bataryası herhangi bir güç kaynağı olmadan sniff modunda 24 saat, izleme modunda 72 saat ölçüm yapılmasına imkan sağlamaktadır. Aynı zamanda, ölçümlerin sonuçlarını rapor olarak LCD ekranında ve tüm döngüler tamamlandıktan sonra yazıcıdan çıktı olarak yeni (Bq/m<sup>3</sup>) ve eski (pCi/L) birim sistemlerinde verebilen bir cihazdır (Durrige, 2023).

Cihazın kalibrasyonu üretici firma tarafından yapılmıştır. Ölçümler için dedektör koklama moduna ayarlanmıştır. Her biri 15 dakika olacak şekilde yerden 1 metre yükseklikte toplam 3 periyottan oluşan ölçümler alınmıştır. Sonuç olarak 3 periyotta alınan ölçümlerin ortalaması dedektör tarafından verilmiştir. Böylelikle, bina içindeki ortalama radon aktivite konsantrasyonları oturma ve yatak odalarında ölçülen değerler üzerinden belirlenmiştir. Radon ve bozunum ürünlerinden dolayı insanların maruz kalabileceği yıllık efektif doz eşdeğeri belirlenen radon aktivite konsantrasyon değerleri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$YEDE = C \times DF \times MF \times F \times 24 \times 365 \times 10^{-6} \quad (1)$$

Burada; YEDE, yıllık efektif doz eşdeğerini (mSv/y); C, radon aktivite konsantrasyon değerini (Bq/m<sup>3</sup>); DF, doz dönüşüm faktörünü (9 nSv<sup>-1</sup>/Bqm<sup>3</sup>); MF, meşguliyet faktörünü (0,8); ve F, denge faktörünü (0,4) temsil etmektedir (Çelebi ve ark., 2014; UNSCEAR, 2000, 2009).

Yaşam boyu kanser riski hesaplamalarında da yıllık efektif doz oranları kullanılarak eşitlik 2 kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

$$YBKR = YEDE \times YS \times RF \quad (2)$$

Burada; YBKR, yaşam boyu kanser riskini; YS, yaşam süresini (70 yıl); ve RF, risk faktörünü (0,05) temsil etmektedir (ICRP, 2007).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Mevcut çalışmada, 13 farklı mahallede 15 farklı binadaki çeşitli katlarda ölçülen bina içi radon aktivite konsantrasyonları, radon ve bozunum ürünlerinden dolayı insanların maruz kalacakları yıllık efektif doz eşdeğerleri (YEDE) ve yaşam boyu kanser riskleri (YBKR) Tablo 1'de verilmektedir.

**Tablo 1.**Binalarda ölçülen radon aktivite miktarları, YEDE ve YBKR

No	Lokasyon	<sup>222</sup> Rn (Bq/m <sup>3</sup> )	YEDE (mSv/y)	YBKR*10 <sup>-3</sup>	Kat Yüksekliği
1	Necip Fazıl Mah.	4,14±1,34	0,10±0,03	0,37±0,12	8
2	Necip Fazıl Mah.	17,67±5,41	0,45±0,14	1,56±0,48	4
3	Şehit Abdullah Çavuş Mah.	6,97 ± 2,44	0,18±0,06	0,62±0,22	7
4	Yirmi iki Gün Mah.	10,37±5,17	0,26±0,13	0,92±0,46	6
5	Maarif Mah.	5,27±3,36	0,13±0,08	0,47±0,30	8
6	Mimar Sinan Mah.	18,18±6,15	0,46±0,16	1,61±0,54	4
7	Şehit Evliya Mah.	22,88±10,78	0,58±0,27	2,02±0,95	1
8	Hacı Bayram Veli Mah.	25,54±9,14	0,64±0,23	2,26±0,81	2
9	Mevlana Mah.	23,61±10,14	0,60±0,26	2,08±0,90	1
10	Ertuğrul Gazi Mah.	19,72 ± 6,11	0,50±0,15	1,74±0,54	3
11	Karacaoğlan	22,19±7,18	0,56±0,18	1,96±0,63	2
12	Üngüt Mah.	21,14±5,64	0,53±0,14	1,87±0,50	2
13	Üngüt Mah.	24,12±9,56	0,61±0,24	2,13±0,84	1
14	Tavşan Tepe Mah.	14,12±3,40	0,36±0,09	1,25±0,30	5
15	Karamanlı Mah.	16,17±5,41	0,41±0,14	1,43±0,48	5
En Düşük	1 Necip Fazıl Mah.	4,14±1,34	0,10±0,03	0,37±0,12	8
En Yüksek	8 Hacı Bayram Veli Mah.	25,54±9,14	0,64±0,27	2,26±0,95	2
Ortalama		16,81±6,08	0,42±0,15	1,48±0,54	

Tablo 1'e bakıldığında binalarda ölçülen radon aktivite konsantrasyonlarının 4,14±1,34 Bq/m<sup>3</sup> ile 25,54±9,14 Bq/m<sup>3</sup> arasında değiştiği görülmektedir. Bu ölçümlerden hesaplanan ortalama radon aktivite konsantrasyon değeri ise 16,81±6,08 Bq/m<sup>3</sup>'dür. En yüksek radon aktivite konsantrasyonu 8 numaralı Hacı Bayram Veli Mahallesiindeki 2. kattaki evde ölçülmüştür. En düşük radon aktivite konsantrasyonu ise, 1 numaralı Necip Fazıl Mahallesiindeki 8. kattaki evde ölçülmüştür. Binaların bulunduğu zeminlerin jeolojik formasyonları incelendiğinde; Hacı Bayram Veli Mahallesi'nin jeolojik formasyonu Kuvaterner yaşlı ayrılmamış kuvaterner iken diğer binaların bulunduğu lokasyonların jeolojik formasyonu Miyosen yaşlı Kırıntılılar ve karbonatlardan oluştuğu anlaşılmaktadır (MTA, 2002). Burada ölçülen radon aktivite miktarlarını jeolojik formasyonlarındaki farklılıklarından kaynaklanabilir. Tablo 1' de, ölçülen radon aktivite değerleri ile kat yükseklikleri arasındaki ilişki incelendiğinde; yüksek katlara çıkıldıkça ölçülen radon aktivite konsantrasyon değerlerinin düştüğü görülmektedir. Çünkü radon gazı konsantrasyonu zemine yakın mesafelerde daha yüksektir (Söğüt ve Avşar, 2016; Küçükönder, 2022).

Tablo 1' de radondan kaynaklı yıllık efektif doz eşdeğeri ve yaşam boyu kanser riskleri de verilmektedir. Buna göre, yıllık efektif doz eşdeğeri (YEDE) 0,10±0,03 mSv/y ile 0,64±0,27 mSv/y arasında değişmektedir. Ortalama yıllık efektif doz eşdeğeri (YEDE) ise 0,42±0,15 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, küresel ortalama değer olan 1,094 mSv/y değerinin altındadır (Thorne, 2003). Yaşam boyu kanser riskleri (YBKR) ise, 0,37±0,12×10<sup>-3</sup> ile 2,26±0,95×10<sup>-3</sup> arasında değişmektedir. Ortalama yaşam boyu kanser riski (YBKR) ise 1,48±0,54×10<sup>-3</sup> olarak hesaplanmıştır. En yüksek yıllık efektif doz eşdeğeri (YEDE) ve yaşam boyu kanser riskleri (YBKR) 8 numaralı Hacı

Bayram Veli Mahallesiindeki 2. kattaki evde hesaplanır iken, en düşük yıllık efektif doz eşdeğeri ve yaşam boyu kanser riskleri 1 numaralı Necip Fazıl Mahallesiindeki 8.kattaki evde hesaplanmıştır.

**Tablo 2.** Ulusal Ve uluslararası kuruluşlar tarafından ev ve iş yerleri için önerilen sınır değerler

Ev <sup>222</sup> Rn (Bq/m <sup>3</sup> )	İş Yeri <sup>222</sup> Rn (Bq/m <sup>3</sup> )	Kuruluşlar
≤400	≤1000	TAEK
≤300	≤1000	ICRP
≤300	≤1000	AB
≤100	-	WHO

TAEK: Türkiye Atom Enerji Kurumu, ICRP: Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi, AB: Avrupa Birliği, WHO: Dünya Sağlık Örgütü

Tablo 2’de ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından ev ve işyerlerinde önerilen radon aktivite konsantrasyon değerleri verilmektedir. Buna göre, mevcut çalışmadaki radon aktivite konsantrasyon değerleri ulusal (TAEK) ve uluslararası (ICRP, AB ve WHO) kuruluşlar tarafından evlerde önerilen sınır değerlerin çok altındadır. Bu durumda, çalışma kapsamında radon aktivite konsantrasyonu ölçülen evlerde yaşayanların, radon ve bozunum ürünlerinden dolayı maruz kalacakları radyasyon miktarının sağlıkları açısından herhangi sakınca teşkil etmeyeceği söylenebilir.

Tablo 3’ de mevcut çalışma ile yapılan benzer çalışmaların karşılaştırılması verilmektedir.

**Tablo 3.** Literatürdeki benzer çalışmalar

Ülke	Çalışma Alanı	<sup>222</sup> Rn (Bq/m <sup>3</sup> )	Kaynak
Türkiye/Kahramanmaraş	Üniversite	4,74 ile 21,54 arasında Ortalama 11,82	(Küçükönder, 2021)
Türkiye/Kahramanmaraş	Ana okullar	24 ile 136 arasında Ortalama 52,25	(Söğüt ve Aşar, 2016)
Türkiye/Isparta	Üniversite	Ortalama 260	(Kürkçüoğlu ve Bayraktar 2012)
Türkiye/İstanbul	Hastane	19 ile 53 arasında Ortalama 32,05	(Günay ve ark., 2018)
Türkiye/Zonguldak	Üniversite	24 ile 417,2 arasında Ortalama 67,1 Bqm <sup>-3</sup>	(Kürkçüoğlu ve ark.,2009)
(Tufaner 2018)Türkiye/Edime	Evler	2 ile 125 arasında Ortalama 27,58	(Tufaner, 2018)
Türkiye/İstanbul	Evler	31,88 ile 125,48 arasında Ortalama 75,01	(Otansev, 2021)
Türkiye	81 ildeki 153 yerleşim yerinden, toplam 7293 konuttan	1 ila 1400 Ortalama 81	(Çelebi ve ark., 2014)
Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti	5 ilde 42 yerleşim bölgesinde kapalı radon konsantrasyonları	Ortalama 35	(Çelebi ve ark., 2007)
Türkiye/Kahramanmaraş	1994 yılında merkezdeki 45 evde	9 ila 45 arasında Ortalama 25	(Çelebi ve ark., 2014)
Saudi Arabia/ Aljouf,	Üniversite	3 ila 31 arasında Ortalama 10	(Alenezzy, 2014)

		40,67 ile 190,00 arasında	
Irak/Bağdat	Evlerde	Ortalama 113,66	(Karim ve ark., 2016)
		5,43 ile 59,6 arasında	
Irak /Bağdat	Üniversite	Ortalama 16,07	(Salim ve Ebrahiem, 2019)
Dünya	Evler	Ortalama 40	UNSCEAR (2009)
Türkiye	Evler	4,14 ile 25,54 arasında Ortalama 16,81	Mevcut Çalışma

Bu çalışmadaki ölçülen radon aktivite değerlerini literatürdeki benzer çalışmalardaki radon aktivitelerinin verildiği Tablo 3'deki değerler ile karşılaştırdığında; Isparta'da üniversite de (Kürkçüoğlu ve Bayraktar, 2012) ve Bağdat'ta evlerde (Karim ve ark., 2016) tarafından yapılan çalışmalardaki değerler mevcut çalışmadaki değerlerden oldukça yüksektir. Ayrıca, Kahramanmaraş'ta anaokullarda (Söğüt ve Avşar, 2016), İstanbul'da bir hastanede (Günay ve ark., 2018), Zonguldak'ta üniversitede (Kürkçüoğlu ve ark., 2009), İstanbul'da evlerde (Otansev, 2021) yapılan çalışmalar ise mevcut çalışmadan biraz daha yüksektir. İlaveten, mevcut çalışmadaki değerler, 81 ildeki 153 yerleşim yerinde, toplam 7293 konutta yapılan ve ortalama olarak  $81 \text{ Bq/m}^3$  olarak hesaplanan değerden (Çelebi ve ark., 2014), Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde 5 ilde 42 yerleşim bölgesinde yapılan çalışmada ortalama olarak bulunan  $35 \text{ Bq/m}^3$ 'den (Çelebi ve ark., 2007) ve UNSCEAR (2009) tarafından evlerde ortalama radon aktivite miktarı olarak duyurulan  $40 \text{ Bq/m}^3$  değerinden düşüktür. Bununla birlikte, mevcut çalışmadaki değerler, Kahramanmaraş merkezdeki 45 evde 1994 yılında (Çelebi ve ark., 2014) tarafından yapılan çalışma, Kahramanmaraş'ta Üniversite'de (Küçükönder, 2021), Suudi Arabistan'daki Aljouf Üniversitesi'nin ana kampüsü içindeki (Alenezy, 2014) ve Bağdat İbnü'l-Haitham Üniversitesi'ndeki binalarda (Salim ve Ebrahiem, 2019) tarafından yapılan çalışmalardaki değerler ile hemen hemen uyum içerisindedir. Çalışmalarda ölçülen radon aktivite konsantrasyon farklılıklarının sebebi; binaların zeminlerinin jeolojik formasyonları ve toprak yapısı, binaların yapı tarzları ahşap yada betonarme olması, binaların yapı yaşları, ölçüm alınan yerlerin yüksekliği, binaların yapımında kullanılan malzemeler, ölçümleri yapıldığı yerlerdeki sıcaklık yada nem farklılıkları, konutların içlerinde ölçüm yapılan odalardaki havalandırma farklılıkları olabilir. İç mekân radon konsantrasyonunu düşürmede havalandırmanın önemi tüm ICRP ve UNSCEAR raporlarında vurgulanmıştır. Kapalı mekânların uzun süre havalandırılmadan durması da iç mekândaki radon aktivite miktarının son derece yükselmesine sebebiyet vermektedir. Dolayısıyla kapalı mekânlardaki radon aktivite miktarlarının azaltmanın en pratik yöntemlerinden biri havalandırmadır (Çelebi ve ark., 2014).

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada Kahramanmaraş Onikişubat ilçesinde bazı evlerde radon aktivite konsantrasyon değerleri ölçülmüş ve radon gazından kaynaklı yıllık efektif doz eşdeğerleri ve yaşam boyu kanser

riski hesaplanmıştır. Mevcut çalışmada ölçülen radon aktivite konsantrasyon değerleri ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen sınır değerlerin altındadır. Sonuç olarak çalışma kapsamındaki evlerde yaşayan insanlar açısından herhangi bir sağlık riski görülmemektedir. Bununla birlikte, çalışmanın kapsamı genişletilerek tüm Kahramanmaraş'ı kapsayacak ölçümler yapılması önerilmektedir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

### **Kaynakça**

- Alenezzy MD. Radon concentrations measurement in Aljouf, Saudi Arabia using active detecting method. *Natural Science* 2014; 6(11): 886-896.
- Çelebi N., Ataksor B., Taşkın H. Konutlarda radon ölçümleri, 2014.
- Çelebi N., Ataksor B., Taşkın H., Bingöldağ NA. Indoor radon measurements in Turkey dwellings. *Radiation Protection Dosimetry* 2015; 167: 626–632.
- Çelebi N., Aybar H., Taşdelen M., Ataksor B., Taşkın H., Aybar Ş. Indoor radon (222Rn) concentration measurements in North Cyprus. In 6th International Balkan Physical Conference. 989. American Institute of Physics; 1 Edition, 2007.
- Council NR. Health effects of exposure to radon: BEIR VI, 1999.
- Durrige. Rad7 electronic radon detector user manual. Revision 2023–03–27,2023. <https://durrige.com/documentation/RAD7%20Manual.pdf> (Erişim tarihi: 15 Temmuz 2023).
- Gümbür S. Gölbaşı-Türkoğlu fay segmenti üzerinde radon gazı değişimlerinin deprem ile ilişkisi. Efe Akademi Yayınları, 2022.
- Günay O., Aközcan S., Kulalı F. Bina içi radon konsantrasyonlarının belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2018; 91–97.
- IAEA. International Atomic Energy Agency. National and Regional Suveys of Radon Concentration in Dwellings., 2013: 1.
- Karim MS., Daroysh HH., Mohammed AN. Assessment of indoor radon concentrations in dwellings for Baghdad Governorate by using RAD-7 detector. *Detection* 2016; 4(2): 40-44.
- Köksal EM., Çelebi N., Özçınar B. Indoor 222Rn concentrations in Istanbul houses. *Health Physics* 1993; 65: 87–88.
- Küçükönder E. Kahramanmaraş ilinde bina içi mevsimsel radon gazı aktivitesi ölçümü. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2021;10: 891–901.

- Küçükönder E. Change of indoor radon gas concentration according to floor height Kahramanmaraş province in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences* 2022;15: 606.
- Küçükönder E., Gümbür S. Radon gas measurement in water samples in Kahramanmaraş province of Turkey. *Water, Air, & Soil Pollution* 2022; 233: 175.
- Küçükönder E., Gümbür S. Health risk assessment, and seasonal radon-thoron concentrations of water samples in Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Turkey. *MAPAN* 2023: 1-10.
- Küçükönder E., Gümbür S., Alıç H. Radon gas measurement in vegetable and fruit samples taken from Kahramanmaraş province of Turkey. *Environment, Development and Sustainability* 2022: 1–15.
- Küçükönder E., Gümbür S., Alıç H. Radon gas measurement in soil samples taken from Kahramanmaraş province of Turkey. *International Journal of Environmental Science and Technology* 2023; 20: 7477-7486.
- Kürkçüoğlu M., Bayraktar G. Süleyman Demirel Üniversitesi'nde bina içi radon konsantrasyonlarının nükleer iz dedektörleri kullanılarak belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2012; 16: 167–183.
- Kürkçüoğlu M., Haner B., Yılmaz A., Toroğlu İ. Karaelmas yerleşkesi merkez kütüphanesi radon ölçümleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi* 2009; 4: 177–188.
- MTA. Maden Araştırma ve Arama Genel Müdürlüğü. 1/500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Hatay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Daire Başkanlığı, Editör: Mustafa ŞENEL, 2002. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/HATAY.pdf> - (Erişim tarihi 16 Mayıs 2023).
- Otansev P. Ev içi radon aktivite konsantrasyonu ve kanser riski. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2021;10: 683–691.
- Salim DA., Ebrahiem SA. Measurement of radon concentration in college of education, Ibn Al-Haitham buildings using Rad-7 and CR-39 detector. *Energy Procedia* 2019; 157: 918-925.
- Söğüt Ö., Avşar Y. Measurement of indoor air radon gas concentrations in some primary schools and kindergartens in Kahramanmaraş city centre, Turkey. *Journal of Qafqaz University* 2016; 4: 121–130.
- Thorne MC. Background radiation: natural and man-made. *Journal of Radiological Protection* 2003; 23: 29.
- Tufaner F. Edirne il merkezinde ev içi radon konsantrasyonu ölçümleri. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2018; 19: 1–8.
- UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Effects of Ionizing Radiation*. United Nations, New York, 2000: 453–487.

UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Effects of Atomic Radiation. Sources-to-effects assessment for radon in homes and workplaces. UNSCEAR 2006 Report, Annex E, United Nations, New York, 2009.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. Report to Congress: Radon in Drinking Water, 2012.

WHO. World Health Organization. Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective, 2009.



## Ring ve Daire Temellerde Taşıma Gücünün İncelenmesi: Mikrogrid Donatı ile Deneysel Uygulama

Ömer YEŞİLTEPE<sup>1\*</sup>, Mehmet Şerif KAHRAMAN<sup>2</sup>, Yakup TÜREDİ<sup>3</sup>, Murat ÖRNEK<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 79000, Kilis

<sup>2,3,4</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 31000, İskenderun/Hatay

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-9337-9157>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-3382-6266>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0001-9197-5214>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-0809-2531>

\*Sorumlu yazar: omeryesiltepe@kilis.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 26.01.2023

Kabul tarihi: 05.09.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Taşıma gücü

Mikrogrid donatı

Ring temel

Daire temel

Laboratuvar deneyi

### ÖZ

Taşıma gücü bakımından zayıf zeminler üzerine inşa edilen yapılarda temel tasarımı oldukça önemli bir problemdir. Bu tür problemlerin çözümünde yüzeysel temel sistemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda zemin iyileştirme yöntemleri tercih edilebilir. Taşıma gücü zayıf zeminlere geosentetik donatılar yerleştirilerek zeminin iyileştirilebilmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışma kapsamında; daire ve ring kesitli olarak hazırlanmış olan mikrogrid donatı kullanılarak güçlendirilen gevşek haldeki kum zemine yerleştiren ring kesit ve daire kesite sahip temellerin eksenel kuvvete maruz bırakıldıklarındaki davranışlarını tespit etmek amacıyla 32 adet laboratuvar deneyi gerçekleştirilmiştir. İlk donatı derinliği ve donatı iç çapı/dış çapı oranı değerlerinin değiştirilmesi suretiyle taşıma gücü yönünden optimum donatı parametreleri araştırılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda mikrogrid donatıların her iki temel türünün de taşıma gücü kapasitelerini arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca yapılan deneylerde daire kesitli mikrogridlerin ring kesitli mikrogridlerden daha iyi performans gösterdiği ve ring kesit iç çapı/dış çapı oranının değişiminin taşıma gücünde kayda değer bir artış sağlamadığı tespit edilmiştir.

## Bearing Capacity Investigation of the Ring and Circular Footings: Experimental Investigation with Mikrogrid Reinforcement

### Research Article

#### Article History:

Received: 26.01.2023

Accepted: 05.09.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Bearing capacity

Mikrogrid

Ring footing

Circular footing

Laboratory test

### ABSTRACT

Foundation design is a very important problem for structures built on weak soils in terms of bearing capacity. Soil improvement methods can be preferred in cases where shallow foundation systems are insufficient to solve these problems. It is possible to improve the soil by placing geosynthetic reinforcements in soils which weak in terms of bearing capacity. In this study, 32 laboratory experiments have been conducted to determine the behavior of the ring and circular section foundations placed on the weak sand soil, which is strengthened by using mikrogrid reinforcement prepared in circular and ring sections, when exposed to axial force. The optimum reinforcement parameters in terms of bearing capacity were investigated by changing the reinforcement initial depth and the reinforcement inner diameter/outer diameter ratio values. As a result of the tests, it was determined that mikrogrid reinforcements increased the bearing capacity of both foundation types. In addition, it was determined that circular mikrogrids performed better than ring mikrogrids and the variation of the ring inner diameter/outer diameter ratio did not provide a significant increase in bearing capacity.

**To Cite:** Yeşiltepe Ö., Kahraman MŞ., Türedi Y., Örnek M. Ring ve Daire Temellerde Taşıma Gücünün İncelenmesi: Mikrogrid Donatı ile Deneysel Uygulama. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(1): 200-214.

## 1. Giriş

Üst yapıdan gelen yüklerin zemine aktarılması amacıyla inşa edilen yapı elemanları; ‘temel’ olarak adlandırılmaktadır. Temellerden zemine aktarılan yükün müsaade edilebilir sınırlar içerisinde oturma gerçekleştirerek üzerinde bulunduğu zemin tarafından taşınması beklenir. Doğal halde bulunan zeminlerin homojen dağılmadığı ve bütün zemin türlerinin kendilerine özgü taşıma gücü ve oturma özellikleri oldukları bilinmektedir. Eğer taşıma gücü bakımından zayıf bir zemine yapı inşa edilecekse ya bu zeminin farklı tekniklerle güçlendirilmesi ya da mevcut zeminin kaldırılıp daha nitelikli bir zemin yerleştirilmesi gerekmektedir. Bunların da yetersiz kalacağı durumlarda ise yükün daha aşağıdaki sağlam zemin tabakalarına aktarılabilmesi için derin temel uygulamalarına başvurulabilir.

Taşıma gücü bakımından zayıf zemin ortamına istenilen özelliklerde donatılar yerleştirilerek zeminin taşıma gücü ve oturma problemlerine çözümler üretilebilmektedir. Bu uygulamalarda kullanılan donatı türlerinden birisi de geosentetiklerdir. Geosentetiklerin çekme dayanımı yüksek olduğundan zayıf zemin ortamına yerleştirildiklerinde oldukça önemli taşıma gücü artışları sağlanabilmektedir.

Literatürde konu ile ilgili rastlanan ilk bilimsel çalışmada, donatıyla güçlendirilmiş kum zemine yerleştirilen şerit temeller için taşıma gücü değeri laboratuvar deneyleri yapılarak araştırılmıştır (Binquet ve Lee, 1975). Yapılan deneylerde kum zemin ortamına alüminyum malzemeden üretilmiş donatı yerleştirilerek üç seri olacak şekilde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deney sonuçlarını karşılaştırmak için boyutsuz kat sayı şeklinde tanımlanan Taşıma Kapasitesi Oranı (BCR) kullanılmıştır. Kullanılan kat sayının değeri, donatı kullanılarak güçlendirilmiş zemine ait taşıma gücü değerinin donatısız zemin üzerinde yapılan deneylerden elde edilen taşıma gücü değerine bölünmesiyle tespit edilmektedir.

Dairesel ve ring kesitli temel türlerinin kullanıldığı çalışmada çapları birbirinden farklı temeller ile donatılı ve donatısız zemin ortamlarında laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Daha sonra yapılan deneyler Plaxis sonlu elemanlar programı ile modellenerek analizler yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile analizlerden elde edilen sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır. Deneylerin sonucunda donatılı zeminin taşıma gücü değerinde meydana gelen artış değeri,  $BCR = 3,02$  olarak belirlenirken sayısal analizlerden  $BCR = 3,20$  olarak hesaplanmıştır (Laman ve Babacan, 2004).

Demiröz (2008) geogrid donatı ile güçlendirilmiş kum zemine yerleştirilmiş olan sürekli temellerde taşıma gücüne etki eden tasarım parametrelerinin deneysel olarak incelendiği çalışmasında, temelin genişliği ve derinliği arttıkça taşıma gücü değerinin arttığını tespit etmiştir. Ayrıca taşıma gücü üzerindeki en etkili parametrenin yaklaşık %39 oranda temel genişliği olarak tespit edilirken, %27 oranla temel derinliği bir diğer önemli parametre olarak belirlenmiştir.

Davarcı (2013) donatı kullanılarak güçlendirilmiş gevşek olarak yerleştirilen kum zemin ortamına konumlandırılan farklı kesitlerdeki yüzeysel temellere ait taşıma gücü değerlerinin tespit edilebilmesi için laboratuvar ortamında çeşitli deneyler yapmıştır. Yapılan laboratuvar deneylerinde temel kesitleri

olarak +, T, H ve kare kesitli temeller kullanılmıştır. Deneyleerde kullanılan geogridler 31mm x 31mm gözenek açıklığına sahip polipropilen malzemededen üretilmiştir. Deneyle sonuçlarından geogrid donatı takviyesi yapılan gevşek durumdaki kum zemine ait taşıma gücü değeri arttığı; ilk donatı derinliğinin (u) artırılmasıyla +, T, H ve kare kesitli temellere ait taşıma gücü değeri azaldığı belirtilmiştir.

Rowshanzamir ve Karimian (2016) geogrid donatısının zemine yerleştirilme durumu, sayısı ve boyutlarının temel taşıma gücü üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla yapmış oldukları laboratuvar deneylelerinde, belirli genişliklere sahip donatı konfigürasyonları kullanılarak güçlendirilmiş kum zemin ortamına yerleştirilmiş olan temel türlerinin taşıma gücü kapasitesi değeri tespit etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en yüksek taşıma gücü kapasitesi değeri donatı derinliğinin artmasıyla oluşan durumda olduğu belirlenmiştir.

Sargazi ve Hosseininia (2017) granüler zemin ortamına oturtulmuş eksantrik yüke maruz bırakılan ve pürüzlü olarak imal edilmiş olan ring temellere ait taşıma gücü kapasitesi değeri belirlenmesi için yaptıkları çalışmada, sonlu farklar yönteminden yararlanılarak üç boyutlu sayısal modellemeler ve deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalara göre, sayısal modelleme sonuçlarından elde edilen değeri ve deneysel çalışmalardan elde edilen değeri arasında birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Anil ve ark. (2017) düzensiz şekilli altı adet temelin kum zemindeki taşıma gücü kapasiteleri ve yük-oturma ilişkilerini sayısal ve deneysel olarak araştırdıkları çalışmada, deneyleler Plaxis 3D programı ile modellenmiştir. Deneyle sonuçları ile sayısal analiz sonuçları arasında uyum olduğu belirtilmiştir. Temellere ait geometrik özelliklerin, taşıma gücü kapasiteleri ve oturma değeri önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir.

Başar (2017) mikrogridle donatılandırılmış ince daneli zemin numunelerinin mukavemet özelliklerindeki iyileşmenin gözlemlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, geogrid donatılarının boyutları 2 mm ve 4 mm gözenek açıklığına sahip olacak şekilde iki farklı donatı olarak seçilmiş ve üç eksenli basınç deneyle (UU) ile farklı donatı konfigürasyonlarının kullanıldığı zeminin donatısız zemine göre iyileşme oranı araştırılmıştır. Uygulanan tüm donatı konfigürasyonlarında, donatısız zemine göre mukavemet özelliklerinde artışa sebep olduğu görülmüştür.

Kahraman (2021) geogridlerle güçlendirilmiş olan gevşek kum zeminlere yerleştirilmiş farklı geometrilerdeki tekil temellerin yük-deplasman davranışlarını laboratuvar deneyleleri ile araştırdıkları çalışmasında; yerleştirilen ilk donatının zemin yüzeyine uzaklığı, donatılar arasındaki mesafe, kullanılan donatıların boyut ve geometrileri, donatı sayıları ve kombinasyonları değiştirilerek kullanılan donatılara ait optimum parametreler belirlenmeye çalışılmıştır. Deneylelere göre ring kesite sahip temele ait optimum parametreler, ilk donatının zemin yüzeyine uzaklığı 0,4R (kare donatı) ve 0,2R (ring donatı); kullanılan donatıların arasındaki mesafe 0,2R (daire donatı), donatı çapı 2,5R (daire donatı); kullanılan donatının sayısı 3 adet (daire donatı) olarak tespit edilmiştir. Daire kesite sahip temellere ait deneylelerde, optimum parametreler, ilk donatının zemin yüzeyine uzaklığı 0,4D

(kare donatı), 0,3D (daire donatı) ve 0,4D (ring donatı), kullanılan donatıların arasındaki mesafe 0,3D (daire donatı), donatının çap değeri 2,5D (daire donatı), donatının sayısı 3 adet (daire donatı) olacak şekilde tespit etmişlerdir. Burada kullanılan R ring temel çapını, D ise daire temel çapını ifade etmektedir.

Kahraman ve ark. (2022) daire ve kare kesitli mikrogrid ile donatılandırılmış kum zemine yerleştirilen ring temellerin aksenal yük altındaki davranışını incelemek için yaptıkları 30 adet laboratuvar deneylerinde; donatı derinliği, donatı çapı, donatı genişliği ve donatı tipi değiştirilerek temelin taşıma gücü değeri için optimum donatı parametrelerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalara göre mikrogrid donatı kullanımının ring temelin taşıma gücü kapasitesi değerini arttırdığını belirtmişlerdir.

Yeşiltepe ve ark. (2022) farklı geometrik kesitlerde olacak şekilde hazırlanmış olan mikrogrid donatılar yardımıyla güçlendirilmiş gevşek haldeki kum zemine konumlandırılmış daire kesite sahip temelin aksenal kuvvete maruz bırakıldığındaki davranışını belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri yaptıkları çalışmada, çeşitli donatılandırma kombinasyonları uygulanarak taşıma gücüne katkısı yönünden optimum mikrogrid donatı parametrelerini belirlemeye çalışmışlardır. Yapılan 31 adet laboratuvar deneyi sonucunda mikrogrid donatıların daire temelin taşıma gücünü önemli ölçüde arttırdığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte optimum parametreler ile ilgili veriler sunulmuştur.

Literatürde zayıf zeminlerin güçlendirilmesi ile ilgili birçok çalışma yer almaktadır (Turedi ve ark. 2019, Örnek ve Yıldız 2019, Dal ve ark. 2019).

Bu çalışma kapsamında daha önce yapılmış olan ve literatürde verilmiş olan çalışmalardan farklı olarak farklı kesit geometrisine (daire ve ring) sahip mikrogrid donatı kullanılarak güçlendirilmiş olan gevşek durumdaki kum zemine yerleştiren farklı kesit ve yüzey alanlarda daire ve ring kesitlere sahip temellerin aksenal kuvvet altındaki davranışlarını tespit etmek amacıyla 32 adet laboratuvar deneyi gerçekleştirilmiştir. İlk donatı derinliği ve donatı iç çapı/dış çapı oranı değerleri değiştirilerek taşıma gücü bakımından optimum donatı parametreleri incelenmiştir.

## **2. Materyal ve Metot**

Laboratuvar ortamında deneylerde gevşek halde yerleştirilmiş kum zemin ortamı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kum zeminin özelliklerini belirlemek amacıyla elek analizi deneyleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu elde edilen dane çapı dağılım eğrisine göre kullanılan zeminin, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre kötü derecelendirilmiş temiz ve ince kum (SP) olduğu tespit edilmiştir. Kum zeminin parametreleri Tablo 1'de sunulmuştur. Deneylerde kum zemin deney kasasına kademeli olarak gevşek zemin koşullarını sağlayacak miktarlarda yerleştirilmiştir. Deneyler İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** Laboratuvar deneylerinde kullanılan zeminin parametreleri

Özellik	Değer
İri danelerin yüzdesi (%)	0,00
Orta büyüklükteki danelerin yüzdesi (%)	65,00
İnce danelerin yüzdesi (%)	35,00
D <sub>10</sub> (mm)	0,16
D <sub>30</sub> (mm)	0,28
D <sub>60</sub> (mm)	0,58
Üniformluk katsayısı, C <sub>u</sub>	3,63
Derecelenme katsayısı, C <sub>c</sub>	0,84
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2,75
Maksimum kuru birim hacim ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	17,11
Minimum kuru birim hacim ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	15,44
Deneyde kullanılan birim hacim ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	15,84
Maksimum boşluk oranı e <sub>max</sub>	1,108
Minimum boşluk oranı e <sub>min</sub>	0,902
Rölatif sıklık Dr (%)	0,257
Kohezyon, c (kPa)	0,00
Kayma mukavemeti açısı, $\phi$ (derece)	36,00
Zemin sınıfı (USCS)	SP

### 2.1. Model Ring ve Daire Temel

Deneylerde dış çapı 20 cm, iç çapı 8 cm olan ring temel ve 20 cm çapında daire temel kullanılmıştır. Kullanılan ring temele ve daire temele ait görseller Şekil 1’de verilmiştir.

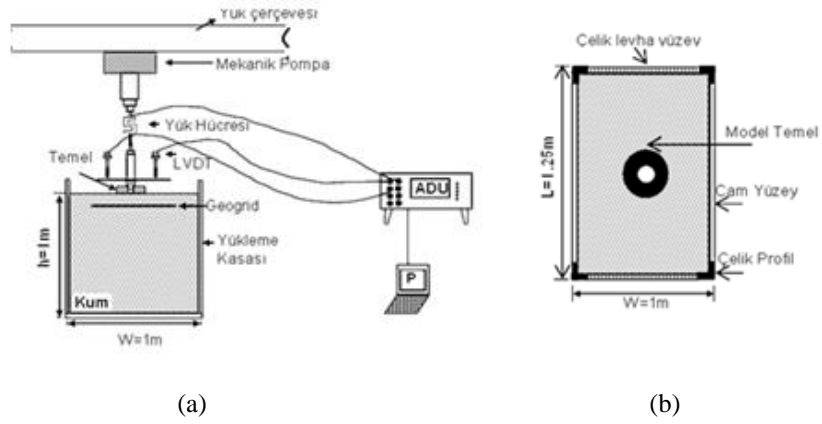


Şekil 1. Model ring ve daire temel

### 2.2. Laboratuvar Deney Düzenegi

Deneylerde kullanılan düzenek; deney kasası, yük çerçevesi, deplasman ölçer ve mekanik pompadan oluşmaktadır. Deney kasası 100cm x 200cm x 100 cm (genişlik, uzunluk, yükseklik) boyutlarındadır. Boyutlar herhangi bir yanıl sınır etkisi oluşmaması için yeterli ebatlardadır. Kum zemin deney kasasına kademeler halinde serilerek gevşek bir halde yerleştirilmiştir. Yerleştirilen kum zeminin üzerine yüzeysel temel yatay bir biçimde terazi yardımıyla konumlandırılarak, yük çerçevesine monte edilmiş mekanik pompaya bağlı olan basınç kolu ile temele yükleme yapılmıştır. Yükleme hızı olarak 3mm/dk değeri kullanılmıştır. Uygulanan yük, yük hücresiyle temel in yaptığı oturma miktarları da deplasman ölçerlerle kaydedilip veri işleme ünitesine iletilmiştir. Bu düzenek kullanılarak yükleme

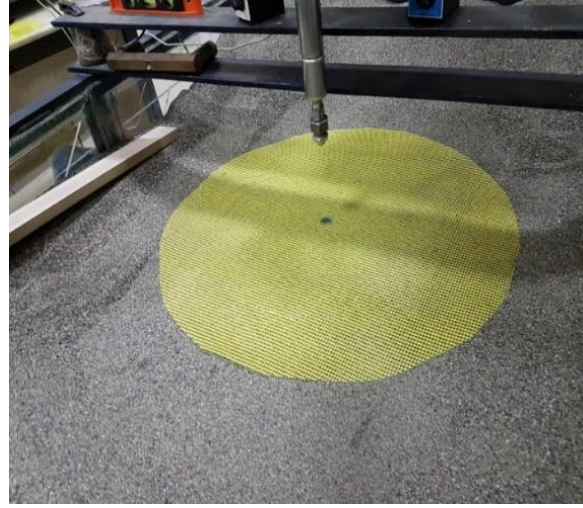
deneyleri yapılmış ve temellere ait yük-oturma grafikleri oluşturulmuştur. Deney düzeneğinin kesit görünüşleri ve düzeneğe ait görseller Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Deney düzeneğine ait kesit görünüşleri ve yükleme düzeneği (a) Deney düzeneğine ait kesit görünüşü, (b) Üstten görünüşü, (c) Yükleme düzeneği

### 2.3. Mikrogrid Donatı

Laboratuvar ortamında yapılan deneylerde, Zemin danelerinin geogrid donatı açıklıklarının arasına girerek oluşturduğu kenetlenme etkisinden dolayı geogrid açıklıklarının zemin dane çapı dağılımına göre belirlenmesi taşıma gücü bakımından dikkat edilmesi gereken bir husustur. Bu sebeple zemin numunesinin en büyük dane çapı 2mm ve geogrid elek açıklığı 4 mm olarak seçilmiştir. Kullanılan geogrid iki eksenli çalışan mikrogrid donatıdır (Şekil 3). Geogrid donatıya ait özellikler Tablo 2’de verilmiştir. Mikrogrid donatılar daire ve ring kesitte kesilerek istenilen boyutlarda kullanılmıştır.



**Şekil 3.** Deneylerde kullanılan geogrid

**Tablo 2.** Mikrogrid donatıya ait teknik özellikler

Parametre	Değer
Mikrogrid türü	Polimerle kaplanmış cam yünü
Eksenel rijitlik (kN/m)	40
Mikrogrid ağırlığı (gr/m <sup>2</sup> )	160
Elek açıklığı (mm)	4
Çalıştığı eksenler	Çift

#### 2.4. Deney Programı

Zemine yerleştirilmiş olan mikrogridlerin ilk donatı derinliği ( $u$ ) ile donatı dış çapının iç çapına oranı olarak ifade edilen donatı kesit oranı ( $d'$ ) parametreleri değiştirilip, daire ve ring kesitli temellerin ayrı ayrı yük-oturma davranışları tespit edilmiştir. Donatı dış çapı 20 cm olarak sabit tutularak  $d'$  oranı 0,2; 0,4; 0,6 ve 0,8 olarak seçilmek suretiyle ring kesitli donatılar hazırlanmıştır. Deneyler yapıp yük-deplasman değerleri grafik haline getirilerek analiz edilmiştir. Yapılan seri deneylere ait parametreler Tablo 3'te sunulmuştur. Zeminlere mikrogrid donatı yerleştirilmesinin taşıma gücü üzerindeki etkisini karşılaştırmak amacıyla donatısız durumlar için de deneyler yapılmıştır.

**Tablo 3.** Deney programı

Seriler	Deney adı	Temel tipi	Donatı geometrisi	Donatı sayısı (N)	Donatı kesit oranı ( $d'$ )	İlk donatı derinliği ( $u$ )
	D-101	Ring	Donatısız	-	-	-
	D-102	Ring	Daire	1	-	0,2 R
	D-103	Ring	Ring	1	0,2	0,2 R
	D-104	Ring	Ring	1	0,4	0,2 R
	D-105	Ring	Ring	1	0,6	0,2 R
	D-106	Ring	Ring	1	0,8	0,2 R
<b>Seri 1</b>	D-107	Ring	Daire	1	-	0,4 R
	D-108	Ring	Ring	1	0,2	0,4 R
	D-109	Ring	Ring	1	0,4	0,4 R
	D-110	Ring	Ring	1	0,6	0,4 R
	D-111	Ring	Ring	1	0,8	0,4 R
	D-112	Ring	Daire	1	-	0,6R
	D-113	Ring	Ring	1	0,2	0,6 R

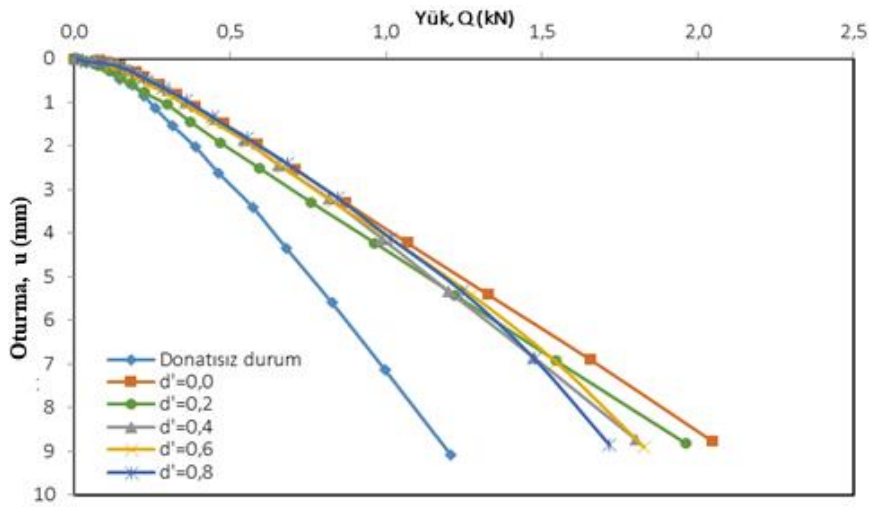


	D-114	Ring	Ring	1	0,4	0,6 R
	D-115	Ring	Ring	1	0,6	0,6 R
	D-116	Ring	Ring	1	0,8	0,6 R
	D-201	Daire	Donatısız	-	-	-
	D-202	Daire	Daire	1	-	0,2 D
	D-203	Daire	Ring	1	0,2	0,2 D
	D-204	Daire	Ring	1	0,4	0,2 D
	D-205	Daire	Ring	1	0,6	0,2 D
	D-206	Daire	Ring	1	0,8	0,2 D
	D-207	Daire	Daire	1	-	0,4 D
	D-208	Daire	Ring	1	0,2	0,4 D
Seri 2	D-209	Daire	Ring	1	0,4	0,4 D
	D-210	Daire	Ring	1	0,6	0,4 D
	D-211	Daire	Ring	1	0,8	0,4 D
	D-212	Daire	Daire	1	-	0,6 D
	D-213	Daire	Ring	1	0,2	0,6 D
	D-214	Daire	Ring	1	0,4	0,6 D
	D-215	Daire	Ring	1	0,6	0,6 D
	D-216	Daire	Ring	1	0,8	0,6 D

### 3. Deneysel Sonuçlar

#### 3.1. Ring Temel İlk Donatı Derinliği Analizi

Bu serinin ilk bölümünde gevşek kum zemine ilk olarak ring temel donatısız bir şekilde yerleştirilip yükleme deneyi yapılmıştır. Sonrasında ilk donatı derinliği 0,2R (ring temel dış çapı) olarak sabit tutulup, mikrogrid donatının dış çapının i çapına oranı  $d^*=0$  (daire kesitli donatı), 0,2; 0,4; 0,6 ve 0,8 olarak değiştirilmek suretiyle yükleme deneyleri yapılmıştır. Analizlerde ring donatıların kesit oranının zeminin taşıma gücüne katkısı araştırılmıştır (şekil 4).

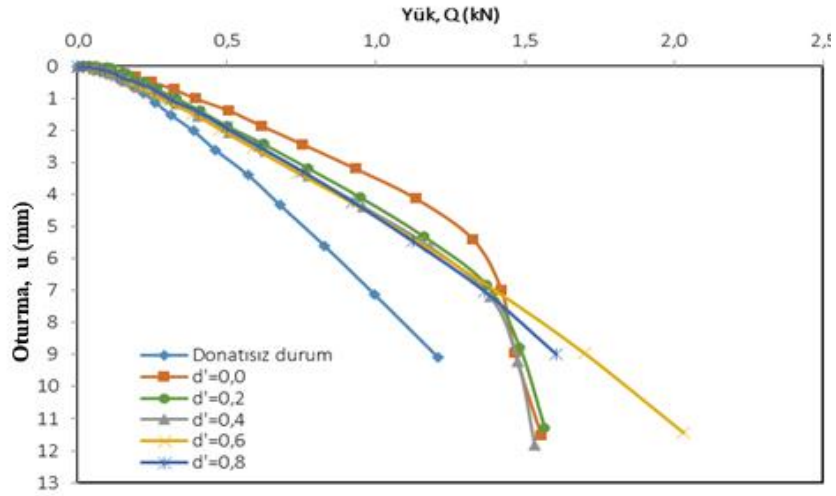


şekil 4. Ring kesitli temel  $u=0,2R$  için yük-oturma eğrileri



Analiz sonuçları incelendiğinde; ring kesitli donatıların taşıma gücünü arttırdığı görülmektedir. Donatı çap oranlarına göre karşılaştırma yapıldığında ise yaklaşık olarak birbiri ile aynı seviyede taşıma gücü değerleri tespit edilmiştir. En yüksek taşıma gücü değeri  $d'=0$  (daire kesitli durumda) yakalanmıştır. Bu durumda zemin yüzeyine yakın konumlandırılan ( $u=0,2R$ ) donatının kesit alanında azalma meydana geldiğinde (ring kesit) taşıma gücüne katkısının azaldığı ancak bu oranın farklılaştırılmasının taşıma gücüne çok fazla etki etmediği görülmüştür.

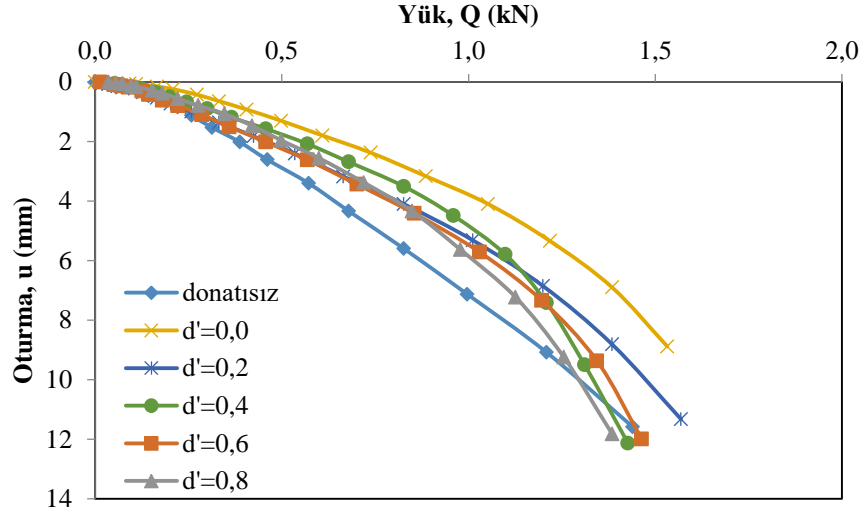
Serinin ikinci kısmında ise ilk donatının derinliği  $0,4R$  olarak sabit tutularak donatı dış çap oranı  $d':0; 0,2; 0,4; 0,6$  ve  $0,8$  olan donatılar kullanılıp ring kesite sahip donatıların taşıma gücü üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Ring kesitli temel  $u=0,4R$  için yük-oturma eğrileri

Sonuçlar incelendiğinde; en büyük taşıma gücü değerinin  $d'=0$  (daire kesitli donatı) durumunda elde edildiği görülmektedir. Diğer bütün ring kesitli donatılar için yaklaşık olarak aynı değerler elde edilmiştir. Bu durumda zemin yüzeyinden bir önceki duruma göre biraz daha aşağıda konumlandırılan ( $u=0,4R$ ) donatının kesit alanında azalma meydana geldiğinde (ring kesit) taşıma gücüne katkısının bir miktar azaldığı ancak bu orandaki değişimlerin taşıma gücüne bir miktar etki ettiği görülmüştür.

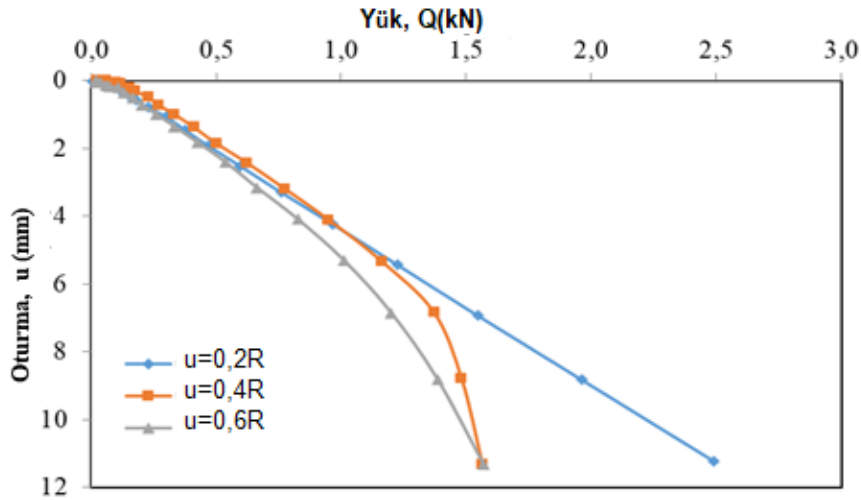
Bu serinin üçüncü kısmında ilk donatının derinliği  $0,6R$  olarak sabit tutulup donatı çap oranı  $d':0; 0,2; 0,4; 0,6$  ve  $0,8$  olan donatılar yerleştirilerek yüklemeler yapılmış ve bu ilk donatı derinliğinde ring donatıların taşıma gücü üzerindeki etkileri incelenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Ring kesitli temel  $u=0,6R$  için yük-oturma eğrileri

Sonuçlar incelendiğinde;  $u=0,6R$  derinliğine yerleştirilen ring donatılarının taşıma gücü üzerindeki etkisinin diğer durumlara göre çok daha az olduğu görülmektedir. Ring donatısının dış/iç çap oranlarının değişimine göre karşılaştırma yapıldığında ise bütün oranlarda yaklaşık aynı değerler olduğu görülmektedir. En yüksek taşıma gücü değeri  $d':0$  (daire donatı) kullanılan durumda yakalanmıştır. Bu durumda ise zemin yüzeyinden bir önceki durumlara göre en alt kısımda konumlandırılan ( $u=0,6R$ ) donatısının kesit alanında azalma meydana geldiğinde (ring kesit) taşıma gücüne katkısının fazla değişmediği ve bu orandaki değişimlerin taşıma gücüne çok az miktarda etki ettiği görülmüştür.

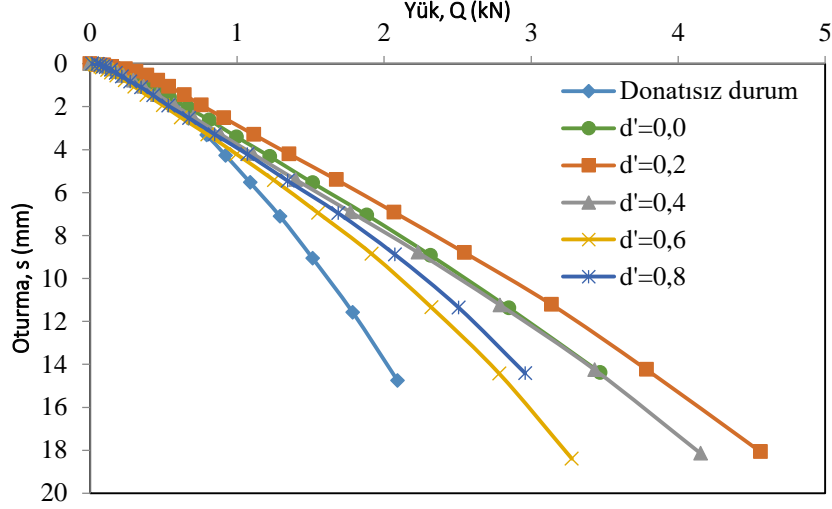
Ring kesite sahip mikrogrid donatılarının çap oranı  $d':0,2$  olacak şekilde sabit tutulup ilk donatı derinlikleri  $0,2R$ ;  $0,4R$  ve  $0,6R$  olarak yapılmış ve sonuçlar (Şekil 7) incelendiğinde ilk donatı derinliğinin optimum değerinin  $u_{opt}=0,2R$  olduğu belirlenmiştir. Bu durumda ring donatısının kesit etkisinin donatının yerleştirilme derinliğinin artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 7. Ring kesitli temel  $d'=0,2$  değeri için yük-oturma eğrileri

### 3.2. Daire Temel İçin İlk Donatı Derinliğinin ve Donatı Kesit Oranının Etkisi

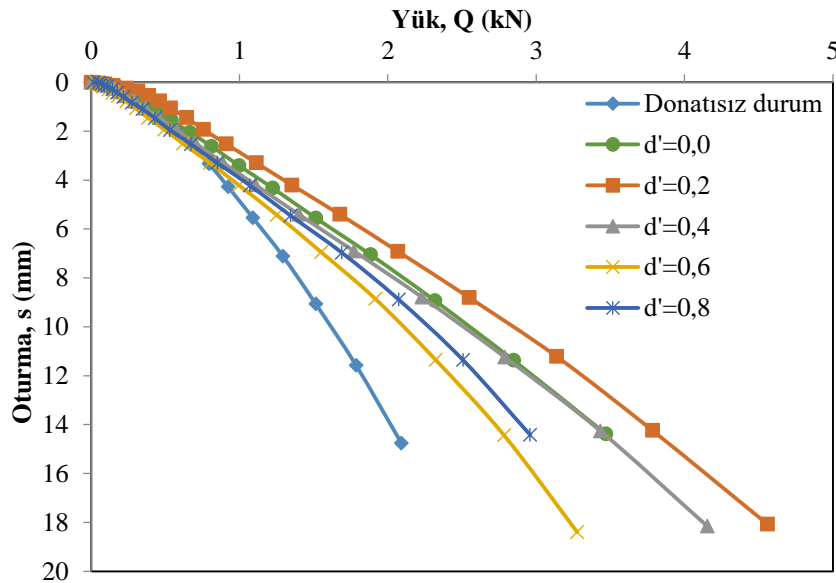
Bu serinin ilk bölümünde gevşek kum zemine ilk olarak daire temel donatısız bir şekilde yerleştirilip yükleme deneyi yapılmıştır. Sonrasında ilk donatı derinliği 0,2D (daire temel çapı) olarak sabit tutulup, mikrogrid donatının dış çapının iç çapına oranı  $d'=0$  (daire kesitli donatı), 0,2; 0,4; 0,6 ve 0,8 olarak değiştirilmek suretiyle yükleme deneyleri yapılmıştır. Analizlerde ring donatıların kesit oranının zeminin taşıma gücüne katkısı araştırılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Daire kesitli temel  $u=0,2D$  için yük-oturma eğrileri

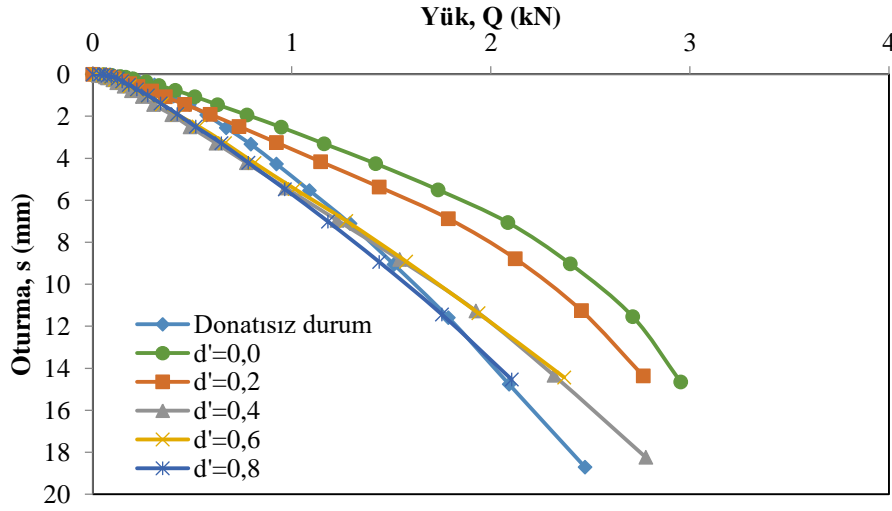
Analiz sonuçları incelendiğinde; ring kesitli donatıların taşıma gücünü arttırdığı görülmektedir. Donatı çap oranlarına göre karşılaştırma yapıldığında ise en yüksek taşıma gücü değeri  $d'=0,2$ 'de yakalanmıştır. Bu durumda daire kesitli temelde ring donatının kesit alanındaki değişimin ring kesitli temelin aksine taşıma gücüne daha fazla etki ettiği görülmüştür.

Serinin ikinci kısmında ise ilk donatının derinliği 0,4D olarak sabit tutulup, donatı dış çap oranı  $d':0$ ; 0,2; 0,4; 0,6 ve 0,8 olan donatılar kullanılıp ring kesite sahip donatıların taşıma gücü üzerindeki etkisi incelenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Daire kesitli temel  $u=0,4D$  için yük-oturma eğrileri

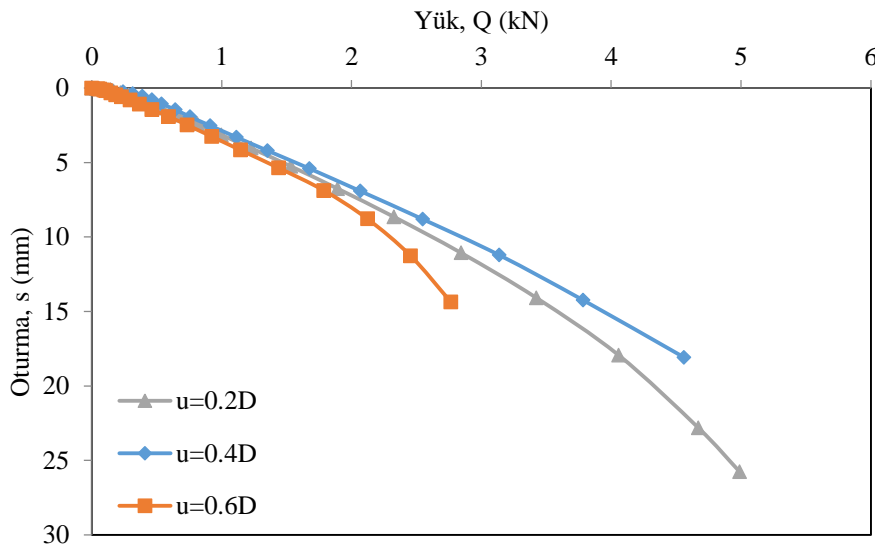
Sonuçlar incelendiğinde; en büyük taşıma gücü değerinin  $d'=0,2$  durumu için elde edildiği tespit edilmiştir. Bu serinin üçüncü kısmında ilk donatı derinliğinin  $0,6D$  olacak şekilde sabit tutulup donatı çap oranı  $d'$ : 0; 0,2; 0,4; 0,6 ve 0,8 olan donatılar yerleştirilerek yüklemeler yapılmış ve bu ilk donatı derinliğinde ring donatıların taşıma gücü üzerindeki etkileri incelenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Daire kesitli temel  $u=0,6D$  için yük-oturma eğrileri

Sonuçlar incelendiğinde; ring donatıların taşıma gücü üzerindeki etkisinin çok az olduğu görülmektedir. Donatı çap oranına göre karşılaştırma yapıldığında ise en yüksek taşıma gücü değeri  $d':0$  (daire donatı) kullanıldığı durumda elde edilmiştir. İlk donatı derinliğinin artırılmasıyla birlikte ring donatının taşıma gücüne katkısının diğer durumlara göre daha az olduğu görülmektedir.

Daire kesite sahip mikrogrid donatıların çap oranı  $d':0$  olacak şekilde sabit tutulup ilk donatı derinlikleri  $0,2D$ ;  $0,4D$  ve  $0,6D$  olarak yapılmış ve sonuçlar incelendiğinde ilk donatı derinliğinin optimum değerinin  $u_{opt}=0,4D$  olduğu belirlenmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Daire kesitli temel  $d'=0$  değeri için yük-oturma eğrileri

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında daire ve ring kesitli olarak hazırlanmış olan mikrogrid donatı kullanılarak güçlendirilen gevşek haldeki kum zemine yerleştiren ring kesitli ve daire kesitli temellerin eksenel kuvvete maruz bırakıldıklarındaki davranışları 32 adet laboratuvar deneyi ile analiz edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgulardan çıkarılan sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Ring temel üzerinde yapılan deneylerden elde edilen verilere göre ilk donatı derinliğinin 0,2R ve 0,4R olduğu durumlarda birbirine yakın taşıma gücü değerleri elde edilirken optimum donatının kesit oranı  $d' = 0$  (daire kesit) değeridir.

Daire temel üzerinde yapılan deneylerden elde edilen verilere göre ilk donatı derinliğinin 0,2D ve 0,4D olduğu durumlarda daha yüksek taşıma gücü değerleri elde edilirken, kullanılan donatıların kesit oranının  $d'= 0$  ve  $d'= 0,2$  olduğu deneylerde iyi sonuçlar yakalanmıştır.

Literatürde yer alan bazı çalışmalarda da donatı kullanılması durumunda taşıma gücü değerinin arttığı belirtildiğinden dolayı her iki temel tipi için de beklendiği gibi donatılı durumda donatısız duruma göre taşıma gücü değerlerinde önemli artışlar gözlemlenmiştir (Kahraman, 2021, Yeşiltepe ve ark. 2022). Donatı kesitinin daire kesitli olduğu durumda daha yüksek taşıma gücü değerleri bulunmuştur.

Daire kesitli temellerin yük altında oluşturdukları göçme yüzeyi bölgesine yerleştirilen ring donatının ( $d'=0,2$ ) daire donatıya ( $d'=0$ ) göre taşıma gücüne daha fazla katkı sağladığı, ancak belli bir mesafeden sonra ( $u=0,6D$ ) daire kesitli donatının ring kesitli donatılara göre daha fazla katkı sağladıkları görülmektedir. Bu durumda iyileştirme yapmak için kullanılacak olan donatının geometrisinin kullanılan temel kesit geometrisine göre seçilmesinin daha faydalı olacağı düşünülmektedir.

Daire kesitli temellerin her durumda ring kesitli temellerle karşılaştırıldığında daha fazla taşıma gücü değeri elde edildiği görülmektedir. Ayrıca aynı taşıma gücü değerlerine göre kıyaslama yapıldığında ring temellere göre daha az deplasman yaptıkları görülmüştür. Bu durumda daire temellerin geogridlerle güçlendirilmiş zeminlerde kullanımında ring kesitli temellere göre daha yüksek taşıma gücü değerleri elde edileceğinden temel tasarımı yapılırken bu durumun göz önünde bulundurulması faydalı olacaktır.

Gelecekte bu çalışma kapsamında kullanılan mikrogrid ve temellerin boyutları çeşitleri değiştirilerek laboratuvar ve arazi deneyleri gerçekleştirilerek daha detaylı çalışmalar yapılarak literatüre katkı sağlanabilir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Makalenin yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

#### Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağladıklarını beyan eder.

## **Kaynakça**

- Anil O., Akbas SO., Babagiray S., Gel AC., Durucan C. Experimental and finite element analyses of footings of varying shapes on sand. *Geomechanics and Engineering* 2017; 12(2): 223-238.
- Başar EE. Geosentetik donatılı zeminlerin üç eksenli dayanımının incelenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, sayfa no:103, Osmaniye, Türkiye, 2017.
- Binquet J., Lee KL. Bearing capacity tests on reinforced earth slabs. *Journal of the Geotechnical Engineering Division* 1975; 101(12): 1242-1255.
- Dal K., Cansız OF., Ornek M., Turedi Y. Prediction of footing settlements with geogrid reinforcement and eccentricity. *Geosynthetics International* 2019; 26(3): 297-308.
- Davarcı B. Donatılı gevşek kum zemine oturan çok kenarlı yüzeysel temellerin analizi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, sayfa no: 151, Hatay, Türkiye, 2013.
- Demiröz A. Geogrid donatılı kum üzerine oturan sürekli temellerde taşıma gücünü etkileyen tasarım faktörlerinin deneysel olarak araştırılması. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, sayfa no:227, Konya, Türkiye, 2008.
- Kahraman MŞ. Ring temellerde mikrogrid donatının taşıma gücüne etkisinin incelenmesi. *İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, sayfa no: 79, Hatay, Türkiye, 2021.
- Kahraman MŞ., Yeşiltepe Ö., Turedi Y., Örnek M. Mikrogrid donatılı zeminde ring temel taşıma kapasitesinin deneysel olarak incelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2022; 25(4): 516-527.
- Laman M., Babacan ŞD. Donatılı kum zemin üzerine oturan ring (halka) temellerin analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2004; 19(2): 281-289.
- Örnek M., Yıldız A. Granüler dolgu tabakasına oturan yumuşak kil zeminlerin taşıma gücü hesabında analitik yaklaşımlar. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2019; 2(1): 53-60.
- Rowshanzamir MA., Karimian M. Bearing capacity of square footings on sand reinforced with dissimilar geogrid layers. *Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering* 2016; 23(1): 36-44.
- Sargazi O., Hosseininia ES. Bearing capacity of ring footings on cohesionless soil under eccentric load. *Computers and Geotechnics* 2017; 92: 169-178.
- Turedi Y., Emirler B., Ornek M., Yildiz A. Determination of the bearing capacity of model ring footings: Experimental and numerical investigations. *Geomechanics and Engineering* 2019; 18(1): 29-39.

Yeşiltepe Ö., Kahraman MŞ., Türedi Y., Örnek M. Mikrogrid donatı ile güçlendirilmiş zeminde dairesel temel taşıma gücünün deneysel olarak incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2022; 22(4): 850-857.

## Amik Ovası Ekolojik Koşullarında Bazı Pamuk Çeşitlerinin Verim, Randıman ve Bazı Lif Kalite Özellikleri Yönünden İncelenmesi

Yaşar AKIŞCAN<sup>1\*</sup>, Nazlı AYBAR YALINKILIÇ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 31000, Hatay

<sup>2</sup>Muş Alparslan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, 49250, Muş

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-3302-7766>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-7462-775X>

\* Sorumlu yazar: yakiscan@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 17.10.2022

Kabul tarihi:08.09.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

*Gossypium hirsutum* L.

Kütlü verimi

Lif uzunluğu

Lif parlaklığı

Lif sarılığı

### ÖZ

Bu çalışma ülkemizde tarımı yapılan 8 pamuk çeşidinin Amik Ovası ekolojik koşullarında kütlü verimi, çırçır randımanı ve bazı lif kalite özelliklerini incelemek amacıyla 2018 yılında yürütülmüştür. Çalışmada *Gossypium hirsutum* L. türüne ait BA 151, BA 308, BA 320, Celia, Deltaopal, Flora, SG 125 ve Teks çeşitleri materyal olarak kullanılmıştır. Çalışmaya ilişkin deneme Tesadüf Blokları Deneme Deseni uyarınca üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Çalışma sonucunda incelenen çeşitler arasındaki farklılıkların lif inceliği dışındaki tüm özellikler için istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır. Elde edilen bulgular Teks çeşidinin incelenen tüm özellikler [kütlü verimi (554,3 kg da<sup>-1</sup>), çırçır randımanı (% 41,5), lif uzunluğu (29,9 mm), lif inceliği (4,67 mikroner), lif kopma dayanıklılığı (37,5 g tex<sup>-1</sup>), lif parlaklığı (78,67 rd) ve lif sarılığı (7,83 +b)] yönünden en üstün grupta yer alarak öne çıktığını göstermektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda, Teks çeşidinin materyal olarak kullanılan genotipler arasında yer alan Amik Ovası ekolojik koşullarına en uygun çeşit olduğu ve önerilebileceği kanaatine varılmıştır.

## Investigation of Some Cotton Varieties in terms of Yield, Ginning Turnout and Some Fiber Quality Characteristics in Amik Plain Ecological Conditions

### Research Article

#### Article History:

Received: 17.10.2022

Accepted: 08.09.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

*Gossypium hirsutum* L.

Seedcotton yield

Fiber length

Fiber reflectance

Fiber yellowness

### ABSTRACT

This study was carried out in 2018 in order to examine the seedcotton yield, ginning turnout and some fiber quality characteristics of 8 cotton varieties cultivated in our country in the ecological conditions of Amik Plain. In the study, BA 151, BA 308, BA 320, Celia, Deltaopal, Flora, SG 125 and Teks cotton (*Gossypium hirsutum* L.) varieties were used as materials. The experiment related to the study was established according to the Randomized Complete Block Design with 3 replications. As a result of the study, it was determined that the differences between the examined varieties were statistically significant for all characteristics except fiber fineness. The findings show that Teks variety stands out as being in the superior group in terms of all examined characteristics [seedcotton yield (554.3 kg da<sup>-1</sup>), ginning turnout (41.5%), fiber length (29.9 mm), fiber fineness (4.67 micronaires), fiber strength (37.5 g tex<sup>-1</sup>), fiber reflectance (78.67 rd) and fiber yellowness (7.83 +b)]. According to these results, it was concluded that Teks variety, which is among the genotypes used as material, is the most suitable variety for the ecological conditions of the Amik Plain and can be recommended.

**To Cite:** Akışcan Y., Aybar Yalınkılıç N. Amik Ovası Ekolojik Koşullarında Bazı Pamuk Çeşitlerinin Verim, Randıman ve Bazı Lif Kalite Özellikleri Yönünden İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 215-223.



## 1. Giriş

Tropik ve subtropik iklim kuşağında yetiştirilen pamuk; başta tekstil sanayi olmak üzere çok çeşitli kullanım alanları ile dünya genelinde birçok ülkenin ilgi odağında olan stratejik bir üründür. Tekstil sektörüne sağladığı hammaddenin yanı sıra çiğit adı verilen tohumundan elde edilen yağı ile yağ sanayisi, yağı çıkarıldıktan sonra kalan küspesi ile yem sanayisi açısından önemli bir hammadde kaynağıdır. *Gossypium* cinsi içerisinde 50'den fazla tür bulunmakta olup bunlardan sadece dördünün yetiştiriciliği yapılmaktadır. *Gossypium hirsutum* L. türü pamuklar Dünya genelinde ekonomik anlamda yetiştiriciliği yapılan pamukların %95'ini (Chen ve ark., 2013), Ülkemiz pamuklarının ise tamamını oluşturmaktadır (Akdemir ve ark., 2001). *G. hirsutum* L. türü pamuklar, diğer kültürü yapılan pamuk türlerine kıyasla verim ve çırçır randımanı değerleri yönünden nispeten yüksek, lif kalitesi yönünden orta ve vejetasyon süresi yönünden ise orta-uzun grupta yer almaktadır.

Dünya pamuk ekim alanları incelendiğinde; ekim alanlarının çok büyük bölümünün sırasıyla Asya (%63), Amerika (%20) ve Afrika (%14) kıtalarında yer aldığı görülmektedir (Özudoğru, 2021). Küresel pamuk üretiminin %84'ü aralarında Hindistan, Çin, Pakistan, Amerika, Brezilya, Özbekistan ve Türkiye'nin bulunduğu 7 büyük pamuk üreticisi ülke tarafından yapılmaktadır (ICAC, 2019; ICAC, 2021). Tekstil sektörünün en önemli doğal hammaddesi olan pamuk; sektörün ülke ekonomisine sağladığı katma değer, yarattığı istihdam olanakları ve tekstil ürünlerinin ihracatından elde edilen gelir yönüyle ülkemiz için vazgeçilemez tarım ürünleri arasında yer almaktadır (Cevheri ve Şahin, 2020). Önemli bir pamuk geçmişi ve kültürü olan ülkemizde 23 ilde pamuk tarımı yapılmakta olup, 2019-2020 yılı pamuk üretim sezonu verilerine göre, ekim yapılan pamuk alanlarının %86'sı sırasıyla; Şanlıurfa, Aydın, Diyarbakır, Adana, Hatay ve İzmir illerinde yer almaktadır (TÜİK, 2021). 2020-2021 pamuk üretim sezonu verilerine göre, Ülkemiz, geniş alanda pamuk tarımı yapan ülkeler arasında ekim alanı yönünden 12., lif verimi yönünden 3., üretim yönünden 6., tüketim ve ithalat yönünden ise 5. sırada yer almıştır. Anılan sezonda ülkemizde ekim alanı 359,2 bin ha, üretim 656,25 bin ton, tüketim yaklaşık 1,577 milyon ton ve lif verimi 1827 kg ha<sup>-1</sup> olarak gerçekleşmiştir. Aynı sezonda Dünyada ortalama lif verimi ise 759,9 kg ha<sup>-1</sup> olmuştur (Özudoğru, 2021). Bu veriler Ülkemiz pamuk lif veriminin Dünya ortalamasının yaklaşık 2.4 katı olduğunu gözler önüne sermektedir. Bu verim potansiyeline ulaşmamızda üretim bölgelerimizin ekolojik koşullarına iyi adapte olabilen pamuk çeşitlerin belirlenmesi ve üretimde bu çeşitlerin tercih edilmesinin önemi büyüktür.

Yetiştirme tekniğine bağlı olarak değişen kültürel uygulamalar, iklim koşulları ve kullanılan çeşidin genetik yapısı gibi faktörler pamuğun verim ve lif kalite özelliklerini etkilemektedir (Esbroeck ve Bowman, 1988). Silvertooth (2015) pamuk çeşitlerinin verim ve lif kalite özelliklerindeki farklılıklarda özellikle ekstrem hava sıcaklıkları, nem ve güneş ışığı gibi çevre koşullarının etkili olduğunu bildirmektedir. Pamuk lif kalite özelliklerinin ise üretilen ipliğin kalitesi üzerine yaklaşık %80 oranında etki ettiği bildirilmektedir (Nisarahmed ve ark., 2011). Yüksek kaliteye sahip tekstil ürünleri üretilmesi kullanılan hammaddenin kalitesi ile doğrudan ilişkilidir (Çoban, 2013). Pamuk lif kalitesini artırmaya yönelik olarak yapılan ıslah çalışmaları giderek önem kazanmış olup bu bağlamda

lif teknolojik özellikleri yönünden üstün çeşitlerin geliştirilmesi ve üretim desenine alınarak tarımının yaygınlaştırılması araştırmacıların öncelikli hedefleri arasına girmiştir (Akışcan, 2012). Gençler ve ark. (2005), pamuk üretiminde başlıca hedef olan yüksek verimin yanında sektörün talepleri doğrultusunda lif kalite özelliklerinin de ön plana çıktığını bildirmektedir.

Bu çalışma, bazı pamuk çeşitlerinin Amik Ovası ekolojik koşullarında kütlü verimi, çırçır randımanı ve bazı lif kalite özelliklerini incelemek ve ileride yapılacak çalışmalar için çeşitler hakkında ön bilgiler elde etmek amacıyla yürütülmüştür.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada *G. hirsutum* türüne ait 8 pamuk çeşidi (BA 151, BA 308, BA 320, Celia, Deltaopal, Flora, SG 125 ve Teks) materyal olarak kullanılmıştır. Çalışmaya ilişkin deneme Hatay ili Antakya ilçesi sınırları içerisinde yer alan Büyükdalyan mevkiinde 2018 yılı pamuk üretim sezonunda yürütülmüştür. Deneme yerinin toprakları Amik ovası sınırları içerisinde yer almakta olup SCL (Kumlu-Killi-Tım) bünyede ve düze yakın bir topografyaya sahiptir. Tüm toprak katmanları orta derecede tuzlu olmakla birlikte organik madde içeriği düşüktür. Akdeniz iklim kuşağında yer alan Hatay ilinde kış mevsimi ılık ve yağışlı, yaz mevsimi ise kurak ve sıcak geçmektedir.

Denemeye alınan pamuk çeşitleri deneme mibzeri aracılığı ile Tesadüf Blokları Deneme desenine göre 10m uzunluğundaki parsellere 4 sıralı olarak, sıra arası mesafe 70 cm olacak şekilde 3 tekerrürlü olarak deneme mibzeri aracılığıyla ekilmiştir. Ardından bitkiler yaklaşık 15 cm boya ulaştıklarında sıra arası mesafe 18 cm olacak şekilde seyreltilmiştir. Deneme ekimden hasat dönemine kadar bitki izleme tekniklerine göre kontrol edilmiş ve damla sulama sistemi ile sulanmıştır. Parsellerde herhangi bir zararlı yada yabancı ot tespit edildiğinde gerekli ilaçlamalar ve kültürel mücadele yapılmıştır. Deneme, 20 kg da<sup>-1</sup> azot (N), 10 kg da<sup>-1</sup> fosfor (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ve 10 kg da<sup>-1</sup> potasyum (K<sub>2</sub>O) olacak şekilde gübrenmiştir. Gübreleme azotun yarısı ile fosfor ve potasyumun tamamı kompoze gübre (15-15-15) formunda ekimle birlikte tabana, azotun kalan yarısıysa damla sulama sistemiyle 3 parça olarak verilmiştir. Bitkiler hasat olgunluğuna geldiğinde parsellerin baş ve sonundan 1'er metrelik kısımdaki bitkiler kenar tesiri olarak ayrılmış ve daha sonra orta iki sıradan kütlü örnekleri alınmış ve hasat tek seferde, bu sıralardan el ile yapılmıştır. Alınan kütlü örnekleri Rollergin çırçır makinesiyle çırçırılarak lif ve tohumlar birbirinden ayrılmıştır. Elde edilen lif örnekleri, % 65 (±2) nispi nem ve 21 (±1) °C sıcaklık koşullarında 48 saat kondisyonlanmış ve HVI 1000 (High Volume Instrument) lif analiz cihazı aracılığıyla analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, incelenen lif uzunluğu, lif inceliği, lif kopma dayanıklılığı, lif parlaklığı ve sarılığı özelliklerine ilişkin değerler saptanmıştır.

Çalışmada incelenen özelliklere ait veriler Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre SAS istatistik paket programı (SAS Institute, 1998) vasıtasıyla varyans analiz (ANOVA) testine tabi tutulmuş ve çeşitler arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde farklılık belirlenen özellikler DUNCAN çoklu karşılaştırma testi uyarınca %5 önem seviyesinde gruplandırılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Kütlü verimi yönünden çalışmada kullanılan çeşitlerin birbirlerinden istatistiksel olarak önemli (%1) düzeyde farklılık gösterdiği ve anılan özellik yönünden çeşitlerin 3 farklı gruba ayrıldığı Tablo 1’de görülmektedir. Kütlü verimi yönünden en yüksek değeri veren çeşidin BA 151 (586,7 kg da<sup>-1</sup>) olduğu bunu sırasıyla; aynı grupta (a) yer alan SG 125 (583,3 kg da<sup>-1</sup>), BA 320 (558,7 kg da<sup>-1</sup>) ve Teks (554,3 kg da<sup>-1</sup>) çeşitlerinin izlediği görülmektedir (Tablo 1). Anılan özellik yönünden en düşük değeri veren çeşitlerin yer aldığı "c" grubunda ise Deltaopal (428,8 kg da<sup>-1</sup>), BA 308 (485,5 kg da<sup>-1</sup>), Celia (487,1 kg da<sup>-1</sup>) ve Flora (493,1 kg da<sup>-1</sup>) çeşitlerinin bulunduğu görülmüştür (Tablo 1). Akışcan ve Gençler (2012) pamukta verim ve lif kalite özelliklerini inceledikleri çalışmasında; kütlü verimi yönünden çeşitler arasında %1 düzeyinde önemli farklılıklar olduğunu ve kütlü verimi değerlerinin çeşitler arasında 303,7 kg da<sup>-1</sup> ile 629 kg da<sup>-1</sup> arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde Karademir ve ark. (2015) ve Kara (2021) yaptıkları çalışma sonucunda ileri pamuk hat ve çeşitlerine ilişkin kütlü verimi değerleri arasında önemli farklılıklar olduğunu bildirmişlerdir.

**Tablo 1.** Kütlü verimi, çırçır randımanı, lif uzunluğu ve lif inceliği değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları, ortalama değerler ve oluşan gruplar

Çeşitler	Kütlü Verimi (kg da <sup>-1</sup> ) <sup>#</sup>	Çırçır Randımanı (%)	Lif Uzunluğu (mm)	Lif İnceliği (mikroner)
BA 151	586,7 <sup>a</sup>	41,37 <sup>ab</sup>	29,03 <sup>bc</sup>	5,03
BA 308	485,5 <sup>bc</sup>	41,37 <sup>ab</sup>	28,53 <sup>cd</sup>	4,90
BA 320	558,7 <sup>ab</sup>	41,67 <sup>ab</sup>	30,00 <sup>a</sup>	4,87
Celia	487,1 <sup>bc</sup>	38,80 <sup>c</sup>	28,37 <sup>cd</sup>	4,97
Deltaopal	428,8 <sup>c</sup>	40,06 <sup>bc</sup>	28,93 <sup>bc</sup>	4,97
Flora	493,1 <sup>bc</sup>	40,23 <sup>bc</sup>	29,53 <sup>ab</sup>	4,77
SG 125	583,3 <sup>a</sup>	42,13 <sup>a</sup>	28,23 <sup>d</sup>	5,13
Teks	554,3 <sup>ab</sup>	41,50 <sup>ab</sup>	29,90 <sup>a</sup>	4,67
Çeşitler	**	*	**	öd
CV (%)	7,63	2,26	1,26	4,40

\*, \*\* Sırasıyla istatistiksel olarak P<0.05 ve P>0.01 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değildir.

<sup>#</sup>Farklı harflerle gösterilen değerler DUNCAN testi uyarınca % 5 önem seviyesinde farklıdır.

CV: Varyasyon katsayısı

Çırçır randımanı yönünden incelenen çeşitler arasında istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli farklılık olduğu ve çeşitlerin bu özellik yönünden 3 farklı grupta toplandığı Tablo 1’den izlenebilmektedir. En yüksek çırçır randımanı değerini veren çeşidin SG 125 (% 42,13) olduğu bunu sırasıyla; aynı grupta "a" yer alan BA 320 (%41,67), Teks (%41,50), BA 151 (%41,37) ve BA 308 (%41,37) çeşitlerinin izlediği görülmektedir. Bununla birlikte, en düşük değeri veren çeşidin ise "c" grubunda yer alan Celia (%38,80) olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1). Köken ve İlker (2020) yaptıkları çalışmada çırçır randımanı yönünden çeşitler arasında %1 düzeyinde önemli farklılıklar olduğunu ve çırçır randımanı değerlerinin %38,4 ile %45 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde Karademir ve ark. (2015) ve Kara (2021) yaptıkları çalışma sonucunda çırçır randımanı yönünden materyal olarak kullandıkları çeşitler arasında önemli farklılıklar olduğunu bildirmişlerdir.

Çalışmada materyal olarak kullanılan çeşitler lif uzunluğu yönünden incelendiğinde; istatistiksel olarak çeşitler arasındaki farklılıkların %1 düzeyinde önemli olduğu ve çeşitlerin 4 farklı grupta

toplandığı görülmüştür (Tablo 1). Buradan en yüksek lif uzunluğu değerine sahip olan çeşidin BA 320 (30,00 mm) olduğu bunu; aynı grupta (a) yer alan Teks (29,90 mm) ve Flora (29,53 mm) çeşitlerinin takip ettiği saptanmıştır. Anılan özellik bakımından en düşük lif uzunluğu değerini veren çeşitlerin bulunduğu "d" grubunda ise sırasıyla SG 125 (28,23 mm), Celia (28,37 mm) ve BA 308 (28,53 mm) çeşitlerinin yer aldığı görülmektedir (Tablo 1). Akışcan ve Gençer (2012), Karademir ve ark. (2015), Köken ve İlker (2020) ve Kara (2021) yaptıkları çalışmalar sonucunda; benzer şekilde, lif uzunluğu bakımından çeşitler arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte Reddy ve ark., (1999) lif uzunluğunun ekstrem hava şartları ve kültürel uygulamalardan etkilenen bir özellik olduğunu bildirmiştir.

Lif inceliğine ilişkin olarak elde ettiğimiz bulgular, çeşitler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık bulunmamasına karşın çeşitlere ait lif inceliği değerlerinin 4,67 mikroner (Teks) ile 5,13 mikroner (SG 125) arasında değiştiğini göstermektedir (Tablo 1). Bulgularımız; lif inceliği yönünden çeşitler arasında önemli farklılıklar olduğunu bildiren Kara (2021) ile Köken ve İlker (2020)'in bulguları ile farklılık göstermektedir. Bu durumun; çalışmaların farklı çevrelerde yürütülmüş olmasının yanında, çalışmalarda materyal olarak kullanılan çeşitlerin farklı olmasına bağlı olarak genetik yapılarındaki farklılıklardan ileri geldiği düşünülmektedir (Akışcan, 2011).

**Tablo 2.** Lif kopma dayanıklılığı, lif parlaklığı ve lif sarılığı değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları, ortalama değerler ve oluşan gruplar

Çeşitler	Lif Kopma Dayanıklılığı (g tex <sup>-1</sup> ) <sup>#</sup>	Lif Parlaklığı (Rd)	Lif Sarılığı (+b)
BA 151	31,07 <sup>c</sup>	73,37 <sup>bcd</sup>	8,23 <sup>bc</sup>
BA 308	30,73 <sup>c</sup>	74,93 <sup>abcd</sup>	8,83 <sup>ab</sup>
BA 320	31,37 <sup>c</sup>	76,63 <sup>ab</sup>	7,90 <sup>c</sup>
Celia	36,43 <sup>a</sup>	75,30 <sup>abcd</sup>	8,17 <sup>bc</sup>
Deltaopal	31,43 <sup>c</sup>	71,50 <sup>d</sup>	8,83 <sup>ab</sup>
Flora	33,53 <sup>b</sup>	75,77 <sup>abc</sup>	8,07 <sup>bc</sup>
SG 125	32,30 <sup>bc</sup>	72,50 <sup>cd</sup>	9,20 <sup>a</sup>
Teks	37,50 <sup>a</sup>	78,67 <sup>a</sup>	7,83 <sup>c</sup>
Çeşitler	**	*	*
CV (%)	2,70	2,77	5,39

\*, \*\* Sırasıyla istatistiksel olarak P<0.05 ve P>0.01 düzeyinde önemlidir.

<sup>#</sup>Farklı harflerle gösterilen değerler DUNCAN testi uyarınca % 5 önem seviyesinde farklıdır.

CV: Varyasyon katsayısı

Lif kopma dayanıklılığı yönünden çalışmada kullanılan çeşitler arasındaki farklılığın istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli olduğu ve çeşitlerin 3 farklı grupta toplandığı saptanmıştır (Tablo 2). En yüksek lif kopma dayanıklılığı değerine sahip çeşidin "a" grubunda yer alan Teks (37,50 g tex<sup>-1</sup>) olduğu ve aynı grupta yer alan Celia (36,43 g tex<sup>-1</sup>) çeşidinin onu takip ettiği görülmektedir. Anılan özellik yönünden en düşük değeri veren çeşitlerin bulunduğu "c" grubunda ise sırasıyla BA 308 (30,73 g tex<sup>-1</sup>), BA 151 (31,07 g tex<sup>-1</sup>), BA 320 (31,37 g tex<sup>-1</sup>), Deltaopal (31,43 g tex<sup>-1</sup>) ve SG 125 (32,30 g tex<sup>-1</sup>) olmak üzere 5 çeşit yer almaktadır (Tablo 2). Bulgularımız yaptıkları çalışmalarda lif kopma dayanıklılığı açısından çeşitler arasındaki farklılıkların önemli olduğunu bildiren Karademir ve ark.

(2015), Çiçek ve Kaynak (2015), Çoban ve Çiçek (2017) ve Köken ve İlker (2020)'in bulgularını destekler niteliktedir.

Çalışmada ele alınan çeşitler arasında lif parlaklığı yönünden istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli farklılık olduğu ve 4 farklı grup olduğu gözlenmektedir (Tablo 2). Aynı Tablo'dan çeşitlerin lif parlaklığı değerlerinin 72,50 ile 78,67 arasında değiştiği görülmektedir. Lif parlaklığı özelliğine ilişkin en yüksek değeri veren çeşitlerin bulunduğu "a" grubunda sırasıyla Teks (78,66 Rd), BA 320 (76,73 Rd), Flora (75,77 Rd), Celia (75,30 Rd) ve BA 308 (74,93 Rd) çeşitleri yer almaktadır. Buna karşın en düşük lif parlaklığı değerine sahip çeşitlerin yer aldığı "d" grubunda ise sırasıyla Deltaopal (71,50 Rd), SG 125 (72,50 Rd), BA 151 (73,37 Rd), BA 308 (74,93 Rd) ve Celia (75,30 Rd) çeşitleri bulunmaktadır (Tablo 2). Daha önce yapılan çalışmalar, benzer şekilde lif parlaklığının çeşitler arasında önemli düzeyde farklılık gösterdiğini bildirmektedir (Güvercin, 2016; Beyyavaş ve ark., 2022).

Lif sarılığı yönünden çeşitler arasında istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli farklılık olduğu ve birbirlerinden farklı 3 grup olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). En düşük lif sarılığı değerlerine sahip çeşitlerin yer aldığı "c" gurubunda sırasıyla Teks (7,83 +b), BA 320 (7,90 +b), Flora (8,07 +b), Celia (8,17 +b) ve BA 151 (8,23 +b) olmak üzere 5 çeşidin bulunduğu görülmektedir. Buna karşın en yüksek lif sarılığı değerlerini veren çeşitlerin bulunduğu a grubunda ise sırasıyla SG 125 (9,20 +b), Deltaopal ve BA 308 (8,83 +b) çeşitlerinin yer almaktadır (Tablo 2). Güvercin (2016) ve Başbağ ve ark. (2021) yaptıkları çalışmalarda, benzer şekilde, materyal olarak kullandıkları çeşitler arasında lif sarılığı yönünden önemli düzeyde farklılık olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada saptadığımız bulgular bahsi geçen araştırmacıların bulgularını desteklemektedir.

#### **4. Sonuç**

*Gossypium hirsutum* türüne ait 8 pamuk çeşidinde verim ve lif kalite özelliklerinin incelendiği bu çalışmada; çeşitler arasında incelenen özellikler yönünden önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Çalışmada materyal olarak kullanılan çeşitlerden BA 151, SG 125, BA 320 ve Teks çeşitlerinin kütlü verimi yönünden en yüksek değeri veren çeşitlerin yer aldığı grupta yer alarak öne çıktığı saptanmıştır. Ayrıca, bu çeşitlerden 4'ünün (SG 125, BA 320, Teks ve BA 151) aynı zamanda en yüksek çırçır randımanı veren grupta yer aldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte lif kalite özelliklerine bakıldığında, Teks, BA 320 ve BA 151 çeşitlerinin en düşük lif sarılığı, BA 320 ve Teks çeşitlerinin en yüksek lif uzunluğu ve lif parlaklığı değerlerine sahip çeşitlerin bulunduğu grupta olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Teks çeşidinin aynı zamanda en yüksek lif kopma dayanıklılığı değerini ve istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte en düşük lif inceliği değerine sahip olduğu saptanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda Amik Ovası koşullarında materyal olarak kullanılan tüm çeşitlerin çırçır randımanı ve lif kopma dayanıklılığı yönünden yüksek değerler verdiği, incelenen diğer özelliklerde ise çeşitlerin büyük bölümünün kayda değer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çeşit bazında yapılan değerlendirmede Teks çeşidinin incelenen tüm özellikler [kütlü

verimi (554,3 kg da<sup>-1</sup>), çırçır randımanı (% 41,5), lif uzunluğu (29,9 mm), lif inceliği (4,67 mikroner), lif kopma dayanıklılığı (37.5 g tex<sup>-1</sup>), lif parlaklığı (78,67 rd) ve lif sarılığı (7,83 +b)] yönünden en üstün grupta yer alarak öne çıktığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda anılan çeşidin Amik Ovası ekolojik koşulları için önerilebileceği kanaatine varılmıştır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranında katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

### **Kaynakça**

- Akdemir H., Gürel A., Karadayı HB. Ege bölgesi koşullarına uygun uzun-ince elyafli pamukların adaptasyonu üzerine araştırmalar. Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi 2001; 11(2): 56-75.
- Akışcan Y. Pamukta (*Gossypium hirsutum* L.) verticillium solgunluğu (*Verticillium dahliae* Kleb.) hastalığına dayanıklılık, erkencilik, verim ve kalite özelliklerinin kalıtımı. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri ABD, Doktora Tezi, Adana 2011.
- Akışcan Y. Türkiye’de 1980–2009 arasında tescil edilmiş bazı pamuk çeşitlerinde lif kalite özellikleri yönünden genetik ilerlemenin belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2012; 7(2): 32-40.
- Akışcan Y., Gençer O. Çukurova ekolojik koşullarında Pakistan orijinli bazı pamuk genotiplerinin verim ve lif kalite özelliklerinin değerlendirilmesi. MKU Ziraat Fakültesi Dergisi 2012; 17(2): 107-114.
- Başbağ S., Hacıosmanoğlu H., Ekinci R. Türkiye’de bazı üretim alanlarından toplanan kütlü pamukların lif kalite özelliklerinin incelenmesi. Ziraat Mühendisliği 2021; 373: 29-34.
- Beyyavaş V., Cun S., Kara H. Şanlıurfa-Harran Ovası koşullarında yetiştirilen bazı pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) çeşitlerinin verim ve lif kalite özelliklerinin belirlenmesi. ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi, 2022; 6(4): 816-827.
- Cevheri Cİ., Şahin M. Dünya’da ve Türkiye’de pamuk üretiminin tekstil sektörü açısından önemi. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 2020; 5(2): 71-81.
- Chen Y., Liu ZH., Feng L., Zheng Y., Li DD., Li XB. Genome-wide functional analysis of cotton (*Gossypium hirsutum*) in response to drought. Plos One 2013; 8(11): e80879.
- Çiçek S., Kaynak MA. Farklı pamuk türlerine ait çeşitlerin diallel melezlerinde önemli agronomik ve teknolojik özelliklerin kalıtımının saptanması. ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi 2008; 5(1): 45-52.

- Çoban M. Bazı pamuk melezlerinde (*Gossypium hirsutum L. x Gossypium barbadense L.*) verim, verim unsurları ve lif kalite özelliklerinin kalıtımının incelenmesi. Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Aydın 2013.
- Çoban M., Çiçek S. Nazilli koşullarına adapte olabilecek ileri pamuk hatlarının verim ve lif kalite özelliklerinin belirlenmesi. KSÜ Doğa Bil. Dergisi 2017; 20 (Özel Sayı): 222-226.
- Esbroeck GV., Bowman DT. Cotton germplasm diversity and its importance to cultivar development. The Journal of Cotton Science 1998; 2(3): 121-129.
- Gençer O., Özüdoğru T., Kaynak MA., Yılmaz A., Ören N. Türkiye’de pamuk üretimi ve sorunları. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Ankara 2005.
- Güvercin RŞ. Pamukta (*Gossypium hirsutum L.*) Lif parlaklığı ile sarılığının kalıtımı ve ekim zamanının heterotik etkiler (heterosis ve heterobeltiosis) üzerine etkisi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 2016; 3(4): 265–271.
- ICAC. International Cotton Advisory Committee. Cotton Data Book 2020, December 2019, Washington DC – USA 2020.
- ICAC. International Cotton advisory committee, Cotton This Month, 1 April 2021, Washington DC – USA 2021.
- Kara MB. Yeni geliştirilen bazı ileri pamuk hatlarının tarımsal ve teknolojik özelliklerinin incelenmesi. Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Hatay 2021.
- Karademir E., Karademir Ç., Ekinci R., Sevilmiş U. İleri generasyondaki pamuk (*Gossypium hirsutum L.*) hatlarında verim ve lif kalite özelliklerinin belirlenmesi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi 2015; 2(2): 100-107.
- Köken İ., İlker E. Ege bölgesine uygun pamuk (*Gossypium hirsutum L.*) çeşitlerinde verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2020; 17(1): 15-20.
- Özüdoğru T. Durum ve tahmin pamuk 2021. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE). Çankaya, Ankara 2021.
- Reddy KR., Davidonis GH., Johnson AS., Vinyard BT. Temperature regime and carbon dioxide enrichment alter cotton boll development and fiber properties. Agronomy Journal 1999; 91(5): 851-858.
- Nisar Ahmed ST., Agrawal SA. Formulation of cotton mix: Development from indecisive to decision support systems. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) 2011; 1(3): 660-665.
- SAS Institute Inc. SAS/STAT User's Guide, Version 6. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA 1998.
- Silvertooth JC. Crop management for optimum fiber quality and yield. Cooperative Extension, The University of Arizona, College of Agriculture Life Sciences 2001;

<https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1219-2015.pdf> (Erişim Tarihi, 1.10.2022).

TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Ürün İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/>. (Erişim Tarihi: 10.02.2021).



## Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı ve Soğutma Sistemi Analizi

Selin TUNA<sup>1</sup>, Elif ÖĞÜT<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Kalkancı Pres ve Döküm A.Ş. Tuzla, İstanbul

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Hereke Asım Kocabıyık MYO, Makine ve Metal Tek. Bölümü, Kocaeli

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-0230-2056>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-5647-4040>

\*Sorumlu yazar: elif.ogut@kocaeli.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 24.08.2022

Kabul tarihi: 09.09.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Plastik enjeksiyon kalıp tasarımı

Ürün tasarımı ve analizi

Soğutma sistemi analizi

Basınç düşüşü

Yüzey sıcaklık değişimi

### ÖZ

Plastik malzeme, otomotivden beyaz eşyaya, kırtasiye malzemelerinden oyuncaklara, mutfak eşyalarından ofis malzemelerine kadar her sektörde yerini almıştır. Plastik enjeksiyon yöntemi, plastik parça üretiminde en çok kullanılan imalat yöntemidir. Üretimi talep edilen plastik malzemeler için, plastik enjeksiyon kalıpları tasarlanmaktadır. Bu kalıplar tasarlanırken, ilk aşamada ürün tasarımı göz önüne alınır. Üretime uygun, kısa sürede ve kaliteli bir imalat yapmak için en önemli faktör tasarlanan ürünün, üretilebilir olmasıdır. Bu çalışmada plastik bir kırtasiye-oyuncak sektörü diyebileceğimiz bir sulu boya paletinin ürün tasarımı ve kalıp tasarımı aşama aşama incelenecektir. Ürün, kalıplamaya uygun hale getirilip, kalıp tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımı biten ürün, daha üretimi yapılmadan yolluk ve soğutma sistemlerinde karşımıza çıkabilecek olası hataları gözlemlenmiştir. Yapılan analize göre yolluk giriş yerinin en iyi ürün merkezinden olacağı ama maliyeti arttırdığı tespit edilip soğuk yolluk sistemi kullanılarak bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Hava birikecek yerler tespit edilmiştir, bu bölgelere hava çıkışını sağlayacak cepler kullanılması önerilmiştir. Soğutma kalitesiyle ilgili yapılan analiz ile ürünün et kalınlığının homojen olduğu ve erken donma ihtimalinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden et kalınlığına müdahale edilmesine gerek görülmemiştir.

## Plastic Injection Mold Design and Its Cooling System Analysis

### Research Article

#### Article History:

Received: 24.08.2022

Accepted: 09.09.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Plastic injection mold design

Product design and analysis

Cooling system analysis

Pressure drop

Surface temperature change

### ABSTRACT

Plastic material has taken its place in every sector from automotive to white goods, from stationery to toys, from kitchenware to office supplies. Plastic injection method is the most used manufacturing method in the production of plastic parts. Plastic injection molds are designed for the requested plastic materials. While designing these molds, the product design is taken into consideration at the first stage. The most important factor for making a quality production suitable for production in a short time is that the designed product must be producible. In this study, the product design and mold design of a watercolor palette, which we can call a plastic stationery-toy industry, will be examined step by step. The product was made suitable for molding and mold design was carried out. The possible faults that we may encounter in the runner and cooling systems of the product of which design has been completed, have been observed before it is produced. According to the analysis, it has been determined that the best place of runner entrance would be in the center of product, but in this case, it increases the cost, and a design has been carried out using the cold runner system. Places where air

will accumulate have been identified, and it has been suggested to use pockets to provide air outlet to these areas. With the analysis of the cooling quality, it has been determined that when the wall thickness of the product is homogeneous and the possibility of early freezing was low. Therefore, there is no need to interfere with the wall thickness.

---

**To Cite:** Tuna S., Öğüt E. Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı ve Soğutma Sistemi Analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 224-246.

## 1. Giriş

Plastikler yaşamımıza yeni giren malzemelerdir. Artık buna rağmen yaşamımızın birçok alanında geniş yelpazede yer kaplamaktadırlar. Gün geçtikçe endüstriyel uygulamalarda kullanım alanı oldukça artmıştır. Günümüzde havacılık, elektrik-elektronik, kalıpcılık gibi sektörlerde kendine yer edinmiştir. Günlük yaşamda oldukça geniş yer edindiğinden, birçok malzeme plastik olarak üretilmektedir. Plastikler atomların zincir halkaları gibi birbirine bağlanıp, büyük moleküllü sentetik polimer malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Ekici ve ark., 2016). Plastikler hayatımıza girdikçe yeni üretim teknikleri ve yöntemleri gelişmiştir. Bunların en yaygını plastik enjeksiyon ile üretilmektedir. Bu üretim yöntemlerinin bizi götürmeye çalıştığı nokta, kısa zamanda ve kaliteli malzeme üretimini sağlamaktır. Plastikler birçok özelliği üzerinde barındırmaktadır. Bu özellikleri sayesinde tasarımcılar ve üreticilere merak konusu olmuştur, bu dönem plastik dönemi olarak adlandırılmıştır. Plastik teknolojisi gelişmiştir ve plastikleri araştırmaya yönelim artmıştır.

İlk gelişim döneminde kalıp tasarımları daha ilkel yöntemlerle ve teknik datalar baz alınarak yapılmaktaydı. Gelişen teknolojisi sayesinde computer aided design (CAD) ve computer aided manufacturing (CAM) yazılımları ortaya çıkmıştır. Bu yazılımlarla birlikte tasarım yapmak daha pratik hale gelmiştir. Artık ürün tasarımı, kalıp tasarımı, üretilmesi istenen ürünün programının yapılması, işlenmesi ve sonrasında plastik enjeksiyon yöntemiyle materyalin elde edilmesi önem kazanmıştır. Enjeksiyon parametreleri plastik enjeksiyon esnasında kullanılacak hammadde, parçadan istenen özellikler, parça boyutuna göre önem kazanmaktadır. Bir ürünü üretmek için gerekli tüm prosesler değerlidir. İyi tasarlanmış bir kalıp iyi bir programla ve özenle işlenmelidir. Aynı şekilde kalıp tasarımı ideal olan bir ürüne ait kalıp, doğru parametrelerle ve doğru seçilmiş bir hammadde ile üretilmelidir.

Eğer bir ürün üretecekseniz bunun ilk aşaması tasarımdır. Üretime uygun tasarlanmış bir ürün ve işleme mantığına uygun bir kalıp tasarımı mutlak önemli noktalardandır. Şimdilerde tasarımı daha önce yapılmış parçaların tersine mühendislik yöntemiyle ar-ge çalışmaları yapılabilmektedir.

## 2. Literatür Özeti

Plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve analizine geçmeden önce plastikler, plastiklerin çeşitleri, kullanım alanları ve plastiklerin genel özelliklerini bilmek gerekmektedir. Atomlar zincir halkaları gibi birbirine bağlandığı, büyük moleküllü sentetik olan polimer materyallerdir (Ekici ve ark., 2016). Polimer adı verilen yapılar, mer adı verilen molekül zincirlerinin birleşmesiyle oluşmaktadır. Poli kelimesi ise çok anlamını ihtiva etmektedir. Burada merlerin oluşturduğu zincirlerin yapısı plastiklerin çeşidini belirler. Merler ise

polimerizasyon işlemiyle birleştirilirler. Zincirler arasında zayıf van der Waals bağları vardır ve bağlar ısıtma işlemine tabi tutulduğunda aradaki bağlar kopar, plastik esnekleşmeye ve bir süre sonra akmaya başlar (Koyun, 2005). Yani plastikler çalışma sıcaklığında katı halde bulunurlar, ısı ve basınca maruz bırakılarak şekillendirilebilirler (Şahin, 2018). Plastik malzemelere çeşitli şekillerde ve yapılarda rastlamak mümkündür. Plastik malzemeleri birbiriyle karıştırarak yeni özellikli malzemeler elde etmek mümkündür. Kompozit malzemeler bunlara örnek verilebilir. Metal, seramik gibi malzemeler uzun sürelerdir kullanılıyor olsa da, plastiklerle tanışma daha sonraları gerçekleşmiştir. 40000'e yakın sayıda plastik çeşidi mevcuttur. Isıl özellikleri bakımından plastikleri ikiye ayırmak mümkündür (Ekici ve ark., 2016). Bunlar Termoplastikler ve Termoset plastiklerdir.

Plastiklerin yapısı hakkındaki bu bilgiler plastikle ilgili üretim yapan ve plastik enjeksiyon kalıp tasarımı yapan birçok tasarımcıya yol göstericidir. 1946 yılında Amerikalı mucit J.W. Hendry günümüzdeki makinelerin temelini oluşturan ilk vidalı enjeksiyon makinesini üretmiştir (Tugaytimür, 2016). Topçu (2011) bilgisayar destekli plastik enjeksiyon kalıp tasarımı çalışmasını yapmıştır. Çalışmasında endüstriyel bir parçanın üretimini anlatmıştır. Parça modelleyip erkek ve dişi olarak ayırmıştır. Ek olarak çalışmada ısı transfer sistemine değinmiştir. Kafalı (2011) tarafından plastik enjeksiyon kalıp tasarımı çalışması yapılmıştır. Parçaya ait kalıbı modelleyip, üretim öncesi oluşabilecek problemleri görmek adına analizler yapılmıştır. Ceritbinmez (2014) çalışmasında plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ile imalatı yapılan ürünlerde çapaklanma oluşumuna etki eden etmenleri incelemiştir. Kucur (2005) plastik enjeksiyon kalıbı tasarım imalat ve analizi üzerine çalışma yapmıştır. Çamaşır makinelerinde kullanılan deterjan koyma haznesini kalıplayıp, Moldflow programında analizini yapmıştır. Şahin (2018) çalışmasında tersine mühendislik temassız data toplama metodunu kullanarak istediği modelin bilgisayar destekli tasarımını elde etmiştir ve sonra kalıba ait akış analizini eklemiştir.

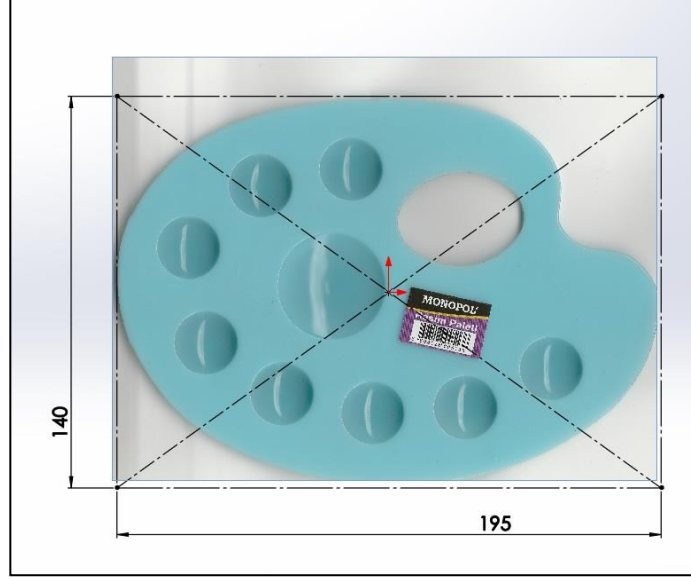
Bu çalışmasının amacı, sıfırdan bir ürün tasarlarlarken ortaya bir bakış açısı koyup, baştan sona bir kalıp tasarımını aşama aşama incelemektir. Bu çalışmada plastik bir kırtasiye-oyuncak sektörü diyebileceğimiz bir sulu boya paletinin ürün tasarımı ve kalıp tasarımı incelenmiştir. Bir kalıp tasarlanırken nasıl başlanır ve üretim sürecine kadar neler üzerinde durulması gerekir sorularına yanıt bulmak hedeflenmiştir. Tüm bunları yaparken, parçaya ait analizler, tasarım ve imalat sürecine geçilmeden önce yol gösterici olmuştur.

### **3. Materyal ve Metot**

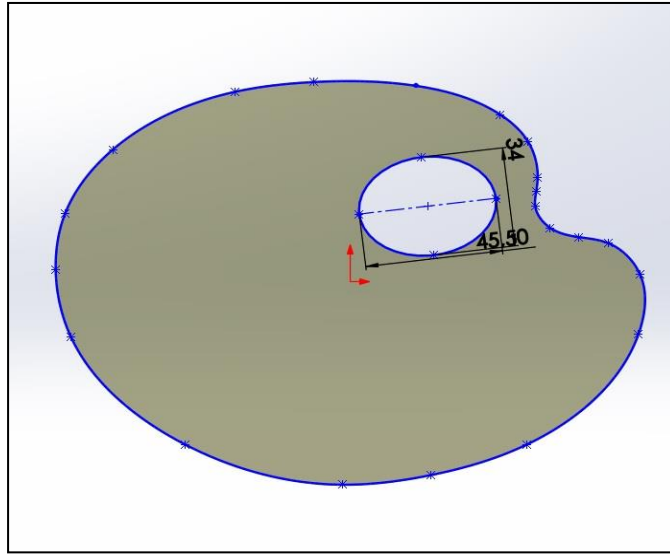
#### *3.1. Bir Ürün Tasarımı Ve Kalıp Tasarımı*

Bu bölümde incelenen ürün tasarımı, baştan sona tasarlanmıştır. İstenilen hedefler doğrultusunda seçilen palet ürün taslağı Şekil 1'de görüldüğü gibidir (Tuna, 2021). Ürünle ilgili gerekli kritik bilgiler edinilmiştir. Ürün fonksiyonu tanımlanmıştır. Ürün sulu boya yapmak için kullanılan bir palettir. Görsel bir parça değildir. Kalıp göz sayısı, yıllık baskı sayısına göre belirlenir. Ayrıca ürün tasarımı gerçekleştirilirken ürün büyüklüğü, maliyet, kalıpcının düşündüğü yolluk, soğutma sistemi gibi faktörler birlikte düşünülerek belirlenmiştir. Palet kalıbı 4 gözlü olarak tasarlanmıştır. Fakat kalıp tasarımından önce ürün tasarımından

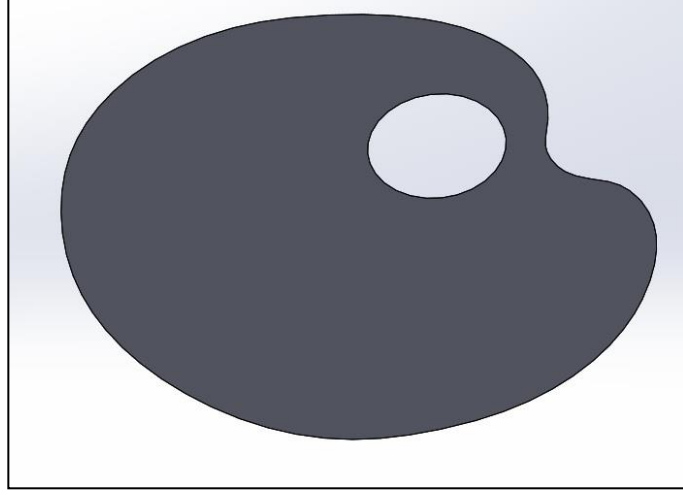
bahsedilecektir. Ürün için bir taslak resim formatında alınıp, Solidworks programı içine aktarılmıştır. Ana taslak oluşturulup, extrude komutuyla katılama yapılmıştır. Palette bulunması gereken sulu boya haznesi çizilmiştir ve katılama işlemi yapılmıştır. Radyüs işlemi uygulanmıştır. Hazne boşaltma işlemi yapılmıştır ve ürün oluşturulmuştur.



Şekil 1. Palet Ürün Taslağı

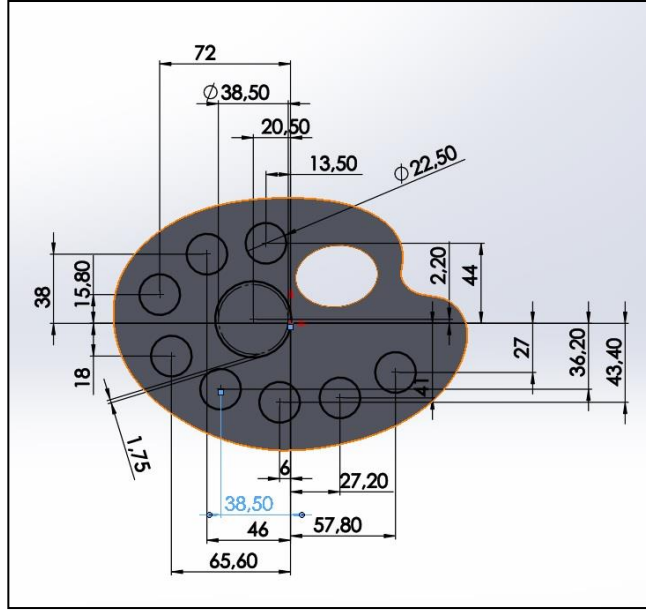


Şekil 2. Palet Çizim Taslağı

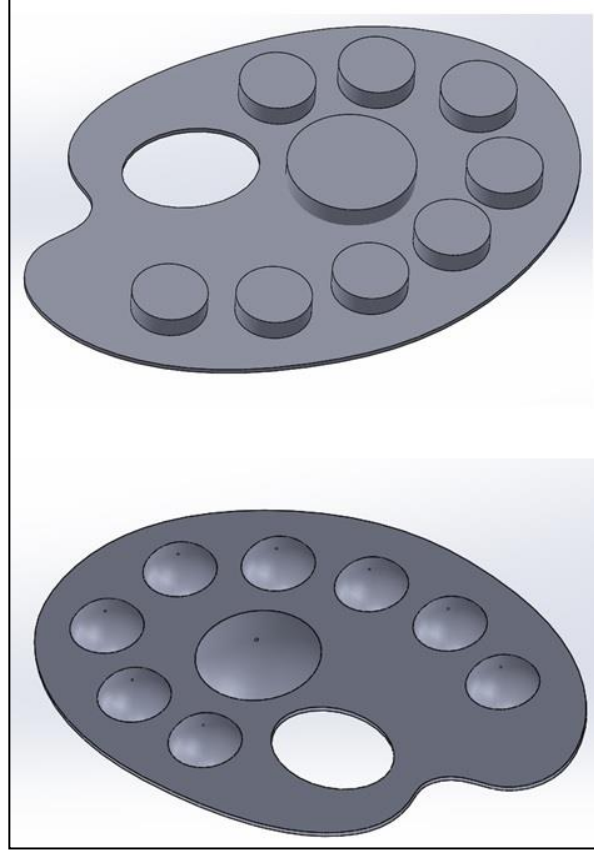


Şekil 3. Ürün Katılama

Palet çizim taslağı Şekil 2’de ve ürün katılama Şekil 3’te verilmiştir. Palet sulu boya haznesi Şekil 4’te görüldüğü gibi çizilmiştir.

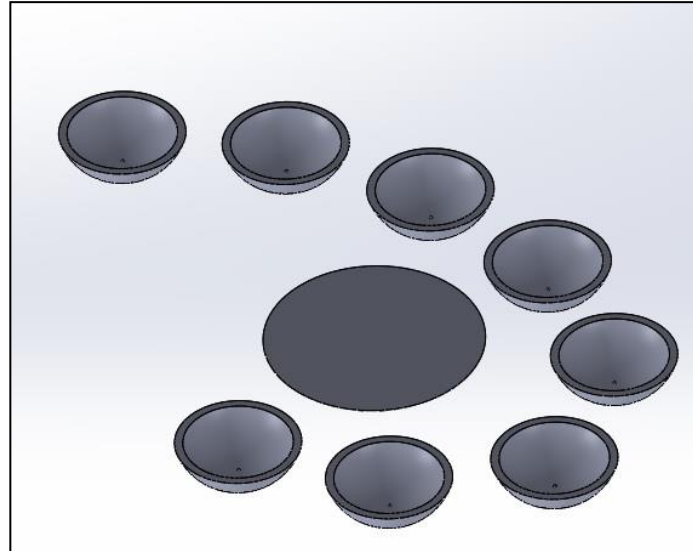


Şekil 4. Palet Sulu Boya Haznesi

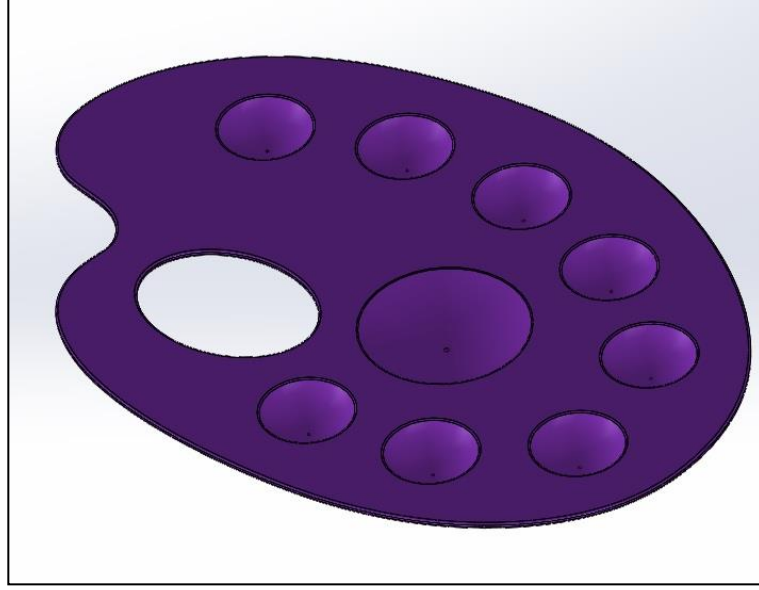


**Şekil 5.** Sulu Boya Haznesi Extrude ve Radyüs İşlemi

Sulu boya extrude ve radyüs işlemi Şekil 5’te gösterilmektedir. Hazne içi boşaltması Şekil 6’daki gibi olup, ürün tasarımının son hali Şekil 7’de gösterilmiştir.



**Şekil 6.** Hazne İç Boşaltması



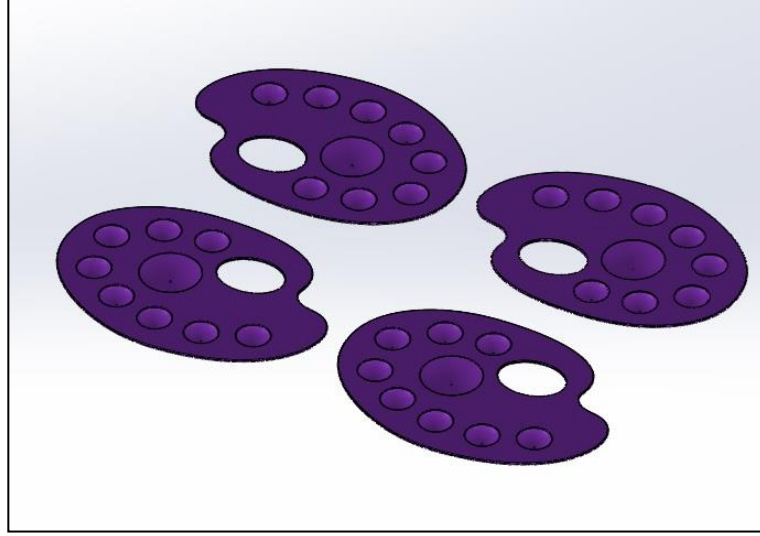
Şekil 7. Ürünün Son Hali

### 3.2. Kalıp Tasarımı

Kalıp tasarımı yapılırken birtakım faktörleri göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Üretilmesi istenen parçanın süresi, parçanın yıllık adedinin yüksek olması, enjeksiyon makinelerinin uygunluğu önemlidir. Bu sayılan faktörler ilk aşamada olmasa da sonra olumsuz olarak geri dönüşü olacaktır. Üretimi engellemeyecek tercihler yaptıktan sonra kalıp göz adedi belirlenir.

Ürün incelenip, kalıp tasarımına uygun olup olmadığına karar verildikten sonra, kalıp tasarım aşamalarına başlanır. Kalıp tasarımının ilk aşamasında, parça üretiminde kullanılacak olan malzemeye göre çekme payı verilir. Oyuncak ve kırtasiye sektöründe çok tercih edilen malzemelerden biri olan polipropilen tercih edilmiştir. Bu malzemenin 0,014-0,025 arasında değişen çekme payı 0,015 seçilmiştir. Parçada kalıpta çıkış açısı verilmesi gereken bölgelere açı verilir. Tasarım üretime uygun dizayn edilmiştir. Komplike bir ürün olmadığı için draft açısı gerekmemektedir. Bu haliyle parça kalıptan rahatça çıkabilecektir.

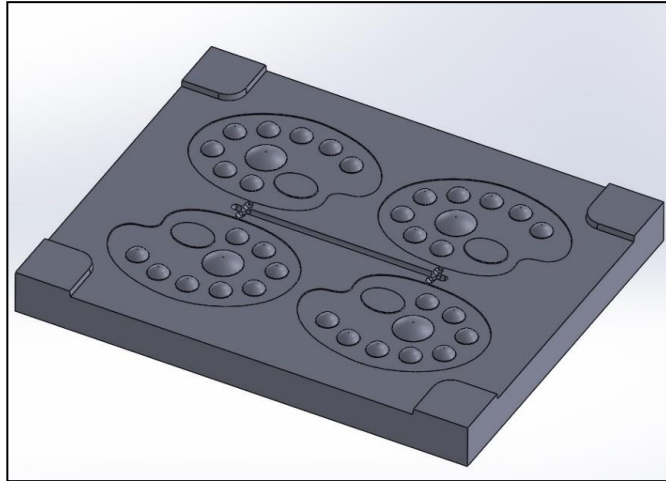
Kalıpta herhangi bir yan delik veya feder yoktur. Bu nedenle maçalı kalıp değildir. Numune yapısı incelenerek, en uygun ürün dağılımı ve yolluk sistemi seçilmelidir. Sonra itici tasarımı yapılmalıdır. İticiler parça itme esnasında, gelen kuvveti eşit bir şekilde dağıtmalıdır. İticilerin bırakacağı iz önemli ya da önemsiz olabilir. Olabildiğince iç tarafta konumlandırılması gerekir. İtici tasarımı yapılırken, yolluğun tutma etkisi de göz önüne alınmalıdır. Kalınlığı fazla olan ürünlerde, kasılma oluşturabilir. Bu da iticilerin parçaya zarar vermesi anlamına gelir. Bu şartlarda ya birtakım baskı esnasında yağlayıcı kullanmak ya da enjeksiyon süresini yükseltmek gerekir. Çalışmada incelenen kalıp burada 4 gözlü dizayn edilmiştir. Şekil 8'de kalıp göz sayısı gösterilmiştir. Merkezden bir meme ve eşit uzaklıklarda ürünler yerleştirilmiştir.



**Şekil 8.** Kalıp Göz Sayısı

Kalıp ayırım hattı boyunca erkek ve dişi taraf olarak ayrılmıştır. Kalıp standart bir kalıptır. Kalıp malzemesi olarak birçok alternatif mevcuttur. Genellikle plastik enjeksiyon kalıp malzemesi olarak 1. 2738 çeliği tercih edilir. Kalıp setleri olarak imalat çeliği seçilir. Piyasada impaks olarak bilinen 1.2738 çeliği çekirdekten yüzeye kadar homojen sertlikte olması ve nitrasyona uygun olması yönüyle tercih sebebidir. İmalat çelikleri de ucuz olmaları, karbon miktarına bağlı istenilen sertliğe erişilebilir olmasından ve parlatmaya uygun olmalarından dolayı seçilirler. Bu çalışmada parça görsel bir parça olmadığı için, araştırma çerçevesinde imalat çeliği tercih edilmiştir.

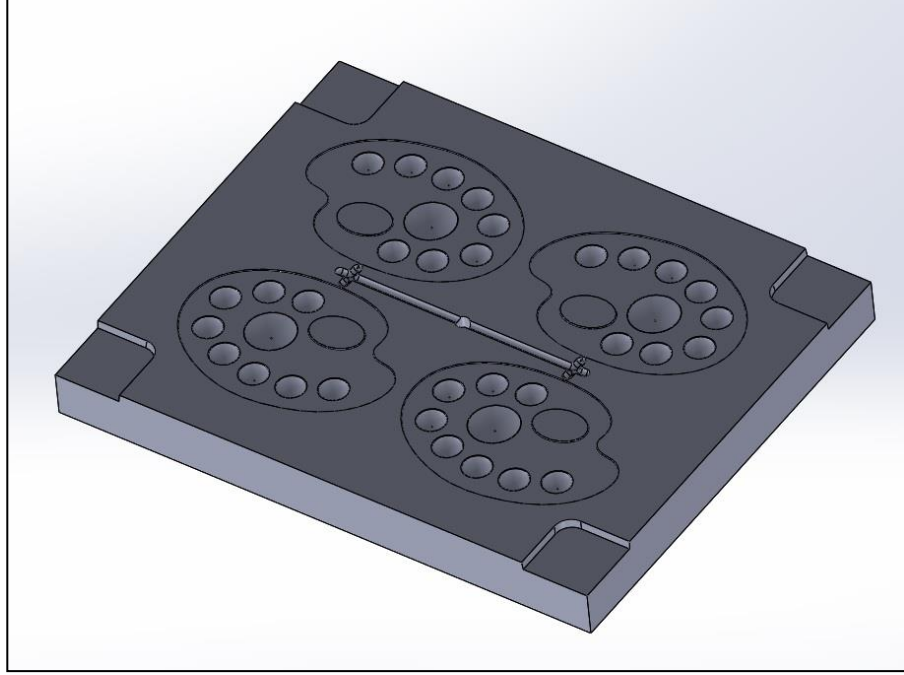
Kalıp memesi merkezde olup, soğuk yolluk kullanılmıştır. Yolluk beslemesinin önemini de göz önünde bulundurarak yolluk tasarlamak gerekir. Bu sistem ise tamamen yolluktan beklentimize bağlıdır. Parça görsel olmamasına rağmen, yolluk izini minimize etmek için tünel yolluk tercih edilmiştir. Dişi kalıp plakası ve erkek kalıp plakası aynı boyutlardadır. Erkek kalıp plakası 400x500x58, dişi kalıp plakası 400x500x48 olarak çizilmiştir.



**Şekil 9.** Erkek Kalıp Plakası

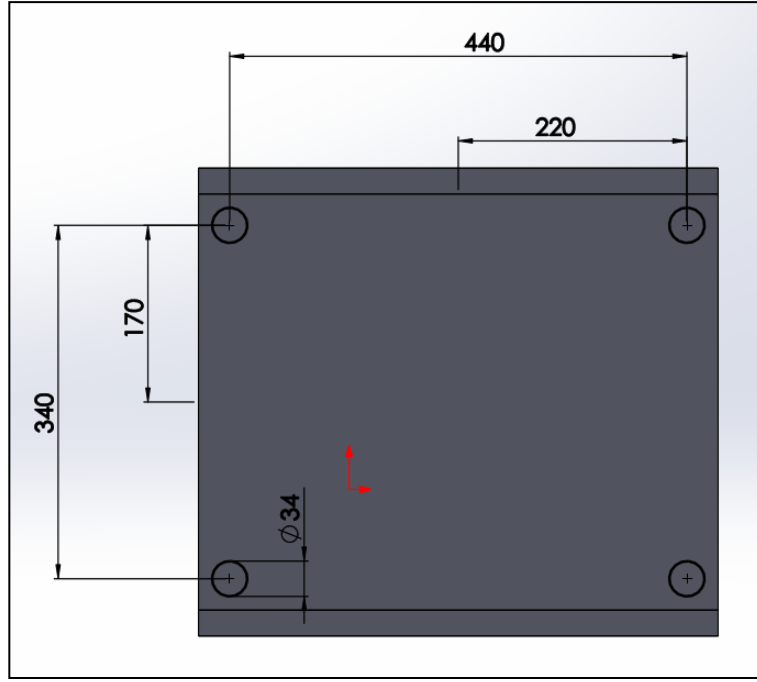


Erkek kalıp plakası ürünler dikkatlice incelenirse, yönleri aynı olacak şekilde konumlandırılmıştır. Ürünler arasındaki mesafe konusunda standart bir bilgi yoktur. Bu konu tamamen ürüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Et kalınlığı fazla olan bir üründe ürünler arasındaki mesafe, et kalınlığı az olan bir ürüne göre daha fazla olmalıdır. Genelde yolluğu çok uzatmayacak şekilde, itici mesafesini ayarlayarak yerleştirilir. En az 20 mm olmalıdır. Erkek kalıp plakası Şekil 9’da, dişi kalıp plakası Şekil 10’da, kolon çapları Şekil 11’de verilmiştir.



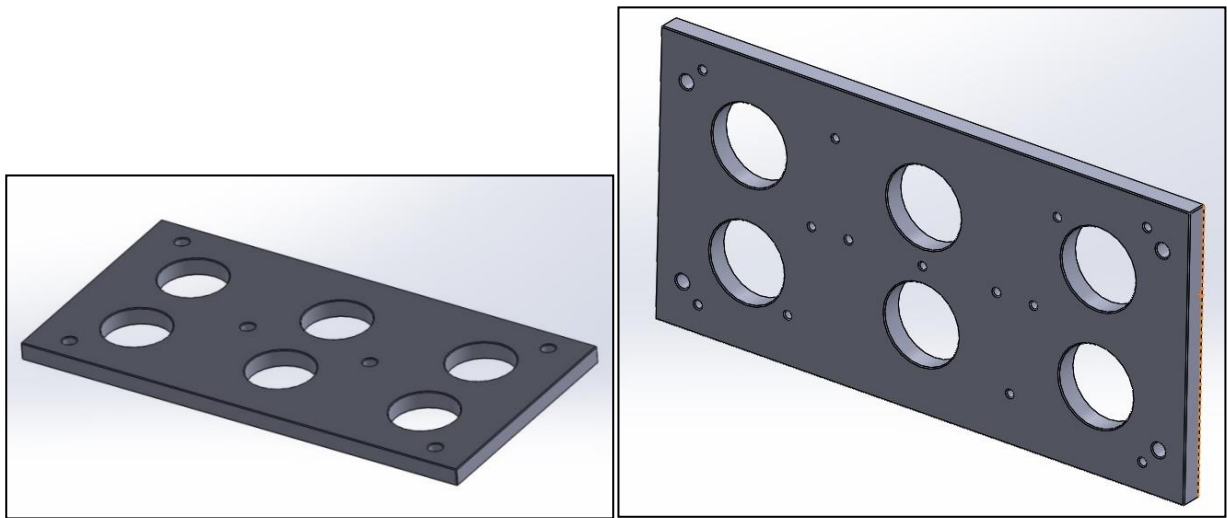
**Şekil 10.** Dişi Kalıp Plakası

Dişi ve erkek kalıp plakalarının dört tarafında kolonları karşılayacak olan burçların çakılacağı delikler bulunmaktadır. Kolon çapı 34 mm’dir. Kolon çapları, kalıp seti büyüklüğüne göre seçilir. Büyük bir kalıpta küçük bir çap açılması doğru olmaz. Çünkü kolonlar bu durumda kalıbı taşıyamaz ve sarkma meydana gelir. Aynı durum bağlantı delikleri için de geçerlidir. Bağlantı delikleri kalıp setlerini birbirine bağlamaktadır.



**Şekil 11.** Kalıp Kolon Çapları

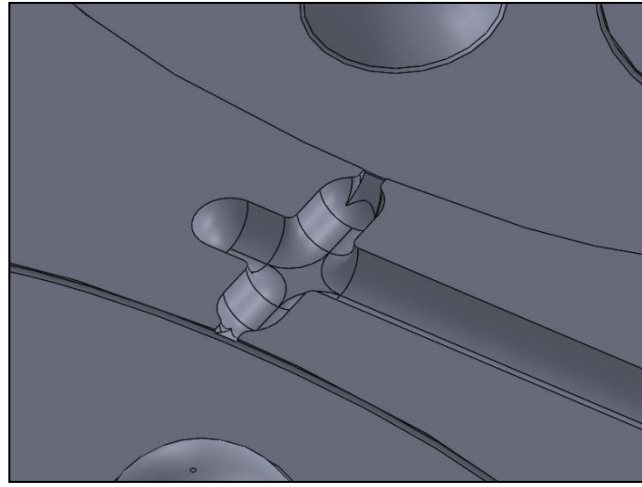
Su yollukları tasarlanırken, itici, kolon ve geri vuruculara denk gelmeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Çelik kalınlıklarını ayarlarken de su yolluğu faktörünü göz önünde bulundurmalıyız. Eğer erkek kalıp plakasının paylı olması istenmez ise erkek kalıp plakasını destekleyecek bir erkek destek plakası ilave edilmelidir. Tasarımcı destek plakasını koyma gereksinimi duymaz ise, itici plakalar baba adı verilen parçalar konulur. Baba aşırı yüklenme ve zorlanmaları azaltır. Parçanın sehim yapmasını önler. Çeliğin deformasyon süresini uzatır. Kalıba ait paralel kalınlığı verilirken itici destek plakası ve itici plakası baz alınır. Çünkü ancak bu iki plakanın hareketi kadar hareket mesafesi vardır. Yani takoz kalınlığı ürünün hareket mesafesine göre ayarlanır. Paralel en ve boyu ise kolonları içine alacak şekilde fakat iticilere denk gelmeyecek şekilde ölçülendirilmelidir. İtici destek ve itici plakalar Şekil 12'deki gibidir.



**Şekil 12.** İtici Destek ve İtici Plakalar

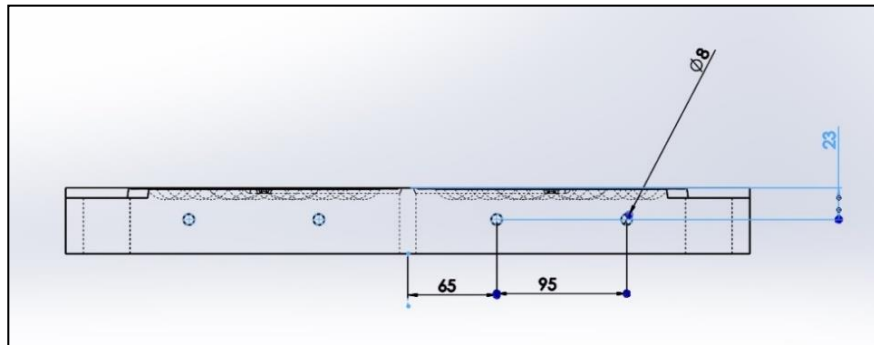
Kalıpta erkek ve dişi kalıp plakalarına kilitleme sistemi konulmuştur. Kilitleme koyma sebebi, kalıp çalışıkça zamanla kayma meydana gelir. Birleşme yerlerinde izler oluşmaya başlar. Bu kayma ise kolonlardan kaynaklanır. Kolon ve burç sürtünmeyle çalışmaktadır. Sürtünme zamanla aşınma meydana getirir. Kolon burç arası boşluk oluşur. Kolondaki yükü azaltmak ve kalıp ömrünü uzatmak için kilitleme sistemi kullanılır. Bu çalışmada da bu düşünülerek kilitleme konulmuştur. Kilitlemelere, hareket kolaylığı sağlamak için küçük bir açı verilmiştir.

Soğuk yolluk sistemi tercih edilmiştir. Şekil 13'teki gibi tünel yolluk kullanılarak yolluk izi azaltılmıştır. Rahat dolum sağlamak için yolluk hem erkek hem dişi yarısında kalacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarım rahat dolum sağladığı gibi enjeksiyon basıncını da zorlamaz. Aksi takdirde baskı esnasında enjeksiyon basıncı artırılır. Bu da bir süre sonra kalıpta açma oluşturur. Kalıp çapak oluşturmaya başlar.



Şekil 13. Tünel Yolluk

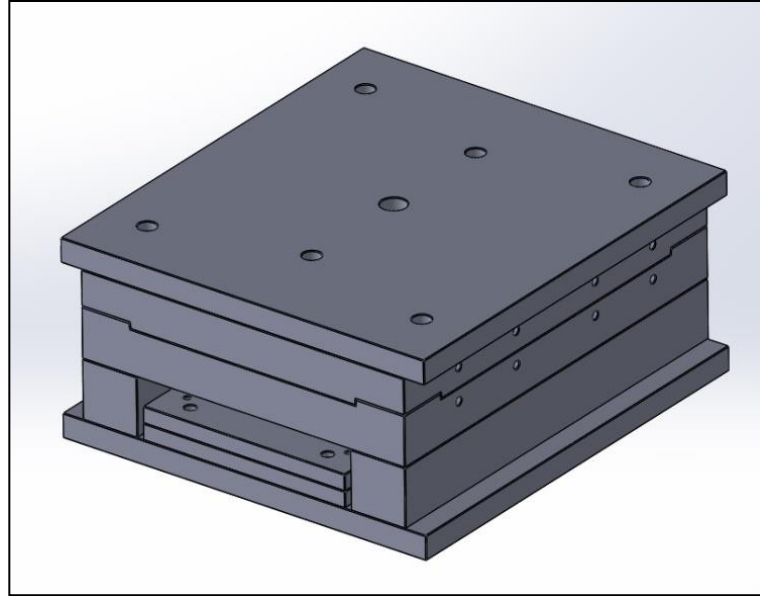
Yolluk tasarımını takip eden bir sonraki aşama su yollukları tasarımıdır ve dişi kalıp plakası su yolluğu Şekil 14'te görüldüğü gibidir. Baskı esnasında kalıp açıldığında, kalıptaki ürünü çıkarabilecek sıcaklığa getiren sistem su yolluklarıdır. Dizaynı kötü olan bir soğutma sistemi tasarımı, kalıpta iç gerilmeler oluşturur. Soğutma etkin değilse, çevrim zamanı uzar. Etkin bir soğutma için su yolluğu mesafesi, ürün yüzeyine olabildiğince yaklaştırılmalıdır.



Şekil 14. Dişi Kalıp Plakası Su Yolluğu

Kalıbın dişi tarafı genel olarak parçanın görünen kısmı olmaktadır. Görsellik açısından dişi kısımlarda lokma kullanımı pek tercih edilmez. Dişi taraf genel olarak itici sistem içermemesi ve az lokmalı dizayn edilmesi soğutma sisteminin tasarımını basitleştirir. Kalıbın dişi tarafında istenilen bölgelerde su yolluğu deliği açmak mümkündür. Erkek plakada olduğu gibi bir itici pim deliğiyle, su yolluğu deliğinin çakışma olasılığı yoktur. Bu nedenle dişi tarafında etkili bir soğutma yapılması kolaydır. Kalıp konstrüksiyonu uygunsa boydan boya bir çap açılarak su yolluğu tasarlanabilir. Ürün geniş bir ürün ise bu kanalı boydan boya tek bir bölgeden değil, ürüne göre birkaç bölgeden vermek gerekebilir. Çünkü baskı esnasında kanallarda dolaşan su, giderek ısınacak ve kalıp soğutma etkinliği azalacaktır. Bundan daha etkin bir soğutma sistemi düşünülürse, bu sistem, plastik ürünün çevresini dolanan bir dizayn oldukça homojen bir soğutma sağlar.

Erkek tarafı soğutma ise her zaman daha zordur. İtici pimlerin varlığı, kalıp maçalı ise maça boynuz delikleri gibi çaplar, su yolluğu giriş yerlerini kısıtlamaktadır. Derin figürlü erkek kalıplarda, en uygun giriş çıkış bölgeleri belirlenir. Dikine seperatör ile ikiye ayrılmış delik sistemleri bu tip kalıplarda en uygun soğutma sistemidir. Bu çalışmada, kalıp konstrüksiyonu izin verdiği için boydan boya derin delik açılarak, soğutma kanalı parçaya eşit dağılacak şekilde açılmıştır. Kalıp son hali Şekil 15'te gösterilmiştir.



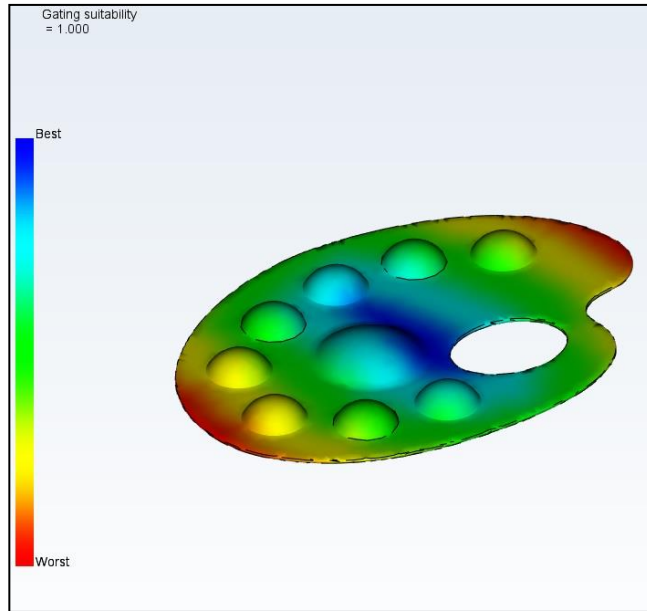
**Şekil 15.** Kalıp Genel Görüntüsü

#### **4. Bulgular ve Tartışma**

Moldflow programı plastik enjeksiyon kalıplarında tasarımla ilgili bizlere yol gösterici bir analiz programıdır. Program, birçok soruya yanıt vermektedir. Örneğin; Giriş noktası nerede olmalı? Yolluk sistemi dengeli mi? Soğuk birleşme mevcut mu ve nerelerde gözlemlendi? Hava atılamayan bölgeler neresi? Parça tamamen dolacak mı ya da eksik dolum oluşabilir mi? Soğutma düzenli mi? Yüzey kalitesi iyi mi? Çarpılma mevcut mu ve nerelerde oluşmuştur?

#### 4.1. En Uygun Giriş Yeri Belirleme

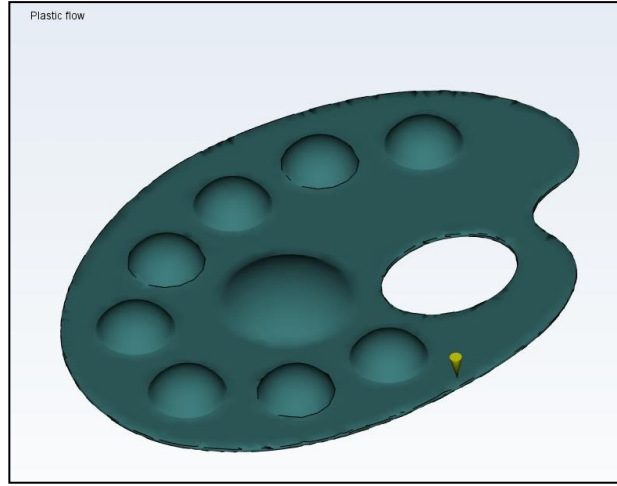
Moldflow programı, parçayı ve kullanılan malzemeyi göz önüne alarak, kalıbı doldurmak için en uygun giriş yerini belirler. Şekil 16'da en iyi giriş yeri lacivert renk ile gösterilmiştir. Fakat bu çalışmadaki giriş yeri ile önerilen bölge aynı değildir. Bu şu şekilde yorumlanmalıdır. Ürün incelendiğinde eğer programın öngördüğü giriş yeri uygulanırsa, sıcak yolluk sistemi kullanılmak durumunda kalır. Sıcak yolluk sistemi, soğuk yolluk sistemine göre birçok avantaja sahip olmasına rağmen, bu kalıpta bunu uygulamak çok uygun değildir. Zaman ve maliyet açısından bir kayıp söz konusudur. Bu çalışmada yapılan yolluk sistemi, analizdeki plastik akışından da görüleceği üzere rahat bir şekilde akmaktadır. Ayrıca yolluk hem erkek taraf hem de dişi tarafından verildiğinden akış rahattır. En iyi giriş yeri analizi Şekil 16'da Tuna (2021) tarafından gösterilmiştir.



**Şekil 16.** En iyi giriş yeri belirleme

#### 4.2. Akış Analizi

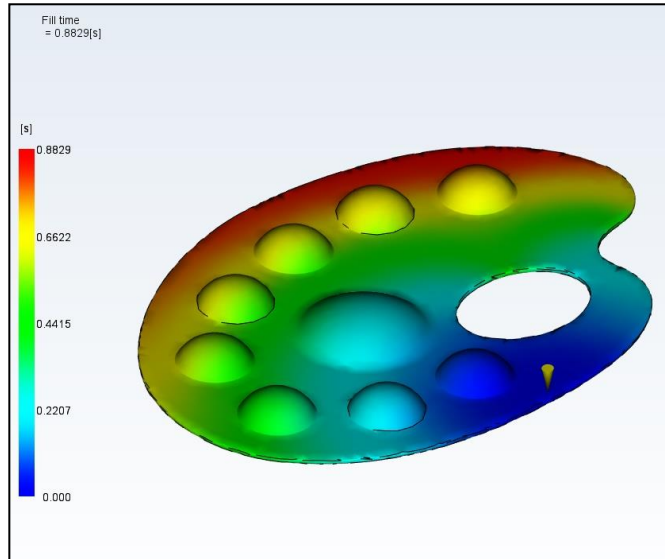
Moldflow programı, malzemenin kalıp boşluğuna nasıl dolduğunu analiz eder. Yapılan analiz simülasyonu sonucunda, plastik akışının kabul edilebilir bir kalite elde edilmesine olanak sağlayan seviyede olduğu görülmektedir. Plastik akışı analizi Şekil 17'de gösterilmiştir.



**Şekil 17.** Plastik Akış Analizi

#### 4.3. Dolum Zamanı Analizi

Şekil 18’de dolum zamanı analizi görülmektedir. Moldflow programı, parçada aynı anda dolan bölgeleri tespit etmektedir. Lacivert alan ilk ulaştığı, kırmızı alan en son ulaştığı noktayı ifade eder. Kalıp boşluğunda eğer dengesiz bir akış meydana gelirse, bir kısım çoktan dolarken, diğer kısım daha hiç malzeme alamamış olabilmektedir. Bu durum eksik dolum, soğuk birleşme, hava boşluğu gibi hatalara neden olabilir. Erken dolan bölgelerde sabit bir basınç birikmesi oluşacaktır. Bu basınç kalıp boşluğuna girecektir. Diğer bölgelere göre daha düşük çekme oluşacaktır. Bu da çarpılmalara sebep olmaktadır.

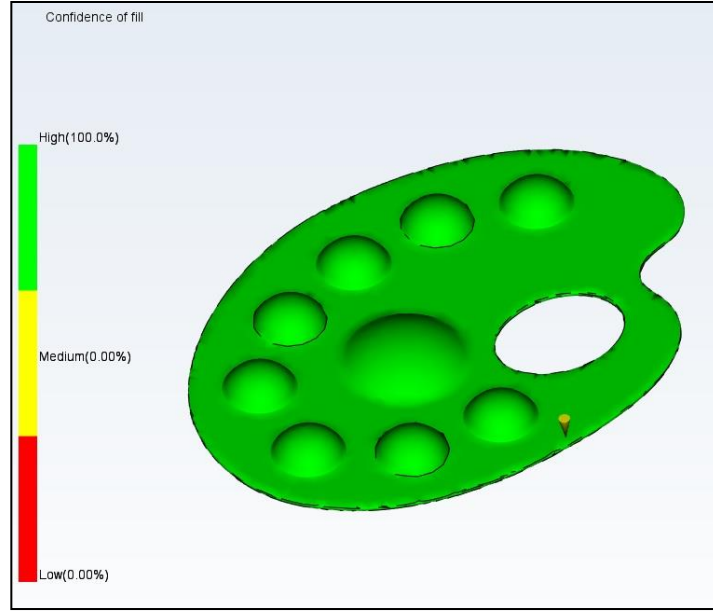


**Şekil 18.** Dolum Zamanı Analizi

#### 4.4. Dolum Kalitesi

Şekil 19’da dolum kalitesi görseli yer almakta olup, kalıp gözlerine dolan plastiğin dolum kalitesini göstermektedir. Kalıbın iyi dolması parçanın da kaliteli olacağı anlamına gelmez. Kalıp iyi dolar; ancak homojenizasyonun sağlandığı tutma süresinde yeterli basınç ve sıcaklıkta tutulmaz ise parça kalitesi düşer.

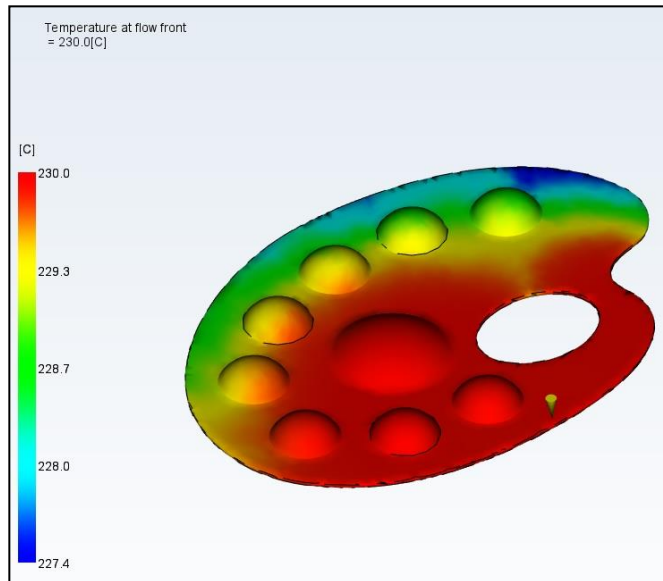
Bu çalışmada parça kalitesi oldukça yüksektir. Bu da gösteriyor ki yolluk ve soğutma sistemleri iyi dizayn edilmiştir.



Şekil 19. Dolum Kalitesi

#### 4.5. Ergiyik Sıcaklığı

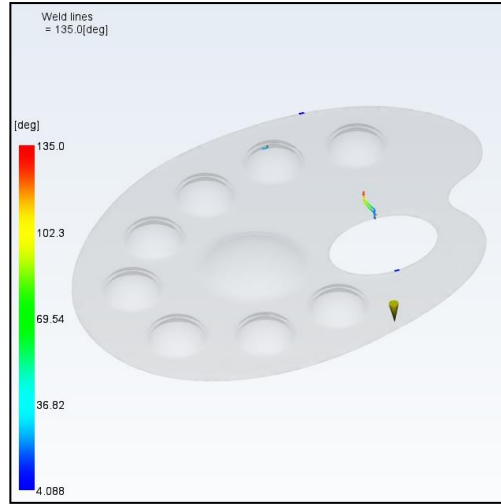
Kalıp dolumu esnasında, ergiyik sıcaklığında meydana gelen sıcaklık değişimleri Şekil 20'de gösterilmiştir. Bu çalışmada kırmızı bölgelerin oranı oldukça yüksektir. Dolumun bitmesine yakın olan bölgelerde renk açılmaları gözlenmiştir. Parçada yüksek oranda bir kararsızlık mevcut değildir. Bu haliyle bırakılabilir. Fakat istenilirse giriş yeri arttırılabilir. Parçanın güçsüz olan kısımları da isteğe bağlı olarak arttırılabilir. Enjeksiyon süresi düşürülebilir.



Şekil 20. Ergiyik Sıcaklığı

#### 4.6. Kaynak Çizgileri

Kaynak çizgilerinin var olup olmadığını ve hangi bölgelerde yoğunlaştığını gösterir. Kaynak çizgisi güçsüz ve görünmeyen çatlakları ifade eder. Aslında soğuk birleşme olan yerleri gösterir. İki ya da daha fazla akış yolu mevcutsa kalıp dolum sırasında karşılaşılır ve ergiyiğin önünde donmuş haldeki malzeme tekrar erir ve sonra tekrar soğur. Bu durum uygun bir birleşme oluşmasını önler. Bu bölgelerde dayanım azalır. Sulu boya paletinde beklenir çizgiler Şekil 21’de gösterilmiştir. Önlemek için giriş bölgeleri değiştirilebilir, parçanın et kalınlığı değiştirilebilir.

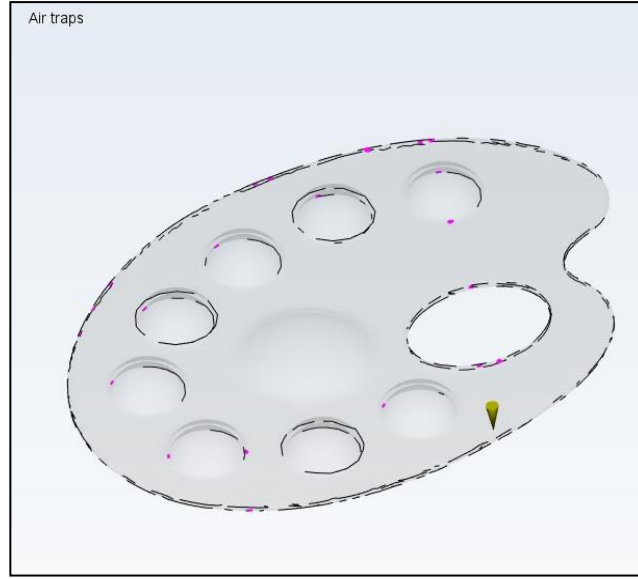


Şekil 21. Kaynak Çizgileri

#### 4.7. Hava Kapanı

Kalıp boşluğu dolduğu esnada, akış yolu ile havanın karşılaşması sonucu meydana gelir. Genellikle farklı et kalınlıklarına geçiş yaparken oluşur. Hava kabarcıkları ergiyik malzeme ile karşılaşır sıkışır ve o kısımlara dolum gerçekleşmez. Bu durum küçük boşluklara sebebiyet verir. Yani konu, kalıp boşluğundaki havanın dışarı atılamaması kaynaklıdır. Ürün çıkışına hava cepleri konulabilir. Parça et kalınlığı homojen hale getirilebilir. Kalıp boşluğu giriş yerlerine müdahale edilebilir. Hava kapanı Şekil 22’de gösterilmiştir.

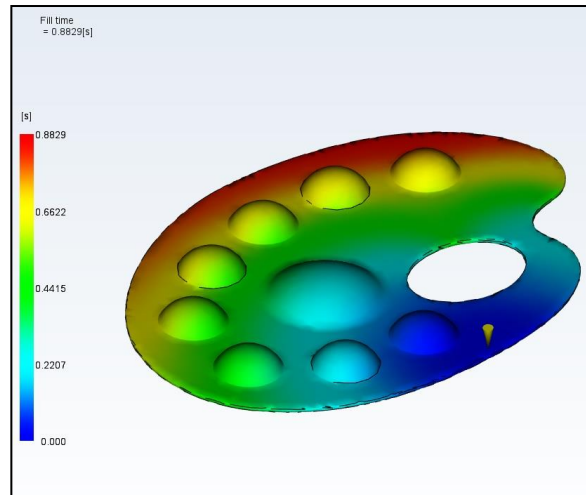




**Şekil 22.** Hava Kapanı

#### 4.8. Enjeksiyon Basıncı

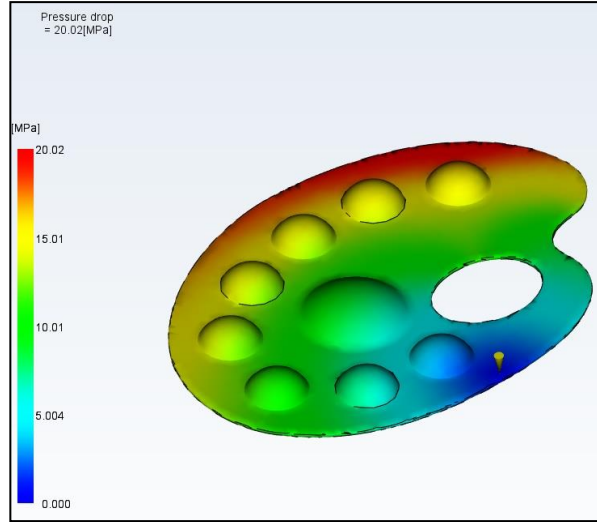
Parça plastik dolumu tamamlandıktan sonra, parça boyunca oluşan enjeksiyon basıncını gösterir. Enjeksiyon basıncı Şekil 23'te gösterildiği gibidir. Giriş bölgesinde basınç maksimum seviyededir. Kalıp dolumu esnasında, Moldflow programı bunu aralıksız hesaplar. Basıncın yüksek olması, parçada ince olan kısımlarının önce dolmasına neden olur. Ayrıca dolum bitene kadar basınç devam ettiği için, dolan bölgeler ekstra bir basınca maruz kalırlar ve bu da o bölgelerdeki çekme oranını düşürür. Bu parametreyi etkileyen en önemli faktör süredir. Dolum süresi kısa ise bu problem ortaya çıkacaktır. Enjeksiyon basıncının oluşturduğu problemleri gidermek için enjeksiyon basıncı yükseltilebilir. Eğer tasarımcı uygun görüyorsa yüksek ergime sıcaklığına sahip bir malzeme seçilmelidir. Malzeme değiştirilemez ise ergiyik sıcaklığı artırılarak problemin önüne geçilebilir.



**Şekil 23.** Enjeksiyon Basıncı

#### 4.9. Basınç Düşüşü

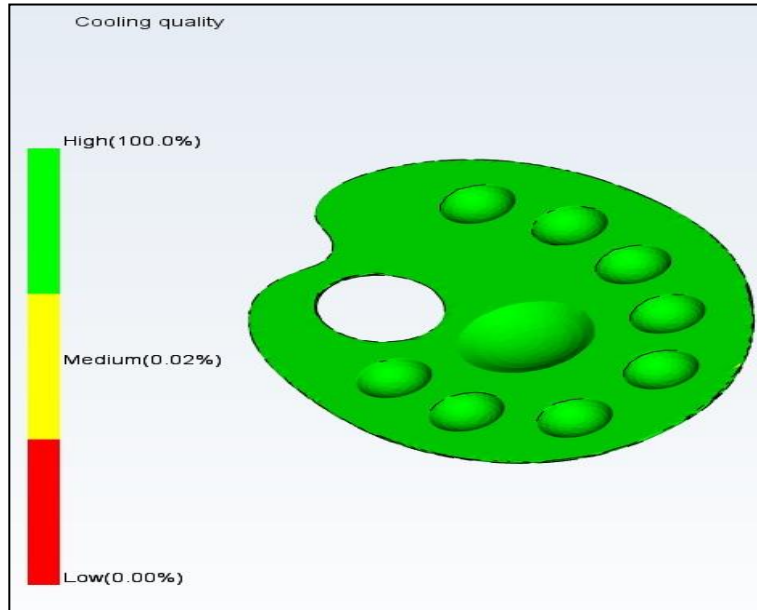
Kalıp boşluğundaki her noktada akışkanın akmasını sağlayan basınçtır. Basınç düşüşü dolum kalitesini etkiler. Basınç düşüşü arttıkça dolum kalitesi de düşecektir. Basınç düşüşü Şekil 24'te gösterilmektedir.



**Şekil 24.** Basınç Düşüşü

#### 4.10. Soğutma Kalitesi

Soğutma kalitesi, parçanın şekli ve et kalınlığına bağlı olarak ısının kalma eğilimini ifade etmektedir. Soğutma kalitesi Şekil 25’te gösterilmiştir. Soğutma kalitesi düşük olan bölgelerde akış zayıflar. Parçanın tüm bölgelerinin tamamen soğuması için gerekli zamanı hesaplar. Sonuç hangi bölgenin daha fazla soğutulması hangi bölgenin daha az soğutulması gerektiğini yorumlamamızı sağlar. Hızlı soğuyan bölgeler, soğumaya devam eden bölgeler dolmaya devam ederken donacaktır.



**Şekil 25.** Soğutma Kalitesi

Soğutma sistemi ile ilgili hesaplamalarda taşınım ile ve soğutma kanalı ile ortama atılan ısı miktarları denklem 1 kullanılarak aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$Q = Gqn \quad (1)$$

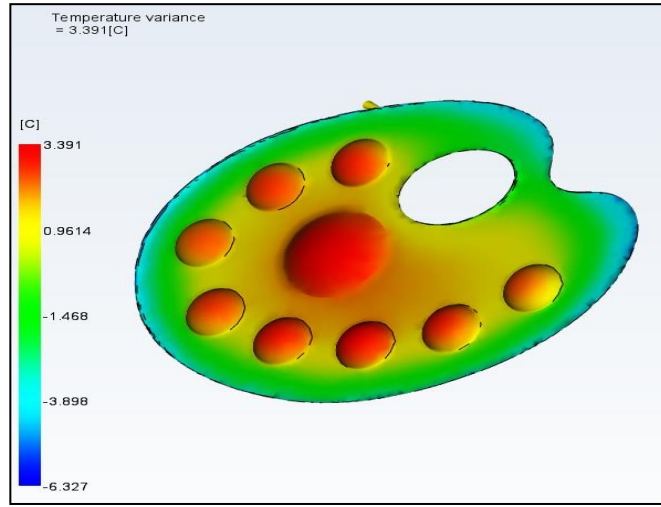
Denklem 1’de yer alan  $Q$  ortama atılan ısı miktarını (*Joule*),  $n$  bir saatte yapılan baskı adedini ifade etmektedir.  $q$  değeri plastik sıcaklıklarındaki entalpilerin farkını ifade etmektedir (*kJ/kg*) ve aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$q = C_p(T_c - T_g) \quad (2)$$

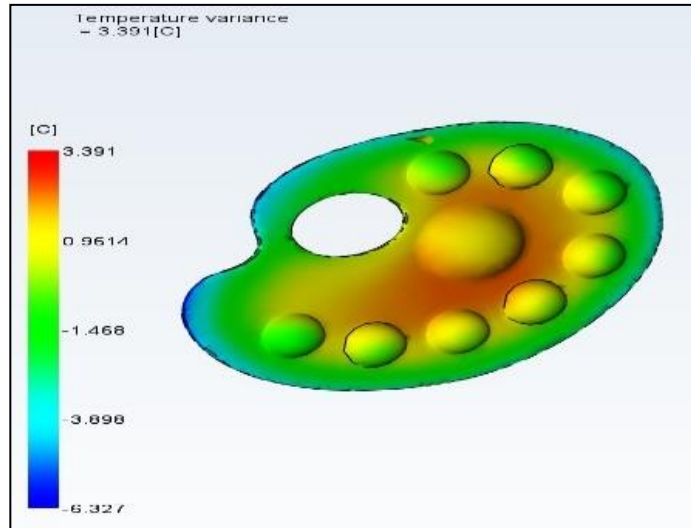
Burada  $C_p$  özgül ısı değeri ( $kJ/kgK$ ),  $T_c$  plastiğin kalıptan çıkış sıcaklığı ( $K$ ) ve  $T_g$  plastiğin kalıplama sıcaklığıdır ( $K$ ).

#### 4.11. Yüzey Sıcaklık Dağılımı

Parçadaki ortalama sıcaklıklardan sapan bölgelerin ne kadar saptıklarını yorumlamamızı sağlar. Kırmızı bölgeler ortalama sıcaklıktan daha sıcak, mavi tonlarındaki bölgeler ortalamanın altındaki sıcaklık bölgelerini ifade eder. Sıcaklık değişimi ortalama altındaysa, soğuma hızını azaltmak için, ürün kalınlığı artırılmalıdır ve soğutma sıvısı sıcaklığı yükseltilmelidir, aksi halde parça kalınlığı azaltılmalıdır ve soğutma sıvısı sıcaklığı düşürülmelidir. Yüzey sıcaklık dağılımı Şekil 26a ve Şekil 26b’de gösterilmiştir.



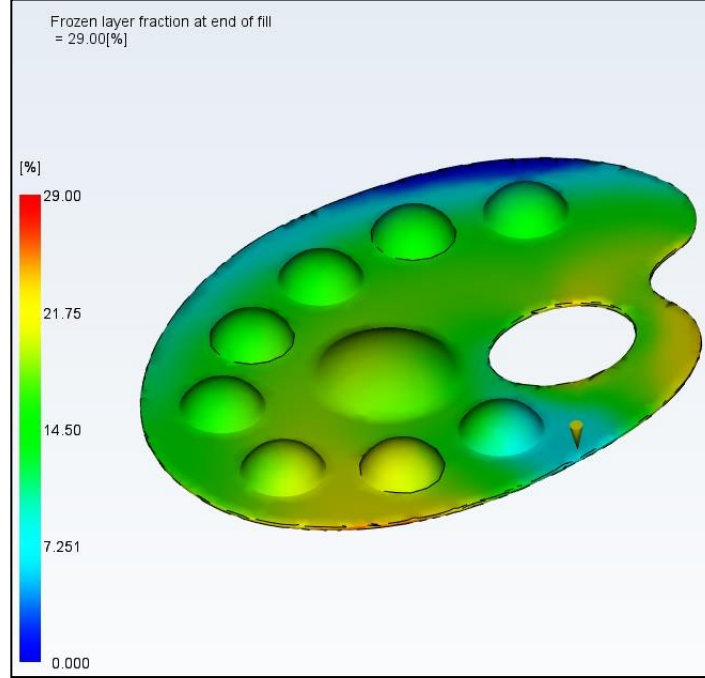
Şekil 26a. Yüzey Sıcaklık Değişimi-1



Şekil 26b. Yüzey Sıcaklık Değişimi-2

#### 4.12. Donma Zamanı Dağılımı

Kalıp boşluğunda bulunan parça, bir süre sonra soğur ve katılaşma gerçekleşir. Eğer soğumaya devam ederse donma meydana gelir. Ortalama donma sıcaklığından sapmış olan parça yüzeylerini yorumlamamızı sağlar. Donma zamanı dağılımına ait analiz Şekil 27’de gösterilmiştir.



Şekil 27. Dolum Sonu Katman Donma Dağılımı

### 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmanın amacı, sıfırdan bir ürün tasarlarırken ortaya bir bakış açısı koyup, baştan sona bir kalıp tasarımını aşama aşama incelemektir. Bir kalıp tasarlanırken nasıl başlanır ve üretim sürecine kadar neler üzerinde durulması gerekir sorularına yanıt bulmak hedeflenmiştir. Tüm bunları yaparken, parçaya ait analizler, tasarımda ve imalat sürecine geçilmeden önce yol gösterici olmuştur. Bir sulu boya paleti, görsellerin ön plana çıktığı bir kalıp dizaynı yapılmıştır. Kalıp baskısı sonrasında oluşabilecek problemlerin sebepleri ve sonuçları anlatılmıştır.

Moldflow analiz programı ile görsellerle desteklenen bir analiz yapılmıştır. Bu program ile üretim aşamasına geçilmeden kalıpla ilgili revizyonları yapmayı sağlamıştır. Tasarım yaparken analiz programı kullanmak yol gösterici olmaktadır. Burada göz ardı edilmemesi gereken en önemli husus, insan faktörüdür. Çünkü yapılan analizler yol gösterici olsa da tecrübe ve personel bilgisinin ön planda tutulması gerekmektedir. Gelen her yeni parça yeni bir kalıp tasarımı anlamına gelir. Bilgisayar destekli tasarım ve analiz programları, insanların tecrübe ve bilgi birikimlerini aktaracağı araçlardır. Moldflow programında yapılan en iyi giriş yeri analizine göre, yolluk sistemi ürünün tam merkezinden verilmelidir. Bu parça için sıcak yolluk kullanılacağı anlamına gelir. Fakat bu parça için sıcak yolluk sistemi kullanmak zaman ve maliyet kaybı olacaktır. Arz ve talebe göre sıcak yolluk sistemi de tercih edilebilir. Tasarımda belirlenen giriş yerine göre yapılan analizde ise dolum yolluk sisteminin hem erkek hem dişi kalıp plakasında verilmesinden dolayı gayet iyidir. Giriş yeri analizinin önemi yolluk sistemi tasarımının soğutma sistemini

doğrudan etkiliyor olmasından kaynaklanmaktadır. Belirlenen giriş yerine göre plastik dolumu ise plastik paletin et kalınlığının stabilizasyonundan kaynaklanmaktadır. Dolum kalitesi incelendiğinde parça alanının tamamı yeşil renktedir. Bu yüksek kaliteli bir tasarım yapıldığını, soğutma ve yolluk sistemlerinin doğru olduğunu göstermektedir.

Kalıp ergiyik sıcaklığı analizinde, parçada yüksek oranda kırmızı bölgenin olduğu dolum bitişine yakın sürede ise renklerde açılmalar gözlenmiştir. Parçada yüksek oranda bir kararsızlık mevcut değildir. Parçada yolluk giriş yeri arttırılarak problem giderilebilir. Fakat bunu yapmak yerine tasarımda kırmızı bölgelerin olduğu bölgelerden, soğutma suyu yani su yolluğu geçirilerek, o bölgelerde eşit soğutma sağlanmıştır.

Kaynak çizgisi güçsüz ve görünmeyen çatlakları ifade eder. Aslında soğuk birleşme olan yerleri gösterir. İki ya da daha fazla akış yolu mevcutsa kalıp dolum sırasında karşılaşmalar ve ergiyiğin önünde donmuş haldeki malzeme tekrar erir ve sonra tekrar soğur. Bu durum uygun bir birleşme oluşmasını önler. Bu bölgelerde dayanım azalır. Kalıp boşluğu dolduğu esnada, akış yolu ile havanın karşılaşması sonucu kaynak çizgisi meydana gelir. Ayrıca hava kapanı analizine göre, kalıp boşluğu dolduğu esnada, akış yolu ile havanın karşılaşması sonucu oluşan kaynak çizgisi, genellikle farklı et kalınlıklarına geçiş yaparken gözlemlenir. Hava kabarcıkları ergiyik malzeme ile karşılaşır sıkışır ve o kısımlara dolum gerçekleşmez. Bu durum küçük boşluklara sebebiyet verir. Yani konu, kalıp boşluğundaki havanın dışarı atılamaması kaynaklıdır. Bu küçük boşluklar ürün çıkışına hava cepleri konularak giderilmiştir. Enjeksiyon basıncı analizinde, parça plastik dolumu tamamlandıktan sonra, parça boyunca oluşan enjeksiyon basıncını gösterir. Ergiyik girişinin gerçekleştiği ilk anda basınç en yüksek ve dolum sonuna kadar azalmaktadır. Enjeksiyon basıncı dolum süresini etkilemektedir. Bu problemin önüne geçmek için eğer yolluk sisteminin değişmesi istenmiyorsa, soğutma sistemini iyi tasarlayarak bunun önüne geçilebilmektedir.

Soğutma kalitesi analizi, parçanın şekli ve et kalınlığına bağlı olarak ısının kalma eğilimini inceler. Soğutma kalitesi düşük olan bölgelerde akış zayıflar. Parçanın tüm bölgelerinin tamamen soğuması için gerekli zamanı hesaplar. Sonuç hangi bölgenin daha fazla soğutulması hangi bölgenin daha az soğutulması gerektiğini yorumlamamızı sağlar. Soğumaya devam eden bölgeler dolmaya devam ederken hızlı soğuyan bölgeler donacaktır. Soğutma kalitesi analizi, parçadaki ortalama sıcaklıklardan sapan bölgelerin ne kadar saptıklarını yorumlamamızı sağlar. Palet kalıbında, ürün et kalınlığı ürünün hemen hemen her yerinde homojendir. Bu sebeple soğutma kalitesi yüksektir. Kalıp alıştırması fazla olan kalıplarda bunu sağlamak için çok daha karmaşık tasarımlar yapmak gerekir.

Yüzey sıcaklık değişimi ortalama altındaysa, soğuma hızını azaltmak için, ürün kalınlığı arttırılmalıdır ve soğutma sıvısı sıcaklığı yükseltilmelidir, aksi halde parça kalınlığı azaltılmalıdır ve soğutma sıvısı sıcaklığı düşürülmelidir. Soğutma sıvısı sıcaklığını kalıba ve ürüne göre yorumlamak gerekir. Giriş sıcaklığı, çıkış sıcaklığına göre daha düşük olmaktadır. Bununla ilgili standart bir değer yoktur, kalıba ve ürüne bağlı değişkenlik göstermektedir. Çıkışta kalıpta dolaşan soğutma sıvısı ile kalıp arasında ısı transferi gerçekleşeceği için çıkış sıcaklığı yükselecektir. Plastik enjeksiyon sistemlerine ait soğutma genel olarak chiller soğutma sistemleriyle gerçekleştirilmektedir. Palet kalıbı soğutma sistemi tasarımı, kalıp

konstrüksiyonu izin verdiği için boydan boya soğutma kanalları açılarak yapılmıştır. Dişi kalıp plakası tarafında herhangi bir itici sistem ya da maça sistemi olmadığı için boydan boya delikler açılması oldukça kolaydır. Erkek kalıp plakası tarafında itici pimlerin varlığı, maça sistemi ve geri vurucu pimler bu sisteme kısıt getirmektedir. Palet kalıbında iticiler olabildiğince homojen dağıtılıp, su yollukları boydan boya delinebilmiştir. Derin delik delme işlemi radyal matkapta gerçekleştirilmiştir. Bu esnada matkabin sağa sola kaçma, salgı yapma olasılığı yüksektir. Bu yüzden soğutma kanalları diğer deliklere belirli bir mesafede açılmıştır. Bu ölçü ortalama bir kalıpta en az 3 mm, daha derin kalıplarda ise en az 5 mm olmalıdır. Soğutma kanalları yüzeye uzak olursa yeterli soğutma olmaz. Çok yakın olursa da hızlı soğuma gerçekleşir. İkisi de iyi değildir. Kalıbın arka yüzeyinde ürün hattı boyunca havuz açılıp, su kanalları geçirilerek daha kararlı bir soğutma alternatifi de mümkündür. Burada havuz açma süreyi uzatmaktadır ve işçiliği arttırmaktadır. Kalıpta yolluk girişinden ergiyiğin ilk girdiği nokta, en sıcak, yolluktan uzaklaştıkça ergiyik sıcaklığı düşmektedir. Yüzey sıcaklığı analizinde kırmızı bölgeler sıcak olan bölgeleri ve rengin açıldığı noktalar yolluktan uzaklaştığındaki ergiyik sıcaklığının yüzeyde oluşturduğu sıcaklığı göstermektedir. Kararsızlık yoktur. Fakat hem itici pimlerin varlığı göz önüne alınarak hem de yüzey sıcaklığı analizi önemsenerak su yollukları boydan boya derin delik olarak açılmıştır ve soğutma kalitesi yapılan analize göre yüksektir. Enjeksiyon makinelerinde su yolluklarından geçecek olan suyun debisi ve sıcaklığı ayarlanabilmektedir. Eşit soğutma için sıcak olan bölgelerdeki soğutma suyu sıcaklığı düşürülmekte olup, soğuk olan bölgelerde sıcaklık artırılmıştır. Parçanın kalıptan çıkması için, yeterli debide su geçmesi ve bu sebeple soğutma kanallarının çaplarının uygun ölçülerde açılması gerekir. Kalıpta su yolluklarının ürüne olan mesafesi önemlidir ve tercih edilen değer çapın yaklaşık 2,5 kat mesafesi olması iyi bir soğutma için ortalama bir değerdir. Bu çalışmada da mesafe 2,5 katı olacak şekilde ayarlanmıştır. Çalışma soğutma ve yolluk sistemi tasarım ve analizini birlikte içermesi yönüyle yol gösterici olacak bir çalışmadır.

Kalıpcılık sektörü çok değerli ve çok nitelikli olmasına karşın, yeterince yaygın değildir. Günümüzde tecrübeli kalıp ustası dahi bulmak zorlaşmıştır. Bu alanda çalışan uzman mühendislerimizin de nitelikli işlere el atması gerektiği düşüncesiyle bu çalışma hazırlanmıştır. Konuyla ilgili literatürde çalışmalar mevcut olsa da sayısı azdır. Her araştırmacının da konuya dair bakış açısı ve değerlendirmesi farklı perspektif sunmaktadır. Bu çalışmada da tasarlanan ürün ve kalıp, gerçek anlamda üretilmektedir. Amaç burada sadece bir kalıbı tasarlamak değil, tasarlanan ürünün kalıplanabilirliği ve kalıbın üretilmesini de göz önüne almaktır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

## **Kaynaklar**

- Ceritbinmez F. Plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve üretilen parçalarda çapaklanmaya etki eden parametreler. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 130, Hatay, Türkiye, 2014.
- Ekici E., Pazarkaya İ., Nas E. Plastik enjeksiyon kalıpcılığı. 2.Baskı Ankara: Seçkin Yayıncılık; 2016.
- Kafalı MS. Bilgisayar destekli plastik enjeksiyon kalıp tasarımı. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 116, Kayseri, Türkiye, 2011.
- Koyun Ç. Bilgisayar destekli plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve analizi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 217, İstanbul, Türkiye, 2005.
- Kucur MZ. Plastik enjeksiyon kalıbı esasları tasarım-imalat ve analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 155, İstanbul, Türkiye, 2005.
- Şahin O. Tersine mühendislik yöntemi ile plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve kalıp dolmuş parametrelerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 63, Sakarya, Türkiye, 2018.
- Topçu E. Plastik enjeksiyon yöntemiyle üretilen deney numunelerinin kalıp tasarımı. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 63, Tekirdağ, Türkiye, 2011.
- Tugaytimür C. Plastik enjeksiyon kalıp tasarım kurallarının analizi ve uygulanması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 112, Ankara, Türkiye, 2016.
- Tuna S. Plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve soğutma sisteminin analizi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 82, Kocaeli, Türkiye, 2021.

## Tel Eritmeli İlkörnekleme (FDM) ile Üretilen Sandviç Yapıların Mekanik Davranışı Üzerinde Dolgu Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi

Volkan ARIKAN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-6102-6584>

\*Sorumlu yazar: volkanarikan@osmaniye.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 10.06.2023

Kabul tarihi: 14.09.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Eklemeli imalat  
Sandviç yapılar  
Dolgu deseni  
Dolgu yoğunluğu

### ÖZ

Bu çalışma, Tel Eritmeli İlkörnekleme (FDM) tekniği kullanılarak üretilen sandviç yapıların mekanik davranışı üzerinde dolgu desenlerinin etkisini incelemektedir. Polilaktik asit (PLA), tercih edilen birincil malzeme olarak seçilmiştir ve mekanik özellikleri ile biyolojik olarak çözünebilir olmasıyla bilinmektedir. Kübik, çizgisel, üçgenel, üçlü altıgen, sekizli ve dönel olmak üzere altı farklı dolgu deseni, farklı dolgu yoğunlukları (%20, %30 ve %40) ile birlikte kullanılarak sandviç yapılar üretilmiştir. Numuneler, kenar yönde basınç dayanım testlerine tabi tutulmuş ve kuvvet-deplasman eğrileri yapıların performansını değerlendirmek için analiz edilmiştir. Sonuçlar, kübik dolgu deseninin tüm dolgu yoğunluklarında üstün mukavemet sergilediğini, diğer desenlerin performansta farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, hasar tiplerinin analizi, dolgu deseni ve yoğunluğuna bağlı olarak çekirdek kayması ve yüzey plakasının burkulması gibi farklı hata modlarını göstermiştir. Bu bulgular, FDM ile üretilen sandviç yapıların mekanik özelliklerini artırmada dolgu desenlerinin rolünü anlamamıza katkı sağlamaktadır.

## Investigation of the Effect of Infill Parameters on the Mechanical Behavior of Sandwich Structures Fabricated via Fused Deposition Modeling (FDM)

### Research Article

#### Article History:

Received: 10.06.2023

Accepted: 14.09.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Additive manufacturing  
Sandwich structures  
Infill pattern  
Infill density

### ABSTRACT

This study focuses on the investigation of infill patterns and their influence on the mechanical behavior of sandwich structures fabricated using the fused deposition modeling (FDM) technique. Polylactic acid (PLA) was chosen as the primary material, known for its favorable mechanical properties and biodegradability. Six different infill patterns, including cubic, line, triangular, trihexagonal, octet, and gyroid, were employed to fabricate sandwich structures with varying infill densities (20%, 30%, and 40%). The samples were subjected to edgewise compressive strength tests, and the force-displacement curves were analyzed to evaluate the performance of the structures. The results revealed that the cubic infill pattern exhibited superior strength in all infill densities, while other patterns showed variations in performance. Moreover, the analysis of damage types indicated different failure modes, such as core shear and facesheet buckling, depending on the infill pattern and density. These findings contribute to understanding the role of infill patterns in enhancing the mechanical properties of sandwich structures fabricated via FDM.

**To Cite:** Arıkan V. Investigation of the Effect of Infill Parameters on the Mechanical Behavior of Sandwich Structures Fabricated via Fused Deposition Modeling (FDM). Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 247-262.



## 1. Introduction

Additive manufacturing, also referred to as 3D printing, is a technique for fabricating three-dimensional entities by sequentially depositing material layer by layer (Ren et al., 2022). This procedure entails employing a digital model, which is divided into thin layers, followed by the gradual addition of material by the printer until the final object is formed. Additive manufacturing boasts numerous benefits over conventional manufacturing methods, encompassing the capability to generate intricate geometries and economically produce small batches of components (Gu et al., 2021). The application of additive manufacturing extends to diverse sectors, including aerospace, automotive, and healthcare, enabling the production of an extensive array of objects ranging from miniature parts to colossal structures. This process is compatible with various materials such as plastics, metals, and ceramics (Ren et al., 2022).

Additive manufacturing encompasses several techniques, each with its own distinctive characteristics. These include bioprinting, laser-based additive manufacturing, functionally graded materials (FGMs), and nanolamellar high-entropy alloys, and FDM. It is important to note that the field of additive manufacturing is continually evolving, with ongoing advancements in both techniques and materials. This constant innovation is driven by the need to cater to the market requirements of various industries (Gu et al., 2021; Ren et al., 2022; Singh et al., 2022; Zhang et al., 2022).

FDM is an additive manufacturing technique that entails melting a thermoplastic material and sequentially depositing it layer by layer to fabricate a three-dimensional object. FDM is known for its affordability and finds extensive utilization in diverse domains, including medical sciences, the aerospace industry, biological research, engineering applications, and more. The mechanical characteristics of FDM components can be influenced by the printing temperature and filling percentage. Elevating the filling percentage or printing temperature has the potential to enhance properties such as the tensile Young's modulus, ultimate tensile strength, elongation, and shore hardness of the material (Dong et al., 2021; Hsueh et al., 2021).

FDM offers several advantages as an additive manufacturing method. FDM is generally more affordable compared to other additive manufacturing techniques, making it accessible to a wider range of users. It minimizes raw material waste since it selectively deposits material only where needed. Additionally, it has a lower technical threshold, meaning it is easier to learn and operate compared to some other additive manufacturing methods. It also allows for the creation of products with intricate and complex geometric shapes. By using different combinations of polymer matrices and reinforcing fillers, FDM can produce parts with varying properties and functionalities. It enables the fabrication of entire 3D assemblies in a single setup, without requiring tooling or human intervention. This consolidation simplifies the manufacturing process and can lead to cost and time savings ( Rudrapati et al., 2018; Hsueh et al., 2021; Solovei and Oleksyshen V., 2021).

FDM holds significant value as a printing technique for the production of thermoplastic components. Through the application of FDM, sandwich structures can be manufactured, thereby enhancing the

flexural properties of the material (Subramaniyan et al., 2022). Various core configurations can be devised and manufactured employing FDM technology to augment the mechanical characteristics of sandwich structures (Araújo et al., 2019; Eryildiz, 2023). Several factors, including curing pressure (Chen, 1994), material combinations (Baca Lopez and Ahmad, 2020), and cellular core geometry (Araújo et al., 2019), can influence the mechanical properties of sandwich structures fabricated using FDM technology. These factors can impact the strength and performance of the final product.

Improving the quality of parts produced using the widely employed FDM method holds great importance. Here are some approaches that can be followed to enhance production quality (Venkata et al., 2015; Rudrapati et al., 2018; Zagidullin et al., 2021). There are several ways to enhance the quality of FDM parts. Utilize techniques like response surface methodology (RSM) and Genetic Algorithm to optimize process parameters such as layer thickness, part orientation, raster angle, raster width, and air gap. This optimization aims to minimize variations in dimensions (i.e., length, width, and diameter) and surface roughness, leading to improved part quality. Conduct a thorough investigation into the impact of critical process parameters on FDM part quality. By understanding how layer thickness, part orientation, raster angle, raster width, and air gap affect the final product, it becomes possible to adjust these parameters to achieve desired quality outcomes. Employing parametric changes within the 3D printing software to eliminate or minimize defects in FDM parts. This can involve adjusting settings such as infill density, print speed, temperature, and support structures to optimize part quality. It ensures that process parameters are well controlled and consistent throughout the production of FDM parts. Maintaining a stable environment, such as temperature and humidity, and adhering to precise parameter settings can help minimize variations and improve overall part quality. By implementing these approaches, it is possible to enhance the quality of FDM parts, resulting in more accurate dimensions, better surface finish, and improved overall performance.

Indeed, the filament material used in FDM plays a critical role in determining the quality of the resulting parts (Venkata et al., 2015; Dong et al., 2021; Hsueh et al., 2021; Solovei and Oleksyshen, 2021). Various process parameters, including the filament material, have a significant impact on the physical and mechanical properties of FDM-made parts. The choice of filament material directly affects the outcomes of tests conducted to evaluate mechanical properties. While increasing the printing temperature and filling percentage can improve the mechanical properties of the material, it is important to consider the specific characteristics and behavior of the chosen filament material.

In order to assess the mechanical properties of parts produced through Fused Deposition Modeling (FDM), several tests are commonly conducted. These tests aim to evaluate the performance and behavior of FDM polymers and composites. Tensile tests are performed to understand how the inner structure of FDM polymers affects their mechanical properties, such as tensile strength, elongation, and elasticity modulus. These tests can help determine the material's response to applied forces and its ability to withstand stretching (Özen et al., 2021). Three-point bending tests are conducted to characterize the impact of various parameters, including build orientation, layer thickness, printing

temperature, and printing speed, on the mechanical properties of FDM samples (Chalgham et al., 2021). This test helps evaluate the material's resistance to bending and its flexibility under different conditions. Impact strength tests are carried out to investigate the effects of FDM process parameters on the ability of the printed parts to withstand sudden forces or impacts. This test helps to assess the toughness and resistance to fracture of the material (Kam et al., 2023). Flexural tests are used to evaluate the bending behavior and stiffness of printed composite samples. These tests involve applying a force to the sample in a bending manner to assess its structural integrity and resistance to deformation (Muthu Natarajan et al., 2022).

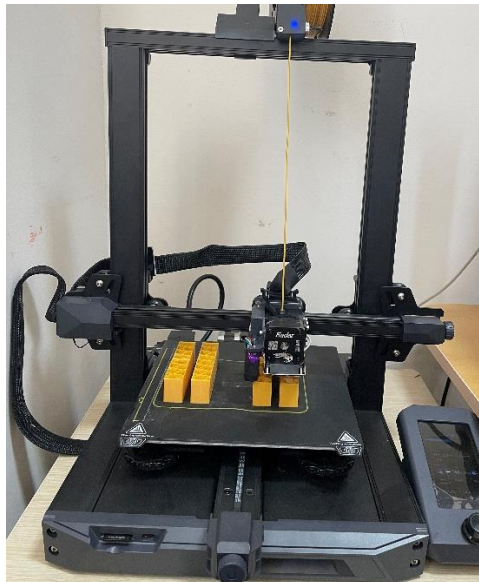
The edgewise compressive strength test is important in sandwich structures for several reasons. It measures the ability of the sandwich structure to resist compressive loads applied perpendicular to the facesheets, which is a critical loading condition for many applications. The edgewise compressive strength of sandwich constructions can be influenced by various factors. The edgewise compressive strength of sandwich constructions can undergo significant changes with increasing curing pressure. Higher curing pressures can enhance the strength of the sandwich structure (Chen, 1994). Different sandwich structures, such as honeycomb fiberboard and AAB flute corrugated fiberboard, can exhibit variations in edgewise compressive strength. For example, honeycomb fiberboard tends to have approximately 50% higher compressive strength than AAB flute corrugated fiberboard (Hua et al., 2015). The yield strength of honeycomb paperboards can decrease as the aspect ratio (the ratio of the longer dimension to the shorter dimension) increases. More slender bodies with higher aspect ratios may experience reduced strength (Samad et al., 2018). The strength of sandwich specimens subjected to edgewise compressive loads can be affected by circular facesheet-core disbonds. Failures in the bond between the facing and core, along with wrinkling-type failures in the facing, may occur during the failure of honeycomb core sandwich specimens (Norris, 1956). The maximum stress in the facings of sandwich specimens can vary based on the type of core material used. For instance, honeycomb core sandwich specimens may exhibit lower stresses at failure compared to specimens with wood cores (Bergan, 2017).

The field of additive manufacturing, particularly FDM, has seen rapid advancements with a diverse range of infill patterns and densities being explored. However, there exists a knowledge gap regarding how specific infill configurations impact the mechanical behavior of sandwich structures. By identifying the optimal infill patterns and densities, we can enhance the overall mechanical performance of additively manufactured sandwich components, making them more suitable for a wider range of applications. In this study, sandwich structures with different filling densities and various filling geometries were produced using the FDM method with PLA filament. The edgewise compressive strength of the fabricated sandwich structures was experimentally measured. The edgewise compressive strength of compact sandwich structure samples was studied to evaluate their load-bearing capability, considering the effects of infill density and infill pattern on the strength of the sandwich parts.

## 2. Material and Method

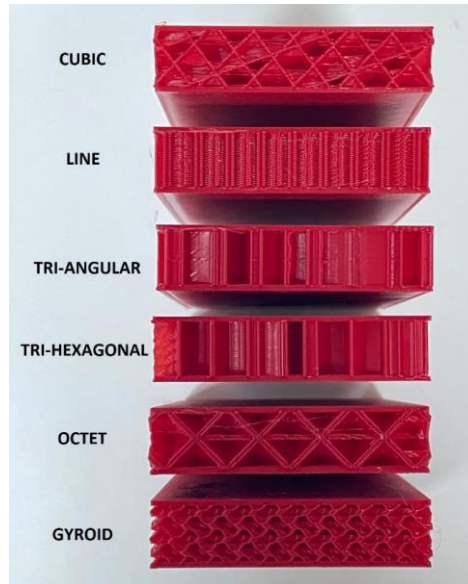
In this study, polylactic acid (PLA) was selected as the primary material for fabricating the sandwich structures using the FDM technique. PLA is a biodegradable thermoplastic polymer derived from renewable resources such as corn starch or sugarcane. It is widely used in various industries due to its favorable mechanical properties, low cost, and ease of processing. The specific PLA filament utilized in this research had a density of  $1.24 \text{ g/cm}^3$ , a tensile strength of 62.6 MPa, and a Young's modulus of 2504 MPa (Algarni, 2021).

The fabrication process was carried out using an Ender 3-S1 3D printer (Figure 1). This printer is equipped with a heated build plate and a single extruder nozzle. The printer settings were carefully adjusted to ensure optimal printing conditions throughout the experiments. The nozzle temperature was set to 208 °C, while the build plate temperature was maintained at 60 °C. The printing speed was kept constant at 50 mm/s, and the layer height was set to 0.2 mm.



**Figure 1.** Fused deposition modeling (FDM) process

The sandwich structures were fabricated using the FDM technique, which involves the layer-by-layer deposition of the PLA filament. The design of the sandwich structures included a top and bottom layer, known as the "facing," and a cellular core. The infill pattern of the cellular core was varied to investigate its influence on the mechanical properties of the sandwich structures. Six different infill patterns were utilized: Cubic, line, triangular, trihexagonal, octet, and gyroid. The samples produced with different infill patterns are shown in Figure 2. Additionally, three different infill densities were tested, namely 20%, 30%, and 40%. All sandwich structure samples produced had standardized dimensions of (80 x 50 x 12) mm. The mass of each sample varied depending on the infill density, ranging from 19.5 grams to 30 grams. The mass measurements were conducted using a precision digital scale. The utilized parameters and masses of the produced samples are provided in Table 1.



**Figure 2.** Section views of the specimens produced with different infill patterns

**Table 1.** The masses (g.) of the produced samples.

Infill Patterns	Infill Densities		
	20%	30%	40%
Cubic	19.558	24.986	29.376
Line	19.793	24.808	29.614
Triangular	19.694	24.572	29.323
Tri-Hexagonal	19.648	24.588	29.516
Octet	19.989	24.809	29.140
Gyroid	20.061	25.300	29.480

To evaluate the mechanical properties of the sandwich structures, edgewise compressive strength tests were performed according to the ASTM C64 standard. The ASTM C64 test method is specifically designed to assess the load-carrying capacity of sandwich constructions by measuring the facing stress developed during the test. The tests were conducted using a universal testing machine, where force and displacement data were collected. The collected data was then utilized to generate force-displacement graphs, enabling the analysis of the mechanical behavior of the sandwich structures. The obtained force-displacement graphs, along with visual observations of the samples, were analyzed to assess the performance and mechanical properties of the fabricated sandwich structures. The influence of the infill pattern and infill density on the edgewise compressive strength of the structures was thoroughly investigated. Furthermore, the presence of any structural damage or failure modes in the samples was carefully examined and discussed.

### 3. Results

The previous sections detailed the materials, methods, and experimental setup employed in this study to fabricate sandwich structures using PLA and the FDM technique. Now, we shift our focus to presenting and analyzing the obtained results, as well as engage in a comprehensive discussion regarding the implications and significance of these findings. The primary objective of this research was to investigate the influence of infill patterns and infill densities on the mechanical properties of the sandwich structures. To achieve this, six different infill patterns, namely cubic (Cu), line (Li), triangular (Ta), tri-hexagonal (Th), octet (Oc), and gyroid (Gyr), were implemented. Additionally, infill densities of 20%, 30%, and 40% were utilized in the fabrication process. The acceptable and unacceptable damage types are evaluated based on whether the damages occur at the points of contact with the test fixture in the tested specimens. Local damages observed at the points of contact with the test fixture are not taken into consideration. Production was also conducted at a 10% infill density; however, due to damages occurring near the clamps during the tests, they were excluded from the analysis. The acceptable and unacceptable types of damages are shown in Figure 3. During the fabrication process, particular attention was paid to maintain consistent printing parameters, including nozzle temperature, build plate temperature, printing speed, and layer height. This ensured the production of reliable and reproducible samples for subsequent testing and analysis.



**Figure 3.** Unacceptable and acceptable types of damages

The edgewise compressive strength tests, conducted in accordance with the ASTM C64 standard, provided valuable insights into the load-carrying capacity of the sandwich structures. These tests enabled us to measure the facing stress developed during the experiments, allowing for a comprehensive evaluation of the mechanical performance of the structures. The collected data from

the force-displacement graphs, coupled with visual observations of the samples, provide a comprehensive understanding of the structural behavior and failure modes exhibited by the sandwich structures. By analyzing these results, we aim to identify the optimal infill pattern and density combinations that yield enhanced mechanical properties, such as improved flexural strength and load-bearing capacity.

Moreover, by carefully examining any structural damage or failure modes observed in the samples, we can gain insights into the failure mechanisms and potential limitations of the fabricated sandwich structures. This analysis is crucial for understanding the structural integrity and durability of the produced components, and ensuring their suitability for practical applications in various industries. The damage modes observed in the specimens after the tests are provided in Table 2.

**Table 2.** The modes of damages observed in the specimens after the tests

Infill Patterns	Infill Densities		
	20%	30%	40%
Cubic	Facesheet Compression Failure	Core Shear Failure	Core Shear Failure
Line	Core Compression Failure	Core Compression Failure	Facesheet Buckling Failure
Triangular & Tri-Hexagonal	Facesheet Compression Failure	Facesheet Compression Failure	Facesheet Compression Failure
Octet	Core Shear Failure	Core Shear Failure	Facesheet Buckling Failure
Gyroid	Core Compression Failure	Core Compression Failure	Core Compression Failure

In the subsequent sections, we will present and discuss the results obtained from the comprehensive testing and analysis performed on the fabricated sandwich structures. Through an in-depth examination of these results, we aim to draw meaningful conclusions regarding the influence of infill patterns and densities on the mechanical properties of the structures. Additionally, we will explore the implications of these findings and discuss potential avenues for future research and development in the field of sandwich structure fabrication. By elucidating the relationship between infill patterns, infill densities, and mechanical properties, this study contributes to advance our understanding of optimizing the performance and functionality of sandwich structures fabricated using the FDM technique.

The force-displacement graphs of the samples with 20%, 30%, and 40% infill densities are presented in Figures 4, 5, and 6, respectively. Upon examining the graphs, it can be observed that the samples with a cubic infill pattern exhibit higher strength at all density levels. (Ma et al., 2020) stated in his study that the cubic infill type exhibited high performance in compression tests, and similarly, the samples with cubic infill pattern demonstrated high performance in edgewise compression tests as well. Evaluating the samples with a cubic pattern based on the damage types provided in Table 1, it is determined that compression damage occurs in the facesheet at 20% infill density, while core shear damage occurs at 30% and 40% densities. An increase in infill density leads to an increase in the material's Young's modulus (Farid et al., 2022). A decrease in the hollow structure ratio, thus increasing the bonding surface, has a significant effect on achieving this result. As the infill density increases, the bonding surface between the facesheet and core also increases. Consequently, at lower densities, the separation between the core and facesheet occurs at lower force values, resulting in compression damage to the facesheet. At higher infill densities, the increased bonding surface leads to a more evenly distributed load, resulting in core shear damage.

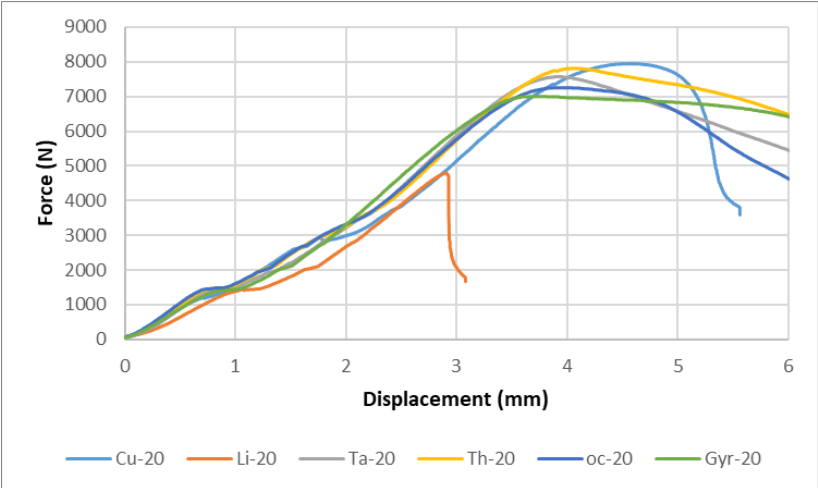


Figure 4. Force-displacement curves obtained from the samples with a 20% infill density

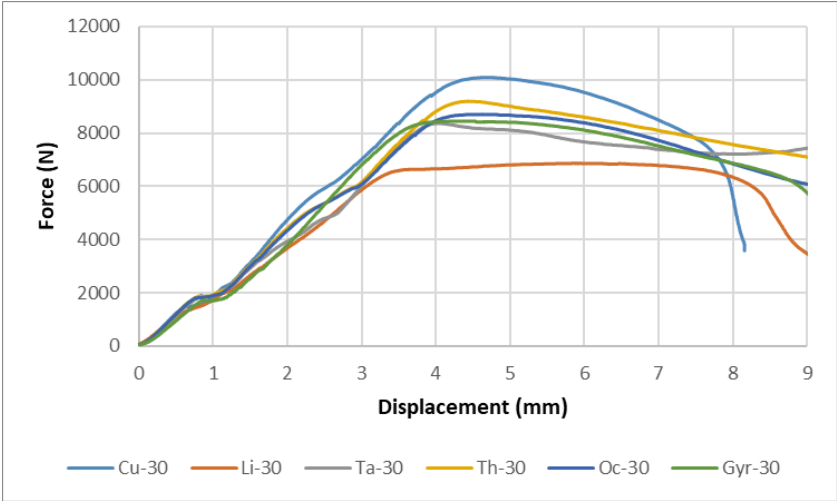
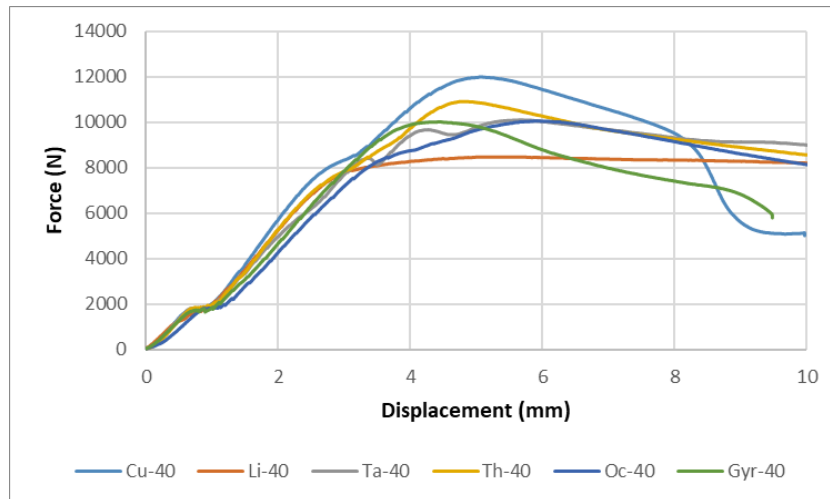


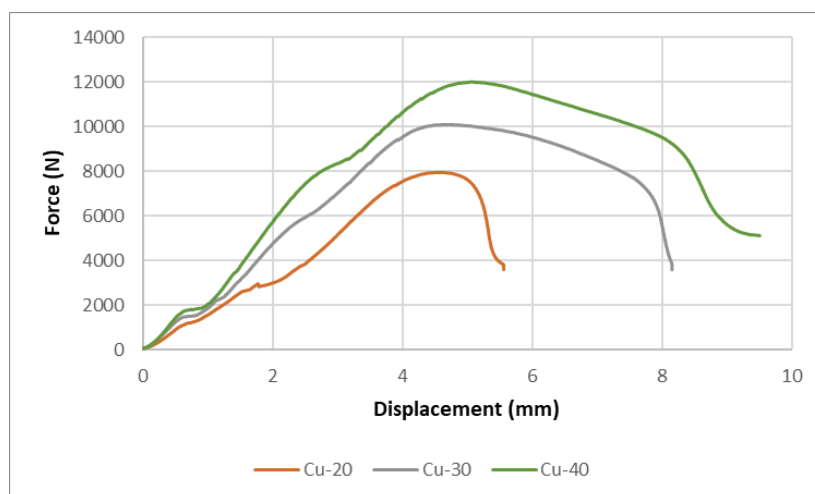
Figure 5. Force-displacement curves obtained from the samples with a 30% infill density



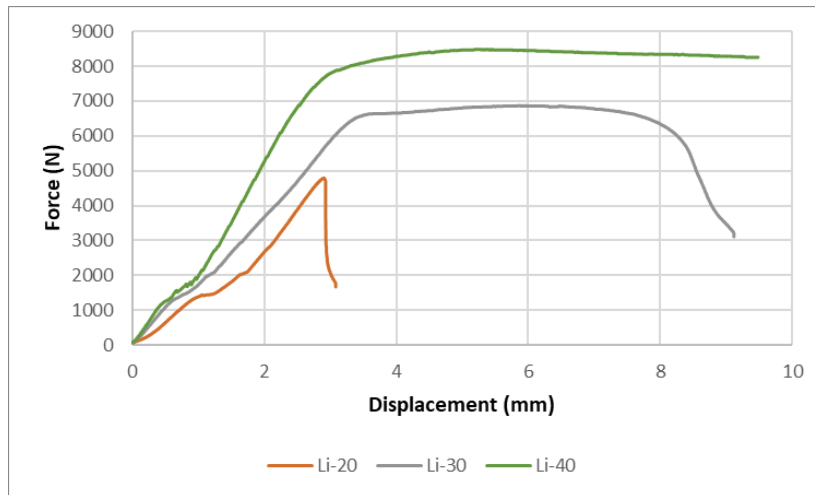


**Figure 6.** Force-displacement curves obtained from the samples with a 40% infill density

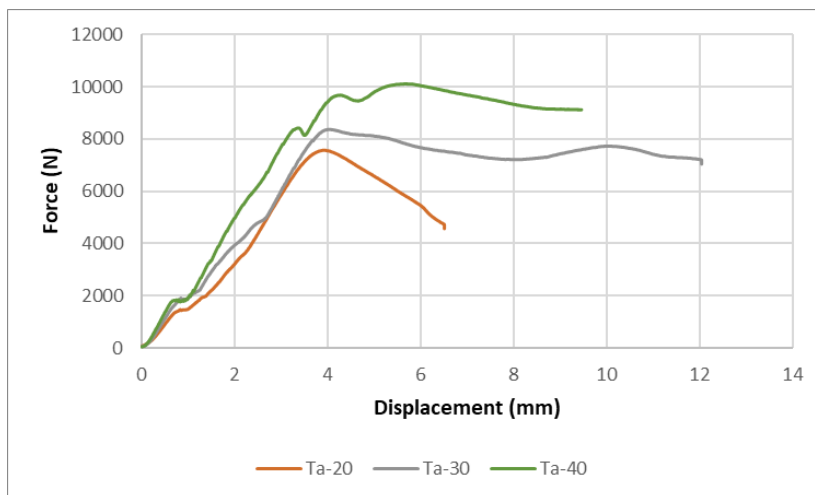
When examining the other infill patterns in terms of maximum load, it can be stated that the samples with Ta, Th, Oc, and Gyr patterns yield similar results. The sample with the Li infill pattern exhibits the lowest performance and has experienced a negative deviation. Analyzing the damage modes as indicated in Table 2, the sample with the Li pattern exhibits core compression damage at 20% and 30% densities, while facesheet buckling damage occurs at 40% density. These findings indicate that although the bonding between the core and facesheet is better, the Li pattern is weaker in terms of vertical loads. For the samples with tri-angular and tri-hexagonal patterns, facesheet compression damage occurs at all density levels, suggesting that these patterns have weaker bonding capabilities between the facesheet and core. In the case of samples with an octet pattern, core shear damage occurs at 20% and 30% infill densities, while facesheet buckling damage is observed at 40% density. These results demonstrate excellent bonding properties, to the extent that an increase in density leads to buckling damage. The sample with a gyroid pattern exhibits core compression damage at all density levels, indicating a strong bond between the core and facesheet. However, due to its pattern structure, the core section appears to be weak against vertical loads.



**Figure 7.** Force-displacement curves of the samples with a cubic infill pattern



**Figure 8.** Force-displacement curves of the samples with a line infill pattern



**Figure 9.** Force-displacement curves of the samples with a tri-angular infill pattern

Figures 7-12 illustrate the force-displacement graphs for all infill patterns at different densities. By examining these graphs, it is evident that the strength of the samples increases as the infill density increases. This conclusion can be inferred without the need for conducting tests. However, delving into numerical data, when considering the percentage increase in strength based on the maximum loads achieved as the range that corresponds to infill densities between (20% to 30%) and (30% to 40%), the sample with the Cu pattern shows an increase of 25% and 20% in strength, respectively, while the sample with the Li pattern exhibits an increase of 31% and 20%, respectively. According to these findings, the two sample types with the highest percentage increase in strength due to infill density are Cu and Li patterns. When considering the high strength exhibited by concentric and grid-type fillers (Mohammadreza et al., 2021), it would not be wrong to expect these types of specimens to show more positive differentials than density increase. The reason for the significant impact of density increase on these two samples lies at the low bonding areas in low infill densities. On the other hand, while the sample with a cubic pattern demonstrates the best performance, the sample with a line

pattern exhibits the lowest performance. This result indicates that the infill pattern is the most crucial parameter for determining the strength of the component under this type of loading condition.

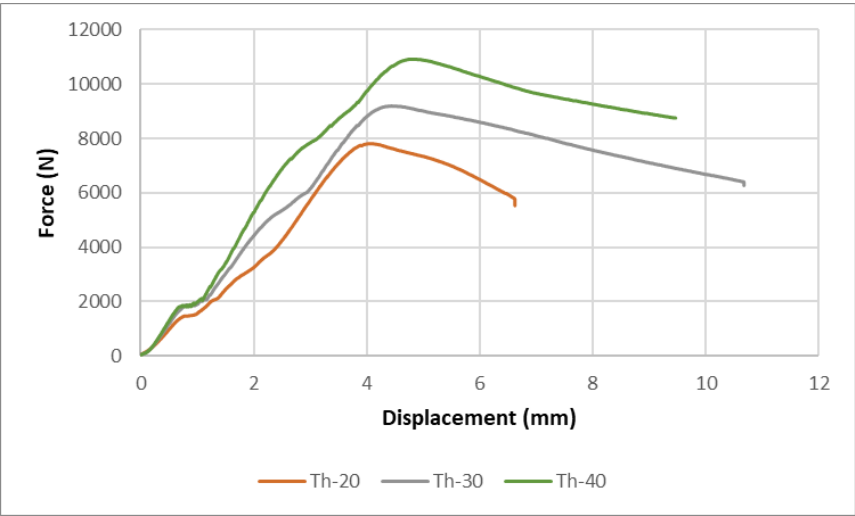


Figure 10. Force-displacement curves of the samples with a tri-hexagonal infill pattern

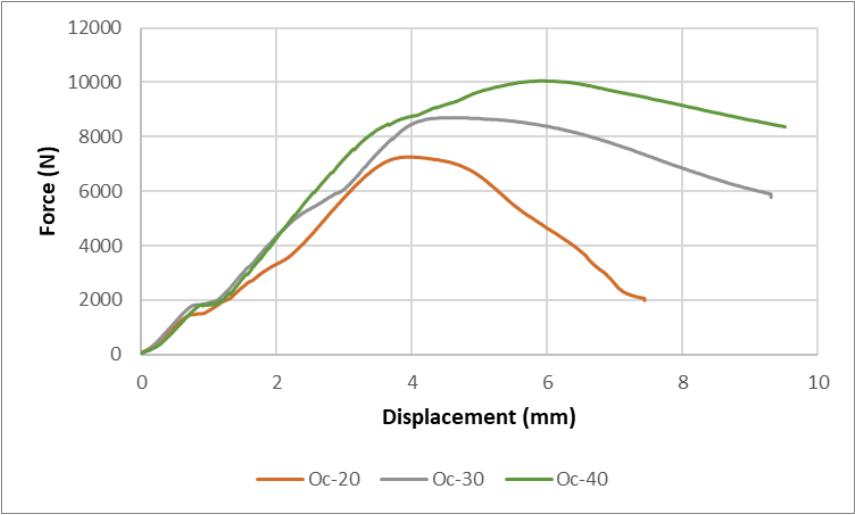
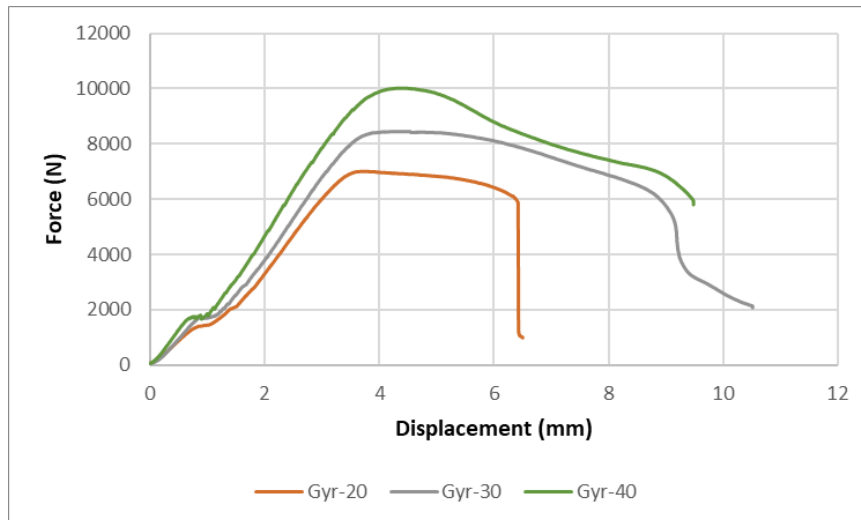


Figure 11. Force-displacement curves of the samples with an octet infill pattern



**Figure 12.** Force-displacement curves of the samples with a gyroid infill pattern

#### 4. Conclusion

In this study, the mechanical properties and damage behavior of sandwich structures fabricated using the FDM technique with different infill patterns and densities were investigated. The results obtained provide valuable insights and important conclusions regarding the performance of the structures. Based on the force-displacement graphs and analysis of damage modes, several significant findings can be summarized. The samples with a cubic infill pattern consistently exhibited higher strength compared to other patterns at all infill densities. This indicates the crucial role of the infill pattern in determining the strength of the components. Furthermore, as the infill density increased, the bonding between the facesheet and core improved, resulting in higher load-carrying capacity and a more balanced force distribution.

The Li infill pattern showed the lowest performance, indicating its weakness in terms of vertical loads. On the other hand, the samples with Ta, Th, Oc, and Gyr patterns yielded similar results, suggesting comparable performance in terms of maximum load capacity. The tri-angular and tri-hexagonal patterns exhibited facesheet compression damage at all densities, highlighting their weaker bonding capabilities between the facesheet and core. The octet pattern demonstrated excellent bonding properties, with core shear damage observed at lower densities and facesheet buckling damage occurring at higher densities. The gyroid pattern exhibited strong bonding between the core and facesheet, although the core section appeared to be weaker against vertical loads due to its pattern structure.

The analysis of force-displacement graphs for all infill patterns at different densities revealed a clear trend: Increasing the infill density led to higher strength in the samples. Notably, the Cu and Li patterns exhibited the highest percentage increase in strength as the infill density increased. This finding emphasizes the importance of infill pattern in achieving improved mechanical properties.

In conclusion, this study highlights the significant influence of infill pattern and density on the mechanical behavior and damage characteristics of sandwich structures fabricated through FDM. The results provide valuable insights for optimizing the design and manufacturing process of such structures, particularly in terms of achieving enhanced strength and understanding the failure modes. Further research can focus on exploring additional infill patterns and optimizing the infill density to further improve the performance of FDM-printed sandwich structures.

### **Conflict of Interests**

None declared

### **Researcher Contribution Statement**

The author declares that he has contributed 100% to the article.

### **References**

- Algarni M. The Influence of raster angle and moisture content on the mechanical properties of PLA parts produced by fused deposition modeling. *Polymers* 2021; 13(2): 237-249.
- Araújo H., Leite M., Ribeiro A., Deus AM., Reis L., Vaz MF. Investigating the contribution of geometry on the failure of cellular core structures obtained by additive manufacturing. *Frattura ed Integrità Strutturale* 2019; 13(49): 478-486.
- Baca Lopez DM., Ahmad R. Tensile mechanical behaviour of multi-polymer sandwich structures via fused deposition modelling. *Polymers* 2020; 12(3): 651-663.
- Bergan A. A numerical study on the edgewise compression strength of sandwich structures with facesheet-core disbonds. In: 58th AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, 2017, American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Chalgham A., Ehrmann A., Wickenkamp I. Mechanical properties of FDM printed PLA parts before and after thermal treatment. *Polymers* 2021; 13(8): 1239-1249.
- Chen RS. Effect of curing process on mechanical properties of honeycomb-core sandwich plates. *Composites Engineering* 1994; 4(4): 445-458.
- Dong H., Gao X., Wei M. Quality prediction of fused deposition molding parts based on improved deep belief network. *Computational Intelligence and Neuroscience* 2021; 2021: 1-14.
- Eryildiz M. Experimental investigation and simulation of 3D printed sandwich structures with novel core topologies under bending loads. *International Polymer Processing* 2023; 38: 277-289.
- Farid T., Debby S., Mia R., Suryani IO., Djamari DW., Budiman BA., Nandiyanto ABD. The influence of infill density and pattern on the mechanical and fracture behavior of 3D printed structure subjected to uniaxial tensile load. *Journal of Engineering Science and Technology* 2022; 17(5): 3254-3266.

- Gu D., Shi X., Poprawe R., Bourell DL., Setchi R., Zhu J. Material-structure-performance integrated laser-metal additive manufacturing. *Science* 2021; 372(6545): 932.
- Hsueh MH., Lai CJ., Liu KY., Chung CF., Wang SH., Pan CY., Huang WC., Hsieh CH., Zeng YS. Effects of printing temperature and filling percentage on the mechanical behavior of fused deposition molding technology components for 3D printing. *Polymers* 2021; 13(17): 2910-2924.
- Hua GJ., Fei WM., Liao ZS., Xie Y. Numerical assessment on edgewise compressive strength of heavy sandwich fiberboard. *Applied Mechanics and Materials* 2015; 724: 74-78.
- Kam M., İpekçi A., Şengül Ö. Investigation of the effect of FDM process parameters on mechanical properties of 3D printed PA12 samples using Taguchi method. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 2023; 36(1): 307-325.
- Ma Q., Rejab M., Kumar AP., Fu H., Kumar NM., Tang J. Effect of infill pattern, density and material type of 3D printed cubic structure under quasi-static loading. *The Journal of Mechanical Engineering Science* 2020; 235(19): 4254-4272.
- Mohamadreza LD., Mohd KAMA., Ahmad S., Ali Z., Saghi H., Mahdi B. Influence of infill patterns generated by CAD and FDM 3D printer on surface roughness and tensile strength properties. *Applied Science* 2021; 11: 7272-7289.
- Muthu Natarajan S., Senthil S., Narayanasamy P. Investigation of mechanical properties of FDM-processed acacia concinna-filled polylactic acid filament. *International Journal of Polymer Science* 2022; 2022: 1-8.
- Norris C. Short-column compressive strength of sandwich constructions as affected by the size of the cells of honeycomb-core materials, 1956, Forest Products Laboratory, Forest Service U. S. Department of Agriculture.
- Özen A., Abali BE., Völlmecke C., Gerstel J., Auhl D. Exploring the role of manufacturing parameters on microstructure and mechanical properties in fused deposition modeling (FDM) using PETG. *Applied Composite Materials* 2021; 28(6): 1799-1828.
- Ren J., Zhang Y., Zhao D., et al. Strong yet ductile nanolamellar high-entropy alloys by additive manufacturing. *Nature* 2022; 608(7921): 62-68.
- Rudrapati R., Sivaraj, Rajkumar S., Kumar K. Parametric study of fused deposition modelling process. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research* 2018; 5(6): 135-139.
- Samad WA., Warsame AA., Khan A. An experimental study on the edgewise compressive failure of paper honeycomb sandwich panels with respect to various aspect ratios. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2018; 346: 012040.
- Singh G., Mehta S., Saini A., Pabla BS. Advances in additive manufacturing techniques for bioprinting. *ECS Transactions* 2022; 107(1): 6273-6283.

- Solovei V., Oleksyshen VV. Investigation of the physical and mechanical properties of composite materials obtained using additive technologies. Proc NTUU “Igor Sikorsky KPI” Ser Chem Eng Ecol Resour Sav 2021; (1): 9-21.
- Subramaniyan M., Karuppan S., Kumar GPP., Peranandhan T., Praveen M. Investigation on flexural property of sandwich 3D printed PLA components - A Review. Mater Sci Forum 2022; 1075: 103-114.
- Venkata OY., Reddy S., Prasad M., Krishna J., Reddy K. Improving dimensional accuracy and surface finish of parts produced by FDM using RSM and genetic algorithm. Int J Sci Res Dev 2015; 3(3): 85-91
- Zagidullin RS., Zezin NI., Rodionov NV. Improving the quality of FDM 3D printing of UAV and aircraft parts and assemblies by parametric software changes. IOP Conf Ser Mater Sci Eng 2021; 1027(1): 012031.
- Zhang R., Jiang F., Xue L., Yu J. Review of additive manufacturing techniques for large-scale metal functionally graded materials. Crystals 2022 12(6): 858-881.

## İmipramin'in Mcf-7 Hücre Hattında Eag1 Potasyum Kanalları Üzerine Sitotoksik ve Elektrofizyolojik Etkileri

Barış UÇAR<sup>1\*</sup>, Ali AŞKIN<sup>2</sup>, Fatma SÖĞÜT<sup>3</sup>, Ülkü ÇÖMELEKOĞLU<sup>4</sup>, Hatice ORUÇ<sup>5</sup>, Ş. Necat YILMAZ<sup>6</sup>

<sup>1,2</sup>Mersin Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 33343, Mersin

<sup>3,4</sup>Mersin Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Bölümü, 33343, Mersin

<sup>5,6</sup>Mersin Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Histoloji ve Embriyoloji Bölümü, 33343, Mersin

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-2190-0131>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-6862-8430>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-1108-8947>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-8060-6333>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0002-1086-713X>

<sup>6</sup><https://orcid.org/0000-0003-1759-3052>

\*Sorumlu yazar: ikiletki@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 24.05.2023

Kabul tarihi: 18.09.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

İmipramin

Eag1 potasyum kanalı

Meme kanseri

MCF-7 hücre hattı

Elektrofizyoloji

Sitotoksiste

### ÖZ

Kanser hücrelerinde bazı iyon kanallarının aşırı eksprese edilmesi dikkat çekmektedir. Bu iyon kanallarından biri de Ether à-go-go 1 (KCNH1, Kv10.1) (Eag1 K<sup>+</sup>) kanalıdır. Bu çalışmada, bir trisiklik antidepresan olan imipramin'in MCF-7 hücre hattında farklı konsantrasyonları kullanılarak, Eag1 K<sup>+</sup> kanalları üzerindeki sitotoksik ve elektrofizyolojik etkileri incelenmiştir. Sitotoksik etkisi MTT analizi yöntemiyle incelenirken, elektrofizyolojik etkisi yama-kenetleme tekniği ile araştırılmıştır. MTT analizi yöntemiyle elde edilen sonuçta göre, imipramin'in MCF-7 hücreleri üzerinde kontrol grubuna göre 20 µM ve üzeri konsantrasyonlarının yaklaşık %85 oranında baskılayıcı etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Yama-kenetleme deneylerinde MCF-7 hücrelerine 2µM, 5µM ve 20µM imipramin uygulanarak Eag1 K<sup>+</sup> kanalları üzerine etkisi incelenmiştir. Düşük doz olan 2µM imipramin'in kontrol grubuna göre Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımları yaklaşık %75, yüksek doz olan 20µM imipraminin ise Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımlarını yaklaşık %82 oranında inhibe ettiği gösterilmiştir.

## Cytotoxic and Electrophysiological Effects of Imipramine on Eag1 Potassium Channels in The Mcf-7 Cell Line

### Research Article

#### Article History:

Received: 24.05.2023

Accepted: 18.09.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Imipramine

Eag1 potassium channel

Breast cancer

MCF-7 cell line

Electrophysiology

Cytotoxicity

### ABSTRACT

It is noteworthy that some ion channels are overexpressed in cancer cells. One of these ion channels is Ether à-go-go 1 (KCNH1, Kv10.1) (Eag1 K<sup>+</sup>) channel. In this study, the cytotoxic and electrophysiological effects of imipramine, a tricyclic antidepressant, on Eag1 K<sup>+</sup> channels were investigated by using different concentrations in the MCF-7 cell line. While its cytotoxic effect was investigated by MTT analysis method, the electrophysiological effect was investigated by patch-clamping technique. According to the result obtained from the MTT analysis method, it was determined that imipramine had an approximately 85% suppressive effect on MCF-7 cells at concentrations of 20 µM and above, compared to the control group. In patch-clamping experiments, the effects of 2µM, 5µM and 20µM imipramine on Eag1 K<sup>+</sup> channels were investigated in MCF-7 cells. It has been shown that low dose of 2µM imipramine inhibits Eag1



K<sup>+</sup> channel currents approximately 75% and the high dose of 20µM inhibits Eag1 K<sup>+</sup> channel currents approximately 82% compared to the control group.

---

**To Cite:** Uçar B., Aşkın A., Söğüt F., Çömelekoğlu Ü., Oruç H., Yılmaz ŞN. İmipramin'in Mcf-7 Hücre Hattında Eag1 Potasyum Kanalları Üzerine Sitotoksik ve Elektrofizyolojik Etkileri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(1): 263-275.

## 1. Giriş

Kanser, hücrelerin kontrolsüz çoğalması ve büyümesi sonucu ortaya çıkan bir hastalıktır ve metastaz yoluyla vücudun farklı doku ve organlarına yayılır. Tedavisi ve tanısında birçok uzmanlık dallarının iş birliği gerektirmektedir. Çok yaygın bir hastalık olan kanser dünya genelinde ikinci en büyük ölüm nedenidir. Dünya Sağlık örgütünün verilerine göre 2018 yılı içinde yaklaşık 9,6 milyon kişi bu hastalıktan yaşamını yitirmiştir. Kadınlarda en yaygın olarak meme, kolorektal, akciğer, servikal ve tiroid kanseri görüldüğü belirtilmektedir (URL 1).

Son zamanlarda yapılan bilimsel çalışmalarda kanserli hücrelerde bazı iyon kanallarının daha çok eksprese edildiği tespit edilmiştir (Stühmer ve ark., 2006). Özellikle meme kanseri hücrelerinde bol miktarda bu iyon kanalına rastlanmaktadır. Hücre zarında yer alan iyon kanalları, fizyolojik süreçlerde büyük bir öneme sahiptir ve iyon geçişlerini düzenlemektedir. Bu iyon kanalları, membran potansiyelindeki değişikliklere yanıt olarak iyonların kontrollü geçişini düzenleyen membran proteinleridir. Çoğu özel bir iyonu geçirmek için özelleşmiştir. Örnek olarak K<sup>+</sup> kanalları, K<sup>+</sup> ve Na<sup>+</sup> arasında seçim yaparak, K<sup>+</sup> 'nu geçirir. Tümör hücrelerinde voltaj kapılı iyon kanallarının varlığı, iyon kanalı araştırmalarının ilk yıllarından itibaren tespit edilmiştir. K<sup>+</sup> kanalları bunlardan biridir (Occhiodoro ve ark., 1998; Stühmer ve ark., 2006; Borowiec ve ark., 2007; Rodríguez-Rasgado ve ark., 2012; Wang ve ark., 2017). Voltaj kapılı K<sup>+</sup> kanalları (K<sub>v</sub>); düz kas kasılması, hücre hacmi ve hücre döngüsü evreleri kontrolü, kardiyak repolarizasyon ve tümör hücrelerinin proliferasyonu gibi çeşitli birçok fizyolojik süreçte yer alırlar (Nelson ve ark., 1990; Lang, 2007; Perrin ve ark., 2008; Blackiston ve ark., 2009; Asher ve ark., 2010). K<sub>v</sub> ailesi üyesi ether á go-go (Eag)- K<sup>+</sup> kanalları ilk defa 1969'da eter anestezisine tabi tutulan mutant *Drosophilamelanogaster*'de keşfedilmiştir (Kaplan ve Trout, 1969; Rodríguez-Rasgado ve ark., 2012). Bugüne kadar, 70'in üzerinde K<sub>v</sub> türü bilinmektedir, ancak bunlardan sadece birkaçı, hücre çoğalması ve tümör büyümesi ile doğrudan ilişkilendirilmiştir (Catterall ve ark., 2002; Stühmer ve ark., 2006). Eag 1 K<sup>+</sup> kanalları (Protein adı: Kv10.1, Gen adı: KCNH1, Bulunduğu lokus: 1q32) normal olarak beyinde, plasenta, testis ve adrenal bezde ve miyoblastlarda düşük seviyelerde ifade edilmektedir (Occhiodoro ve ark., 1998; Gutman ve ark., 2005; Wang ve ark., 2017). Fakat, çeşitli tümör hücrelerinde çok yüksek sıklıkta (>%70) anormal şekilde eksprese edilmektedir (Queiroz ve ark., 2006). Eag1 K<sup>+</sup> kanalları son zamanlarda kapsamlı bir şekilde araştırılmasına rağmen, tümör hücrelerinde ekspresyon mekanizması tam olarak anlaşılabilmiştir.

Eag1 K<sup>+</sup> kanalı normal dokularda sınırlı dağılımı ve kanser hücrelerinde yaygın dağılımı ve onkojenik özellikleri nedeniyle, tümör tanı ve teşhisi için birer faktör ve terapötik hedefler olarak

düşünülmektedir (Kaplan ve Trout, 1969). Bu özellikleri nedeni ile kanser tedavisinde ve tespitinde bilim insanlarının dikkatlerini bu kanallara çevirmesine neden olmuştur. Eag1 K<sup>+</sup> kanalı için kullanılan kanal blokerler, aktif olarak bölünen tümör hücrelerini baskılamaktadır (Pardo ve Stühmer, 2008). Kanal blokerlerine örnek olarak; bir trisiklik antidepresan olan imipramin ve bir antihistaminik olan astemizol verilebilir (Gavrilova-Ruch ve ark., 2002; García-Ferreiro ve ark., 2004). Ayrıca yine bazı K<sup>+</sup> kanal inhibitörleri (Dofetilid, Sotalol, 4-aminopiridin, Ubitilid vb.) Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımını engelleyici etkiye sahiptir. Bu inhibitörlerin Eag1 K<sup>+</sup> kanalı üzerinde etkisi, kanser için olası terapötik etken olarak düşünülebilir. Daha önce yapılmış bilimsel çalışmalarda da gösterildiği gibi, Eag1 K<sup>+</sup> kanalı ile transfekte edilen farelerde hücre proliferasyon artışı ve tümör oluşum davranışı gözlenirken, tümürlü dokularda bu kanalın blokerleriyle, hücre proliferasyonun yavaşladığı gösterilmiştir (Hemmerlein ve ark., 2006).

Günümüzde kanser çalışmalarının odağı haline gelmeye başlayan K<sub>v</sub> kanal ailesinin bir üyesi olan Eag1 K<sup>+</sup> kanalının en belirgin özelliği, sağlıklı hücrelerde kısıtlı, fakat pek çok tümör hücresinde yaygın olarak eksprese olmasıdır.

Çalışmamızda meme kanser hücre hattı olan MCF-7 üzerine imipramin maddesinin hücrede sitotoksik etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, bu hücre hattında Eag1 K<sup>+</sup> kanalları voltaj bağımlı oldukları için yama-kenetleme yöntemi ile kanal akımlarının kayıtları alınmıştır.

Elde edilen kayıtlarla bir antidepresan olan imipramin'in kanser hücre proliferasyonunu veya elektrofizyolojik olarak kanser hücre hattında Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımını engelleyip engellemediği incelenmiştir. Ek olarak, çalışmanın hedefi, literatürdeki boşlukları doldurarak daha önceki çalışmaların eksikliklerini tamamlamak ve araştırmacılara gelecekteki çalışmalarını planlama konusunda rehberlik etmektir. Bu sayede, elde edilen sonuçlar hem önceki çalışmalara katkıda bulunacak hem de ilerideki çalışmaların yolunu aydınlatacaktır.

## **2. Materyal ve Metot**

### *2.1. Hücre Kültürü*

Çalışmada MCF-7 meme kanseri hücre hattı (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Şap Enstitüsü, Hücre Kayıt No: 00092502) kullanılmıştır. MCF-7 hücrelerinin çoğaltılması ve pasajlanması Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi, Histoloji-Embriyoloji ABD hücre kültürü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Hücrelerin kültürü için %10 fetal sığır serumu (FBS, Gibco, 10082147), %2.5 L-glutamin (Thermo, 25030081), %1 amfoterisin (Thermo, 15290018), %1 penisilin+streptomisin (Thermo, 15140130) katkılı RPMI 1640 (Gibco, 52400-025) kullanılmıştır. Hücreler, besiyerleri 3 günde bir değiştirilerek, %5 CO<sub>2</sub> içeren 37 °C sıcaklıktaki nemli inkübatörde (Sanyo MCO18) kültüre edilmiş ve çoğaltılmıştır. Hücreler %70- %80 civarı konfluent olduğunda tripsin-EDTA solüsyonu (Lonza, 17-161E) ile kaldırılarak pasajlanmış ve yeterince hücre elde edilmiştir.

## 2.2. MTT Analizi

MTT analizinde imipramin'in (Sigma-Aldrich, USA) 1, 10, 20, 50, 100, 200 ve 400  $\mu\text{M}$  konsantrasyonları test edildi. 96 kuyucuklu platalere her bir konsantrasyon için  $n=4$  olacak şekilde kuyucuk başına  $1 \times 10^4$  hücre ekildi. Hücre ekiminden 24 saat sonra hücrelerin üzerindeki besiyer uzaklaştırılarak, yukarıda belirtilen konsantrasyonlarda imipramin içeren besiyer hücrelerin üzerine konuldu. Kontrol grubuna ilaç içermeyen besiyer uygulandı. Bu besiyerler 24 saat sonra uzaklaştırıldı ve her bir kuyucuğa 200  $\mu\text{L}$  katkılı besiyer ve 50  $\mu\text{L}$  5 mg/mL MTT içeren çözelti ilave edildi. Hücreler 37 °C sıcaklıkta 4 saat inkübe edildi. Daha sonra hücrelerin üzerindeki besiyer çekildi ve her bir kuyucuğa 200  $\mu\text{L}$  dimetil sülfoksit (DMSO) ve pH değeri 10,5 olan glisin tamponundan 50  $\mu\text{L}$  ilave edildi. Zaman kaybetmeden ELISA cihazında 570 nanometre (nm) dalga boyunda kuyuların optik absorbans değerleri ölçüldü. MTT analizi neticesinde öncelikle imipramin'in  $\text{IC}_{50}$  değerini tespit etmek için 1, 10, 20, 50, 100, 200 ve 400  $\mu\text{M}$  dozları ile edinilen sonuçlarla absorbans-imipramin konsantrasyon eğrisi oluşturuldu. Graphpad Prism 9 adlı yazılım kullanılarak, elde edilen eğri sigmoidal bir eğriye denkleştirildi ve  $\text{IC}_{50}$  değerleri hesaplandı.

## 2.3. Yama-kenetleme Uygulaması

Kanal akım kayıtları tüm hücre modunda alınmıştır. Alınan kayıtlarda iç çapı 0,84 mm, dış çapı 1,5 mm ve duvar kalınlığı ise 0,66 mm olan borasilikat cam pipetler kullanılmıştır. Pipetler programlanabilir, otomatik pipet çekici (Sutter Instruments, P97, USA) ile çekilerek hazırlanmıştır. Kayıt aşamasındaki pipetler içeriği, 150 mM KCl, 1 mM  $\text{MgCl}_2$ , 5 mM EGTA 10 mM HEPES (pH 7,3) olan pipet çözeltisi ile doldurulmuş ve kayıtlarda direnci 2-4  $\text{M}\Omega$  olan pipetler kullanılmıştır. Hücreler, 60 mm'lik petri kaplarına ekilmiş ve deney aşamasına kadar inkübatörde medyum içerisinde bekletilmiştir. Deneyden önce hücrelerin içinde bulunduğu medyum sıvısı, 135 mM NaCl, 5 mM KCl, 1 mM  $\text{CaCl}_2$ , 1 mM  $\text{MgCl}_2$ , 5 mM Glukoz, 10 mM HEPES (pH 7,3) içeriğine sahip olan banyo çözeltisi ile değiştirilmiştir.



Şekil 1. Yama-kenetleme kayıt düzeneği

Akım kayıtları için Multi Clamp 700 B amplifikatörü ve Digidata 1322A sayısal çevirici kullanılmış, elde edilen akım kayıtları Clampfit 10.3 yazılımı ile analiz edilmiştir (Axon Instruments, USA) (Şekil 1.). Kenetleme potansiyeli -40 mV ve başlangıç potansiyeli -120 mV olarak belirlendi. Voltaj kenetleme protokolü, 20 mV'lik adımlarla +120 mV'a kadar tamamlandı. Kayıtlarda 1-10 GΩ aralığındaki kenetleme dirençleri değerlendirmeye alındı. Deney grupları olarak imipramin uygulanmayan kontrol grubu ve MTT analizi sonucunda elde edilen IC<sub>50</sub> değerine yakın olacak şekilde seçilmiş 2µM (düşük), 5µM (orta) ve 20µM (yüksek) olan üç farklı konsantrasyon grubu seçilmiştir. Kanal akım kayıtları, içinde imipramin bulunan çözeltinin eklenmesinden sonraki 15. dakikada alınmıştır.

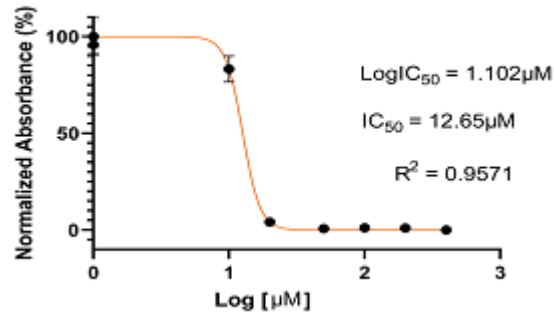
### 2.3. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analiz için IBM SPSS Statistics 25 programı kullanıldı. Verilerin normal dağılıp dağılmadığına bakıldı. Gruplar arasında farkın olup olmadığını saptamak için non parametrik Kruskal Wallis testi uygulandı. Bu test grupları arasında fark olduğu için non parametrik bir test olan ve ikili karşılaştırma yapan Mann-Whitney U testi uygulandı. Veriler istatistiksel olarak ortalama ± standart sapma ve ortalama ± standart hata olarak verilmiştir. İstatistiksel anlamlılık olarak p<0.05 alındı.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Sitotoksite Çalışmaları Sonuçları

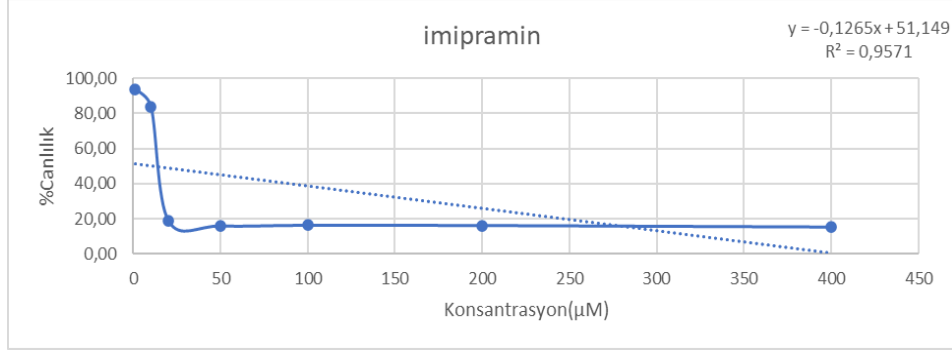
Bilimsel araştırmalar, kanser hücrelerinin sağlıklı hücelere kıyasla önemli ölçüde hızlı bir şekilde çoğalan hücreler olduğunu göstermektedir. Kanser hücrelerinin çoğalma hızını düşürme veya durdurma, günümüzde yapılan bilimsel çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Çalışmada imipramin'in MCF-7 hücre proliferasyonu üzerine etkileri araştırılmıştır.



Şekil 2. İmipraminin doz-yanıt eğrisi. Seçilen dozların logaritması alınmaktadır.

Yapılan MTT analizi sonucunda, imipramin'in IC<sub>50</sub> değeri 12,65 µM olarak hesaplandı (Şekil 2.). Daha sonra canlı hücre sayımı yapılarak, proliferasyonun engellenip engellenmediği tespit edildi (Şekil 3.). MTT analizleri sonucunda imipramin'in MCF-7 hücre proliferasyonunu anlamlı şekilde

baskıladığı gözlenmiştir. Bu durum, imipramin'in kanser hücrelerinin çoğalmasını baskılayabileceğini göstermektedir. Başka bir çalışmada, bu maddenin prostat kanseri gibi diğer başka kanser türlerinde de hücre proliferasyonunu baskılayıcı etkiye sahip olduğu gösterilmiştir (Söğüt ve ark., 2021).



**Şekil 3.** İmipramin'in hücre canlılığı üzerine etkisi. Grafikte hücre canlılığı değerlerinin ortalaması alınmıştır.

İmipramin'in 1 µM konsantrasyonu, MCF-7 hücreleri üzerine kontrol grubuna göre yaklaşık %6 oranında, 10 µM konsantrasyonu ise kontrol grubuna göre yaklaşık %16 baskılamıştır. 1 µM ve 10 µM konsantrasyonlarda oluşan bu baskılama, istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ( $p > 0.05$ ). Fakat, 20 µM ve üzeri konsantrasyonları yaklaşık %85 oranında baskılayıcı etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 1.). Bu etki istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p < 0.05$ )

**Tablo 1.** İmipramin'in farklı dozlarının hücre canlılığı üzerine etkisi

Konsantrasyon	% Canlılık
1 µM	93,825 ± 7,652
10 µM	83,540 ± 12,221
20 µM	18,648 ± 3,654*
50 µM	15,802 ± 2,102*
100 µM	16,174 ± 3,825*
200 µM	16,057 ± 1,607*
400 µM	15,215 ± 4,040*

MTT analizi verileri ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=5),  
 (\*) Kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı farkı ifade etmektedir ( $p < 0,05$ ).

DU-145 (Prostat kanseri hücre hattı) ile yapılan çalışmada 10, 50 ve 75 µM imipramin dozlarının hücre çoğalmasını azaltıcı etkiye sahip olduğunu, fakat bu etkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ortaya konulmuştur (Söğüt ve ark., 2021). Yine DU-145 hücreleri ile yapılan başka bir çalışmada düşük doz olan 1 µM imipramin'in anlamlı derecede proliferasyonu engellediğini belirlemişlerdir (Öztanrıverdi, 2019). Başka bir çalışmada, bu maddenin aynı dozları melanom hücrelerinin proliferasyonunu etkili bir şekilde inhibe ettiği gösterilmiştir (Gavrilova-Ruch ve ark., 2002). SK-OV-3 ovaryum kanser hücreleri üzerine yapılan başka bir çalışmada da imipramin'in 50 µM konsantrasyonunun kanser hücre proliferasyonunu inhibe ettiğini belirlemişlerdir (Asher ve ark., 2011). 10 µM imipramin konsantrasyonunun Burkitt Lenfoma tümör hücrelerinin boyutunu önemli ölçüde

azalttığı bildirilmiştir (Klingenberg ve ark., 2014). Diğer bir çalışmada akut miyeloid lösemide 0,15-0,075  $\mu\text{M}$  gibi düşük konsantrasyonlarda hücre ölümünde etkili olmuştur (Metts ve ark., 2017). Bu anlamda, bu çalışmadaki veriler, yapılan diğer çalışmalarla uyumludur. MCF-7 meme kanseri hücrelerinde 10  $\mu\text{M}$  astemizol konsantrasyonunda %89 oranında hücre proliferasyonunun inhibe ettiğini tespit etmişlerdir (Ouadid-Ahidouch ve ark., 2001). Fakat bu çalışmada, yaklaşık aynı oran hücre inhibisyonuna 20  $\mu\text{M}$  imipramin ile ulaşılmıştır.

Iyon kanallarının proliferasyonunda etkili olduğu bilinen mitojen uyarımlı protein sentezi, pH düzenlemesi, osmoregülasyon, hücre iskeleti yapınması, hücrel sekresyon, kalsiyum sinyalizasyonu üretimi gibi birçok farklı mekanizma bulunmaktadır. Fakat Eag1  $\text{K}^+$  kanallarının kanser hücre proliferasyonu ile olan ilişkisi tam olarak anlaşılammıştır. Imipramin, Eag1  $\text{K}^+$  kanallarının blokajı yoluyla tümör hücre proliferasyonunu inhibe etmek için birçok farklı çalışmada değerlendirilmiştir. Bu inhibisyonun, hücre döngüsü fazlarını etkilediği bilinmektedir. Diğer taraftan astemizol'ün hücre döngüsünün S fazını modüle ettiği bildirilmiştir (Borowiec ve ark., 2007).

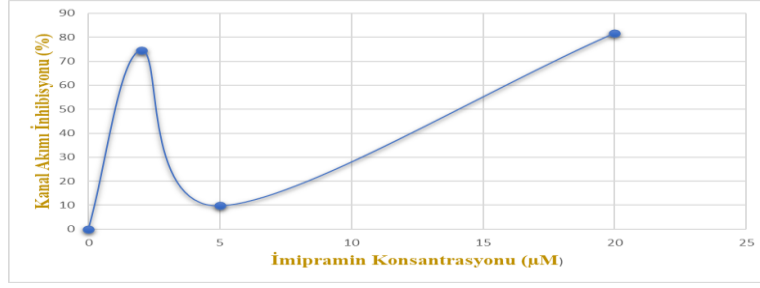
İmipramin de Eag ve Erg  $\text{K}^+$  kanal blokerleri gibi hücre döngüsünün bu fazlarını etkilemektedir. Bunun böyle olup olmadığını tespit edebilmek için daha fazla çalışma yapılmalıdır. Bu bulgular ışığında, bu çalışmada, imipramin kullanımının MCF-7 hücrelerinde görülen çoğalmanın inhibe edilmesinin Eag1  $\text{K}^+$  kanallarının engellenmesiyle gerçekleştiği ve ayrıca bu engellenmenin hücre döngüsünü düzenleyen proteinlerle ilişkili olabileceği ileri sürülebilir.

### *3.2. Yama-Kenetleme Çalışmalarında Elde Edilen Sonuçlar*

Yapılan araştırmalar, kanser hücrelerinin sağlıklı hücrelere kıyasla belirgin bir şekilde daha hızlı çoğalma yeteneğine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Prolifere olan kanser hücrelerinde de bazı iyon kanallarının daha çok eksprese edildiği görülmüştür (Stühmer ve ark., 2006). Eag1  $\text{K}^+$  kanalları, kanser hücrelerinde çok yüksek sıklıkta (>%70) anormal şekilde eksprese edilmektedir (Queiroz ve ark., 2006). Eag1  $\text{K}^+$  kanallarının akciğer kanseri, meme kanseri, kolon kanseri, medulla blastoma, kan kanseri, solid kanserler, lenf kanseri ve prostat kanseri gibi farklı kanser türünde fazla miktarda ifade edildiği ve bu kanserlerin çoğalmasını artırıcı bir rol oynadığı belirtilmektedir. Böylece  $\text{K}^+$  kanalları, kanser tedavisinde hedef olarak görülmesini sağlamıştır (Pardo ve ark., 1999; Li ve Xiong, 2011).

Eag1  $\text{K}^+$  kanalları, kanser hücrelerinde yoğun bir şekilde eksprese olması nedeniyle hücre proliferasyonunu artırıcı etkiye sahiptirler.  $\text{K}^+$  kanal akımları imipramin, astemizol gibi farmakolojik ajanlarla inhibe edildiği ve proliferasyonda azalmaya neden olduğu belirtilmektedir (García-Ferreiro ve ark., 2004). Bu nedenle, bu çalışmada yama-kenetleme deneylerinde hücre proliferasyonunun baskılanıp baskılanmadığını tespit etmek için imipramin adlı antidepresan kullanıldı.

Yama-kenetleme deneylerinde MCF-7 hücrelerine imipramin'in üç dozu olan 2, 5 ve 20  $\mu\text{M}$  uygulanarak, Eag1  $\text{K}^+$  kanal akımları inhibisyon yüzdeleri incelenmiştir (Şekil 4.).



**Şekil 4.** İmipramin'in Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımları üzerine etkisi. Grafikte kanal akımları inhibisyonu değerlerinin ortalaması alınmıştır.

5 µM imipramin kontrol grubuna göre Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımlarını %9,79 gibi düşük oranda inhibe ettiği gözlenirken, 20 µM imipramin'in, ise Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımlarını %81,60 gibi yüksek oranda baskılamıştır (p <0.05). Ancak bu azalma, istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (p > 0.05). İmipramin'in düşük konsantrasyonu olan 2 µM grubu ise, kontrol grubu değerlerine göre Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımlarını %74,49 inhibe ettiği belirlenmiştir. Bu inhibisyon, istatistiksel olarak anlamlıdır (p <0.05) (Tablo 2.).

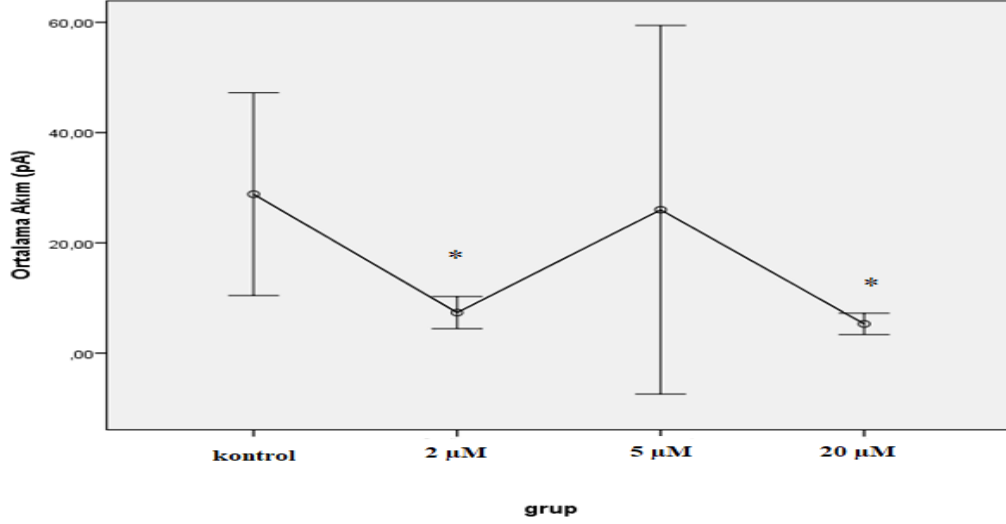
**Tablo 2.** İmipramin'in Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımları üzerine etkisi

imipramin Konsantrasyonu,	ortalama akım değerleri (pA) ± standart hata,	kanal akımı inhibisyonu %
Kontrol (n=5)	28,828 ± 9,193	0
2 µM (n=6)	7,3533 ± 1,458 *	74,49
5 µM (n=3)	26,007 ± 16,716	9,79
20 µM (n=8)	5,3038 ± 0,969 *	81,60

(\*) Kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı farkı ifade etmektedir (p<0,05). Veriler Ortalama ± standart hata olarak verilmiştir. Kanal akımı inhibisyonu kontrole göre % olarak verilmiştir.

Gruplar arası karşılaştırma yapıldığında, kontrol grubu ile 2 µM grubu değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir. Buna göre, 2 µM grubun akım değeri yaklaşık %75 oranında azalmıştır (p<0.05). Buna karşılık, 5 µM dozun akım değeri ortalama %10 oranında azalmıştır. Ancak bu dozdaki düşüş, istatistiksel olarak anlamlı değildir (p > 0.05). 20 µM grubun değerleri ile kontrol grubu verileri karşılaştırıldığında bu fark, istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p <0.05). Bu dozun akım değeri, kontrol grubuna göre yaklaşık %82 oranında azalmıştır (Tablo 2.).

İmipramin'in dozlar arası akım değerlerinin karşılaştırmasındaki farka bakıldığında, bu maddenin 2 ile 20 µM konsantrasyonlarının arasındaki akım değerlerinin farkı, önemli bulunmamaktadır (p > 0.05). Buna karşın, 5 ile 20 µM konsantrasyonlarının arasındaki fark, istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0.05) (Şekil 5.).



**Şekil 5.** Ortalama akım değerinin doza bağlı değişimi. (\*) kontrole göre farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir ( $p < 0.05$ ).

Bu çalışmaya uygun şekilde, 20 µM konsantrasyondaki imipramin'in Eag K<sup>+</sup> kanalını blokaj yoluyla hücre proliferasyonunu etkili bir şekilde inhibe ettiği ve 20 µM'dan daha yüksek konsantrasyonları apoptoza neden olduğu belirlenmiştir (Gavrilova-Ruch ve ark., 2002). Yine benzer şekilde, 25 µM imipramin dozunun doğrudan uygulanmasının, iç-dış yamalarda tam bir akım bastırmasına neden olduğu belirlenmiştir (García-Ferreiro ve ark., 2004).

Farklı bir çalışmada da nöroblastoma (N1E-115) hücrelerinde bulunan Eag1 K<sup>+</sup> kanallarında 10 µM imipramin konsantrasyonun K<sup>+</sup> akımlarını hemen hemen %40 oranında azalttığını göstermişlerdir (Ogata ve ark., 1989).

DU-145 üzerine yapılan çalışmada 10, 50 ve 75 µM imipramin dozlarının, Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımlarını anlamlı düzeyde azalttığını belirlemişlerdir (Söğüt ve ark., 2021). DU-145 hücrelerinde gerçekleştirilen başka bir çalışmada, 1 µM imipramin uygulamasının Eag1 kanal akımlarında %66'lık bir azalmaya neden olduğu belirlenmiştir (Öztanrıverdi, 2019). İnsan embriyonik böbrek hücrelerinde (HEK-293) yama-kenetleme tekniği kullanarak, Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımlarını 2 µM konsantrasyonda imipramin'in bloke ettiğine dair elektrofizyolojik kanıtlar sunmuşlardır (García-Ferreiro ve ark., 2004). Bu çalışmada da imipramin'in MCF-7 hücrelerinde bulunan Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımını yaklaşık %75 oranında inhibe ettiği görülmektedir.

İmipramin ile farklı çalışmalarda, farklı kanser hücrelerinin Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımlarını inhibe edici etkisi gösterilmiştir. Bu çalışma sonuçları da diğer çalışmalar ile uyumludur.

İmipramin'in farklı dozları kullanılarak, yapılan MTT analizi çalışmasında; İmipramin'in MCF-7 hücrelerinde sitotoksik bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Daha önce yapılan benzer çalışmalar, imipramin'in, bu etkiyi Eag1 K<sup>+</sup> kanalı inhibisyonu ile gerçekleştirdiğini göstermektedir. Bu düşünceden hareketle, yama-kenetleme yöntemi ile Eag1 K<sup>+</sup> kanallarının kanal akım inhibisyonu değerlendirilmiştir. MTT analizi sonuçlarına göre, imipramin'in 20 µM konsantrasyonu, kanser hücre canlılığını yaklaşık %81 oranında engellediği bulunmuştur. Yama-kenetleme deneyinde de 20 µM konsantrasyonun kontrole göre, kanal akımını yaklaşık %81 oranında inhibe ettiğini belirlemiştir.



Kanal akımı inhibisyonu, hücre proliferasyonundaki azalmanın göstergesi olarak gösterilebilir (García-Ferreiro ve ark., 2004). Bu sonuçlar, MCF-7 hücrelerinde bulunan Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımını inhibe eden imipramin'in meme kanserinde tedavi edici bir ilaç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

MTT testleri kullanılarak IC<sub>50</sub> değeri 12,65 µM olarak hesaplanmıştır. Yama-kenetleme deneyi sonuçlarında 2 µM konsantrasyonda da kanal akımı kontrole göre %74,49 inhibe olmuştur.

Bu tez çalışmasında elde edilen verilere göre imipramin'in Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımlarını inhibe ettiğini göstermektedir. İmipramin ile Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımlarında meydana gelen bu değişim, meme kanseri tedavisinde potansiyel bir ilaç adayı olabileceğini düşündürmektedir. Çalışmada Eag1 K<sup>+</sup> kanalı gen ekspresyonuna bakılmamış olması ve kanserli olmayan epitel dokuda kanal akımlarının kayıtlanamamış olması çalışmanın sınırlılıkları oluşturmaktadır. İleriki çalışmalar için bu etkilerin değerlendirilmesi hedeflenmektedir.

#### **4. Sonuçlar**

Çalışmamızda MTT analizi ve yama-kenetleme tekniği kullanılarak, imipramin'in MCF-7 hücreleri üzerine stotoksitesisi ve Eag1 K<sup>+</sup> kanalları inhibisyonu değerlendirilmiştir. İmipramin'in MCF-7 hücrelerini belli konsantrasyonlarda proliferasyonunu engellediği ve Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımını bloke ettiği belirlenmiştir. Bu bulgular ışığında, imipramin'in kadınlarda meme kanserinde tedavi edici veya mevcut tedavi yöntemlerinin etkinliğini artırma potansiyeline sahip bir ilaç olabileceğine ilişkin sonuçlar elde edilmiştir. İmipramin'in 20 µM ve üzeri dozları MCF-7 meme kanseri hücrelerini %81,36 oranında öldürücü etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. 2µM ve 20µM imipramin'in kontrole göre MCF-7 meme kanseri hücrelerinde Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımlarını yaklaşık %80 gibi yüksek oranda inhibe ettiği belirlenmiştir. İmipramin'in MCF-7 kanser hücreleri üzerinde öldürücü etkisinin kısmen kanal akım inhibisyonu ile gerçekleştiği söylenebilir. Yama-kenetleme deneyinde 20 µM imipramin konsantrasyonu, kanal akımını kontrole göre yaklaşık %80 oranında inhibe ederken, MTT analizinde de yine aynı konsantrasyonun yaklaşık %80 öldürücü etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

İmipramin'in 2 µM'lık bu düşük konsantrasyonun Eag1 K<sup>+</sup> kanal akımı inhibisyonu oluşturması, imipramin'in yan etkisini azaltma açısından önemli bir bulgudur. İmipramin ile uzun süre tedavi gören hastaların %20'sinde karaciğer anomalileri meydana geldiği bildirilmiştir. Ayrıca merkezi sinir sistemi ile ilgili yan etkilerde bildirilmiştir. Bunu yanı sıra, Eag K<sup>+</sup> kanal blokerleri, Erg K<sup>+</sup> kanalına da etki etmekte kalp rahatsızlığı riskini arttırmaktadır. Bu nedenle daha sonra yapılacak çalışmalarda, bu riskler de göz önüne alınarak, 2 µM'a yakın konsantrasyonların çalışılmasının, bu riskleri azaltması açısından avantaj olabileceği düşünülebilir.

İmipramin'in sadece meme kanseri için tedavi edici olmayabileceği, bunun yanında başka kanser türleri için de aynı etkileri gösterebileceği düşünülebilir. Kanser; meme kanseri, akciğer kanseri prostat kanseri gibi yüzden fazla tür ile genellenmektedir. Fakat tüm insanların DNA'larının birbirinden farklı olması, tüm kanser türlerinin farklı DNA'lara sahip olduğunu göstermektedir. Bu da

ortak bir tedavi yöntemini engelleyen en büyük etmendur. Nöroblastoma, meme, melanom, kolon, akciğer, servikal ve yumurtalık vb. kanser türlerinde Eag1 K<sup>+</sup> kanal protein ekspresyonu artmaktadır. Eag1 K<sup>+</sup> kanalının aşırı eksprese edilmesi, bu kanser türlerinin tedavisi için ortak bir hedef oluşmasına izin vermektedir. Bu çalışmada ve benzeri çalışmalarda, imipramin, astemizol, dofetilid, sotalol, 4-aminopiridin, ubitilid gibi maddelerin, bu kanalın bloke etmesinin, kanser hücrelerinin proliferasyonunu yavaşlattığı gösterilmiştir. Bu çalışmada olduğu gibi, Eag1 K<sup>+</sup> kanalının hedef olarak belirlenmesi, bazı kanser türleri için genel bir tedaviye imkân sağlayabilir. Bu durum, ortak bir kanser tedavisi için Eag1 K<sup>+</sup> kanalının önemli bir hedef olduğunu göstermektedir.

### **Teşekkür**

BAP (Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri) Birimi tarafından 2021-1-TP2-4276 numaralı proje ile desteklenmiştir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

### **Kaynakça**

- Asher V., Sowter H., Shaw R., Bali A., Kahn R. Eag and HERG potassium channels as novel therapeutic targets in cancer. *World Journal of Surgical Oncology* 2010; 8(113): 1-9.
- Asher V., Warren A., Shaw R., Sowter H., Bali A., Khan, R. The role of Eag and ERG channels in cell proliferation and apoptotic cell death in SK-OV-3 ovarian cancer cell line. *Cancer Cell International* 2011; 11(6): 1-7.
- Blackiston D., McLaughlin K., Levin, M. Bioelectric controls of cell proliferation: ion channels, membrane voltage and the cell cycle. *Cell Cycle* 2009; 8(21): 3527-3536.
- Borowicz A., Hague F., Harr N., Gue'Nin S., Guerineau F., Gouilleux F., Ouaıd-Ahıdouch H. IGF-1 activates hEAG KR channels through an akt-dependent signaling pathway in breast cancer cells: role in cell proliferation. *Journal of Cellular Physiology* 2007; 212(3): 690-701.
- Catterall, W., Chandy K., Gutman G. Introduction to the IUPHAR compendium of voltage-gated ion channels. *Pharmacological Reviews* 2005; 57(4): 385-385.
- García-Ferreiro R., Kerschensteiner D., Major F., Monje F., Stühmer W., Pardo L. Mechanism of block of hEag1 K<sup>+</sup> channels by imipramine and astemizole. *Journal of General Physiology* 2004; 124(4): 301-317.

- Gavrilova-Ruch O., Schönherr K., Gessner G., Schönherr R., Klapperstück T., Wohlrab W., Heinemann S. Effects of imipramine on ion channels and proliferation of igr1 melanoma cells. *The Journal of Membrane Biology* 2002; 188(2): 137–149.
- Gutman G., Chandy K., Grissmer S., Lazdunski M., Mckinnon D., Pardo L., Wang X. International union of pharmacology. LIII. nomenclature and molecular relationships of voltage-gated potassium channels. *Pharmacological Reviews* 2005; 57(4): 473-508.
- Hemmerlein B., Weseloh R., Queiroz F., Knötgen H., Sánchez A., Rubio M., Pardo L. Overexpression of Eag1 potassium channels in clinical tumours. *Molecular Cancer* 2006; 5(41): 1-13.
- Kaplan W., Trout W. The behavior of four neurological mutants of drosophila. *Genetics* 1969; 61(2): 399-409.
- Klingenberg M., Becker J., Eberth S., Kube D., Wilting J. The NADPH oxidase inhibitor imipramine-blue in the. *American Association for Cancer Research* 2014; 13(4): 833-841.
- Lang F. Mechanisms and significance of cell volume regulation. *Journal of the American College of Nutrition* 2007; 26(5): 613-623.
- Li M., Xiong ZG. Ion channels as targets for cancer therapy. *International Journal of Physiology, Pathophysiology and Pharmacology* 2011; 3(2): 156–166.
- Metts J., Bradley HL., Wang Z., Shah NP., Kapur R., Abiser JL., Bunting KD. Imipramine blue sensitively and selectively targets FLT3-ITD positive acute myeloid leukemia cells. *Scientific Reports* 2017; 7(1): 1-10.
- Nelson M., Patlak J., Worley J., Standen N. Calcium channels, potassium channels, and voltage dependence of arterial smooth muscle tone. *American Journal of Physiology-Cell Physiology* 1990; 259(28): 3-18.
- Occhiodoro T., Bernheim L., Liu JH., Bijlenga P., Sinnreich M., Bader C., Fischer-Lougheed, J. Cloning of a human ether-a-go-go potassium channel expressed in myoblasts at the onset of fusion. *FEBS Letters* 1998; 434(1-2): 177-812.
- Ogata N., Yoshii M., Narahashi T. Psychotropic drugs block voltage-gated ion channels in neuroblastoma cells. *Brain Research* 1989; 476(1): 140-144
- Ouadid-Ahidouch H., Bourhis X., Roudbaraki M., Toillon R., Delcourt P., Prevarskaya N. Changes in the K<sup>+</sup> current-density of MCF-7 cells during progression through the cell cycle: possible involvement of a h-ether.a-gogo K<sup>+</sup> channel. *Recept Channels* 2001; 7(5): 345-356.
- Öztañrıverdi O. Astemizol ve imipramin'in DU-145 prostat hücre hatlarına sitotoksik ve EAG1 kanalları üzerine elektrofizyolojik etkileri. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:1-57, Mersin, Türkiye, 2019.
- Pardo LA., Stühmer W. Eag1: An emerging oncological target. *Cancer Research* 2008; 68(6):1611-1613.
- Perrin M., Subbiah R., Vandenberg J., Hill A. Human ether-a-go-go related gene (hERG) K<sub>v</sub> channels: function. *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 2008; 98(2-3):137-148.

- Queiroz F., Suarez-Kurtz G., Stühmer W., Pardo, LA. Ether à go-go potassium channel expression in soft tissue sarcoma patients. *Molecular Cancer* 2006; 5(42): 1-10.
- Rodríguez-Rasgado JA., Acuña-Macía I., Camacho J. Eag1 channels as potential cancer biomarkers. *Sensors* 2012; 12(5): 5986–5995.
- Stühmer W., Alves F., Hartung F., Zientkowska M., Pardo AL. Potassium channels as tumour markers. *FEBS Letters* 2006; 580(12):2850-2852.
- Söğüt F., Çömelekoğlu Ü., Dervişoğlu H., Eroğlu P., Yalin S., Yılmaz N. Effect of imipramine on ether à-go-go potassium channel (Kv1.10) expression in DU145 prostate cancer cells. *Andrologia* 2021; 54(1):1-8.
- Wang X., Chen Y., Zhang Y., Guo S., Mo L., An H., Zhan Y. Eag1 Voltage-dependent potassium channels: structure, electrophysiological characteristics, and function in cancer. *The Journal of Membrane Biology* 2017; 250(2): 123-132
- URL 1: [https://www.who.int/health-topics/cancer#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/cancer#tab=tab_1). Cancer. (Erişim Tarihi 22 Aralık 2020; 12 22).

## Farklı Uygulama Seviyelerindeki Termik Santral Uçucu Külünün Buğday (*Triticum aestivum* L.) Bitki Gelişimi Parametreleri Üzerine Etkisi

Hilal AGAÇ<sup>1</sup>, Günnur ERDOĞAN<sup>2</sup>, F. Sevil YALÇIN<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, 17000, Çanakkale

<sup>2</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, 17000, Çanakkale

<sup>3</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Biyoloji Eğitimi, 17000, Çanakkale

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-8099-197X>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-6120-5761>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-0661-6431>

\*Sorumlu yazar e-posta: [sevilyalcin@comu.edu.tr](mailto:sevilyalcin@comu.edu.tr)

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 09.05.2023

Kabul tarihi: 28.09.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Çan Termik Santrali

Buğday

Uçucu kül

Çevresel etki

Çanakkale Çan Termik Santrali'nde kömür yakılması sonucu oluşan uçucu kül, bir katı atık olarak günümüzde ciddi bir çevre sorunudur. Uçucu kül, genellikle organik kirleticiler olan Se, As, B, V, Al, Pb, Hg, Cr gibi olası toksik metaller ve radyonüklidlerden Uranyum, Toryum içerdiğinden dünya çapında çevresel bir tehlike olarak kabul edilmektedir. Uçucu kül toksik maddeler içermesine rağmen oksitlerin ve eser elementlerin çoğunu da içermektedir. Oksitlerin varlığı alkali pH'a katkıda bulunurken eser elementler bitki büyümesi için besin sağlar, bu nedenle uçucu kül, fiziko-kimyasal ve biyolojik özellikleri iyileştirdiği için tarım sektöründe düşük konsantrasyonda ve toprak düzenleyici olarak kullanılabilirliği önerilmektedir. Bu çalışmayla birlikte farklı uçucu kül seviyelerinin buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisi üzerindeki etkisini belirlemek ve uygun uçucu kül uygulamalarını saptamak amaçlanmıştır. Çalışma, uçucu külün farklı uygulamalarının (Kontrol, %0,15, %0,3, %0,6 ve %1,2) toprağa karıştırılması ile tesadüf bloklar deneme desenine göre sera denemesi olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, uçucu külün daha düşük uygulamaları (%0,15, %0,3 ve %0,6) buğday bitkisinde çıkış oranı ve büyüme parametreleri olan bitki boyu ve kuru ağırlığını artırmıştır. Öte yandan, uçucu kül daha yüksek uygulamalarda (%1,2), olumsuz bir etki göstermiş ve buğday bitkisinin fide boyu, yaş ağırlık ve yaprak alanını azaltmıştır.

## Effect of Thermal Power Plant Fly Ash at Different Application Levels on Plant Growth Parameters of Wheat

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 09.05.2023

Accepted: 28.09.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Çan Thermal Power

Wheat

Fly ash

Environmental effects

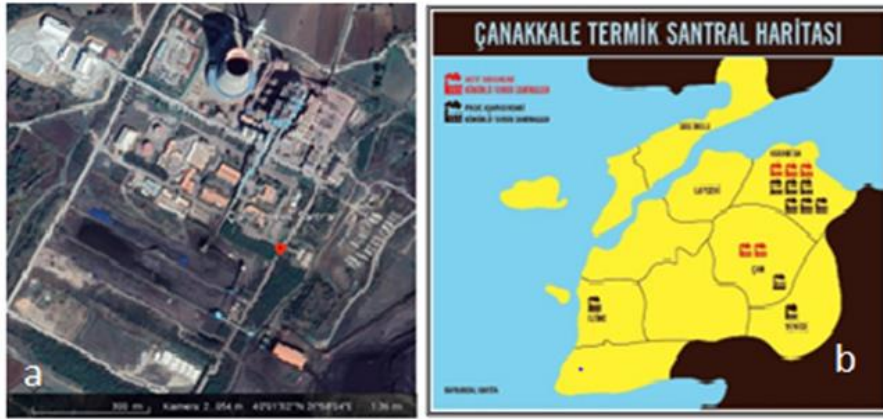
As a solid waste, fly ash produced by the combustion of coal at the Canakkale Can Thermal Power Plant is a severe environmental hazard today. Fly ash is regarded as a global environmental threat since it typically contains organic pollutants, potentially harmful metals including Se, As, B, V, Al, Pb, Hg, and Cr, as well as radioactive elements like Uranium and Thorium. Fly ash contains poisonous materials, but it also has the majority of oxides and trace elements. The present study aimed to investigate the impact of fly ash on various growth parameters of Gonen and Sagittario wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars, including plant emergence rate, seedling height, fresh and dry weight, and leaf area. The research was conducted as a greenhouse experiment using a random blocks experimental design. Various dosages of fly ash (Control, %0,15, %0,3, %0,6 and %1,2)

were mixed into the soil. The application of lower concentrations of fly ash (%0,15, %0,3 and %0,6) resulted in a significant improvement in the rate of plant emergence as well as growth parameters such as plant height and dry weight in wheat plants. In contrast, when administered at a higher dosage of %1,2, fly ash exhibited an adverse impact, resulting in a reduction in the height of seedlings, fresh weight, and leaf area of wheat plants

**To Cite:** Aaç H., Erdoğan G., Yalçın FS. Farklı Uygulama Seviyelerindeki Termik Santral Uucu Külünün Buğday (*Triticum aestivum* L.) Bitki Gelişimi Parametreleri zerine Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 276-293.

## 1. Giriş

Günümüzde ısı için yakılan ve bir fosil yakıt olan kömür dünyanın birincil enerjisinin yaklaşık dörtte birini ve elektriğinin beşte ikisini sağlamaktadır (IEA, 2020). Türkiye’de 2022 yılında elektrik üretiminin, %34,6’sı kömürden elde edilmiştir (ETKB, 2022). Türkiye’deki elektrik enerjisi üreten termik santrallerde yılda yaklaşık olarak üretilen 7 milyon ton linyit kömürünün yaklaşık %82’si kullanılmakta (TUİK, 2022) ve bunun sonucunda 24,4 milyon ton uçucu kül, atık olarak ekosisteme bırakılmaktadır (TUİK, 2020). Dünyada ve Türkiye’de büyük ölçekli endüstriyel faaliyetler, artan şehirleşme ve döngüsel ekonomiye doğru ilerleme nedeniyle elektrik talebindeki artış ve buna bağlı olarak termik santral sayılarının günümüzde ve gelecekte artması beklenen bir gerçektir. anakkale’de bugün 5 tane termik santral kömürle çalışır durumdadır. Bunlar; Bekirli Biga, Değirmencik Biga, Kara Biga Cenal, an (şekil 1a) ve an ODAş termik santralleridir. Önümüzdeki süreçte ise Çanakkale’de yaklaşık 17000-18000 MW gücünde 16 tane kömürlü termik santralin üretim yapması planlanmaktadır (şekil 1b). Buna paralel olarak Türkiye’nin toplam enerji üretiminin yaklaşık 90000 MW olduğu düşünülecek olursa, ülkemizdeki üretim yaklaşık beşte biri kadarlık enerji üretiminin Çanakkale’de yapıldığı ortaya çıkmaktadır (Parlak ve ark., 2022).



**şekil 1.a.** Google Earth uydu görüntüsünde an Termik santrali görünümü (Görüntü tarihi 21.03.2021 Kamera 2,054 m 40\*01\*32\*N26\*58\*04\*E 136 m) **b.** Çanakkale aktif ve yapılması planlanan termik santraller kavramsal haritası (TEMA, 2018)

anakkale ve Biga Yarımadası hem Türkiye hem de dünya çapında kömür madenciliği ve kömürlü termik santral tehdidinin en ciddi boyutlarda yaşandığı bölgelerden birisidir. Bu bölgede yer alan kömürlü termik santrallerden kaynaklanan salımlar, asit birikmesi (asit yağışları) ve ağır metal içeren

uçucu kül birikmesine neden olmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda bu birikme, yağmurların kirleticileri yıkaması ve dolayısıyla birikmenin çoğunluğu, kuzey ve kuzeydoğudan esen rüzgárlarla nemli hava kütlelerinin santrallerin kuzey ve güneyindeki tepe ve dağlarla karşılaşması ile olduğu rapor edilmiştir. Asit birikmesinin Biga, Çan ve Marmara kıyı kuşağını kapsayan alanda 20-80kg/hektar olacağı hesaplanmış ve yine en fazla etkilenen alanlarda uçucu kül birikiminin ise yaklaşık 10-20 kg/hektar olacağı öngörülmektedir (TEMA, 2018).

Bu süreçte Termik santral faaliyetleri ve bu faaliyetler sonucu oluşan atıkların sağlık, biyoçeşitlilik ve doğal ortam üzerine negatif etkilerinin olması kaçınılmazdır. Bu santrallerin faaliyetleri ile oluşan uçucu külün bertarafı, dünya çapında önemli bir çevre sorunu yaratmaktadır. Bu büyük miktardaki katı atığın hem bölgesel hem de küresel düzeyde yönetimi, bugünün ve geleceğin başlıca kaygısıdır. Uçucu kül, termik santralinde kömürün yakılması sonucu oluşan ince mineral bir atık ürün (Bhatt ve ark., 2019) olup element bileşimi (hem besleyici hem de toksik elementler), kullanılan kömürün türlerine ve kaynaklarına göre değişmektedir (Camberato ve ark., 1997). Uçucu kül çeşitli şekillerde yeniden değerlendirilebilmektedir. Uzun yıllardır çimento, kompozit bağlayıcılar ve betonda katma değerli mineral katkı maddesi olarak, ayrıca yol yapımında, maden ışlahında, mineral yün imalatında, metal geri kazanımında kullanılmaktadır (Ukwattage ve ark., 2013; Bhatt ve ark., 2019). Ancak potansiyel olarak yılda üretilen toplam kül miktarının yalnızca sınırlı bir kısmı geri dönüştürülebilmektedir. Bununla birlikte, büyük miktarlarda kül hala biriktirilmektedir. Uçucu külün birikmesi küresel bir çevre sorunudur çünkü; kül depolama sahalarında biriken çok miktardaki atık malzemenin tarım alanlarına, su kaynaklarına ve doğal çevreye karışması ve özellikle de kül partiküllerinin (rüzgarla taşınan) solunum sistemi yoluyla alınması vb. gibi nedenler, yerel halkın sağlığına zarar veren bir çevre kirliliği yaratmaktadır (Tang ve ark., 2022; Wyszowski ve ark., 2022). Uçucu kül genellikle potansiyel olarak tehlikeli ve zararlı ağır metaller, organik kirleticiler ve bazı radyonüklidler içermektedir. Kül sağılmasının bir sonucu olarak bunların su, toprak ve havadaki zehirli konsantrasyonları ekolojik sorunlara neden olabilir. Bu sorunlar arasında elektrik santrali çevresinde ekolojik olarak arazinin bozulması, kül dökümünün çevredeki su yollarına sızarak ve besin zincirine ilerleyerek yarattığı sağlık sorunları (insan ve hayvan solunumu için) ve tarımsal sorunlar (toprak, toprak mikroorganizmaları ve mahsuller üzerinde zararlı etki) şeklinde sıralanabilir (Delić ve ark., 2022). Termik santrallerde oluşan külü depolamak maliyetli olduğu için uçucu külü daha yüksek verimlilik ve karlılıkla kullanmak için yeni yöntemler geliştirmek önem arz etmektedir.. Uçucu kül, çevre kirletici olarak kabul edilir, ancak birçok temel bitki besinini içerdiiğinden toprağa uygun şekilde karıştırıldığında, toprak özelliklerini iyileştirerek tarım sektöründe alternatif bir yol olarak sunulabilir ve aynı zamanda güvenli bertaraf için çözüm sağlayabilmektedir. Uçucu külün tarımda iyileştirici veya gübre olarak kullanılabileceği bildirilmektedir (Rusănescu ve Rusănescu, 2023).

Tarımda toprak özelliklerini değiştirmek için uçucu külün kullanımı son yıllarda giderek önem kazanmaya başlamıştır. Toprağa uçucu kül eklenmesi, elektrik iletkenliğini, su tutma kapasitesini, organik karbon içeriğini, toprak gözenekliliğini geliştirerek ve bitki büyümesi için gerekli makro

elementler (P, Ca, Mg) ve temel eser elementleri (Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, B) kazandırmaktadır. Uçucu kül, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirmek için bir toprak düzenleyici olarak da çalışmaktadır. Uçucu kül As, Cd, Mo, Pb, Se ve Sb gibi potansiyel olarak zararlı eser elementler içermesine rağmen, Cu, Fe, Zn, Mn ve Mo gibi mineral bileşenleri de içerir ve dolayısıyla ikincil bir gübre kaynağı olarak işlev görebilmektedir. Tarımda, toprakta uçucu kül uygulaması, toprağın gelişmiş besin mevcudiyeti ve fizikokimyasal özellikleri nedeniyle mahsul üretimi ile ilgili cesaret verici sonuçlar göstermiştir (Ou ve ark., 2020; Varshney ve ark., 2022). Uçucu kül için her potansiyel uygulama üç ana avantajla sonuçlanır: birincisi, sıfır maliyetli bir hammadde kullanımı, ikincisi, doğal kaynakların korunması ve üçüncüsü, atıkların ortadan kaldırılmasıdır (Özgün ve Işık, 2021). Yapılan birçok araştırmada, uçucu külün toprağa ve ürün verimliliğine etkisi araştırılmıştır. Toprağı uçucu külle zenginleştirmek, bitkilerin büyümesini ve mısır, nohut, pirinç ve buğday gibi tahıl ürünlerinin verimini artırmıştır (Singh ve Sukul, 2019; Tripathi ve ark., 2020; Sahoo ve ark., 2021; Ou ve ark., 2022). Uçucu külde, bitkilerin büyümesi ve gelişimi için gerekli olan iz elementler yüksek konsantrasyonlarda bulunur, ancak uçucu külde biyolojik olarak toksik olabilecek B, Mo ve Se gibi elementlerin konsantrasyonları topraktaki seviyelerine göre büyük ölçüde artmaktadır (Kalra ve ark., 2003). Bu sorunları azaltmak için, fiziksel ya da kimyasal olarak değiştirilmiş uçucu kül gibi çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Kullanılan tekniklerden bir tanesi çeşitli organik katkı maddeleri ile birlikte uçucu kül kullanılarak toprağın toksik yapısının değiştirilmesine ilişkin çalışmalarda, bitki besin mevcudiyetini iyileştirdiği, toksik ağır metallerin emilimini azalttığı, tamponlanmış toprak pH'ı, artan organik madde içeriği, uyarılmış mikrobiyal aktivite, iyileştirilmiş toprak sağlığı ve bitki verimini artırdığı saptanmıştır (Pandey 2013). Bu durum sürdürülebilir tarımda güvenli ve verimli bir alternatif olarak kabul edilmektedir (Varshney ve ark., 2022). Yapılan çalışmalarda toprak ıslahında kullanılan kül, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliğindeki eksikliklerini düzenleyip toprak verimi üzerinde bazı olumlu etkiler sağlamaktadır (Ou ve ark., 2020; Varshney ve ark., 2022). Tüm bu sonuçlar doğrultusunda, yapılan bu çalışmada önemli bir çevre sorunu olan uçucu külün ülkemizde ve bölgemizde yaygın olarak üretimi yapılan buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisinin gelişimi üzerine olan etkilerinin ve uygun uçucu kül konsantrasyonunun saptanması, ayrıca atık yönetimi yaklaşımıyla sürdürülebilir tarım potansiyelinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## **2. Materyal ve Metot**

### *2.1. Uçucu Kül Temini ve Karakterizasyonu*

Uçucu kül örnekleri 320 MW kurulu gücü ile Türkiye'nin 56., Çanakkale'nin ise 5. büyük enerji santrali olan Çan Termik santralinden temin edilmiştir (Şekil 2 a-b). Uçucu kül örnekleri 0-15 cm derinlikten, sahayı karakterize edecek şekilde 5 farklı noktadan alınmıştır. Santralin linyit kömür ihtiyacı Çan linyitleri işletmesinden sağlanmaktadır. Çan Linyitleri %2,86 nem, %51,65 kül ve %6,33 kükürt içermektedir (Özgen, 2021).





**Şekil 2. a.** Google Earth uydu görüntüsünde Çan Termik santrali görünümü (Görüntü tarihi 21.03.2021 Kamera 1,439 m 40\*01'48\*N27\*01'12"E 165 m) **b.** Google Earth uydu görüntüsünde Çan Termik santrali kül boşaltma alanı görünümü (Görüntü tarihi 28.03.2021 Kamera:7,030 m)

Çalışmada kullanılan Çan Termik Santral uçucu külünün analizi Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma Merkezi'nde ICP-OES (İndüktif Eşleşmiş Plazma/Optik Emisyon Spektrometresi) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Külün içerdiği metal konsantrasyonu sırasıyla Al(156,1mg/Kg)>Fe(69,36mg/Kg)>Ni(49mg/Kg)>Zn(23,82mg/Kg)>Cr(10,38mg/Kg)>Cu(3,90mg/Kg)>Pb(3,59mg/Kg) Cd (0,08mg/Kg)>Mn (-0,34mg/Kg)Co (-0,93mg/Kg) ile kimyasal içerikleri; Na,(1277mg/Kg)> Ca (542,3 mg/Kg),>Mg(350,4 mg/Kg)> P (308,2 mg/Kg)>K(166,7 mg/Kg)>B (2,03 mg/Kg) , pH aralığı 8,10 ve tuzluluk 1,6 (g/lt) olarak tespit edilmiştir..

## 2.2. Kullanılan Toprak Özellikleri

Yetiştirme ortamı olarak kullanılan toprak, pH 0,5-6,7, tuzluluk (EC) 1(g/lt), organik madde(%2,98), K(%0.25), Ca(%0.45),P (%0.03),Mg(%0.04),N(%0,17),S (%0.008),Zn (%0.0017),Mg(%0.045),Na (0.065), Al (%0.0043),Fe (%0.0121),Mn (%0.0212), Co (%0.0001),Cd (%0.00001), Pb (%0.0003) ,Ni (%0.0003),Cr(%0.00003) şeklinde fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir.

## 2.3. Bitki Materyali

Çalışmada deneme bitkisi olarak Balıkesir Ticaret ve Sanayi Borsası'ndan temin edilen Gönen-98 ve Sagittario buğday çeşitlerine ait tohumlar kullanılmıştır. Çalışmada, bu buğday çeşitleri, dekara dane veriminin ve un kalitesinin yüksek olması sebebiyle üretici tarafından tercih edildiği için Biga ve Çanakkale bölgesinde yaygın olarak yetiştiriliyor olması sebebiyle seçilmiştir. Bu buğday çeşitlerin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Gönen-98: İzmir'deki Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü (ETAE) tarafından tescil edilmiş ekmeklik buğday çeşididir. Başakları kılçıklı ve beyazdır. Bin tane ağırlığı 36 ila 39 gramdır ve soğuğa ve kurağa hassastır. Sürme, راستیға ve sarı pasa karşı dayanıklıdır (Doğan ve ark.,2014).

Sagittario : (2008). talya orijinli ekmeklik bir çeşit olup, Tasaco Tarım tarafından tescil edilmiştir. Başak yapısı kılçıklı, başak rengi beyazdır. Bin dane ağırlığı 40-45 gramdır.Harman olma kabiliyeti iyidir. Sapı sağlamdır, yatmaz sulanan alanlarda performansı yüksektir (Tunçel ve Yılmaz,2008).

#### 2.4. M1 Sera Denemesi

Sera koşullarında yürütülen bu çalışmada, 5 farklı uçucu kül uygulamaları (0, % 0,15, %0,3,%0,6 ve % 1,2) hazırlanmıştır. Hazırlanan uçucu kül uygulamaları kontrol (T1),%0,15(T2), %0,3(T3),%0,6 (T4) ve % 1,2(T5), 3 kg toprak alan plastik deneme sandıklarında (27 x 41 x 8 cm) deney toprağı ile homojen şekilde karıştırılmıştır. Deneme 3 tekrarlı tesadüf bloklar deneme desenine göre yürütülmüştür.

Her iki buğday çeşidine ait 500'er adet tohum, toprak ve kül karışımı ile doldurulmuş toplam 15 adet plastik kaplara 3 cm derinliğine ekilmiş ve 1000 ml distile su ile sulanmıştır. Bitkiler kontrollü koşullarda 20 gün boyunca  $22\pm 1^{\circ}\text{C}$  ve 16 saat ışıklı/8 saat karanlık foto periyod ile yetiştirilmiştir.

Denemenin 8. gününde bitki çıkış oranı hesaplanmıştır. Yirmi gün sonunda fide boyu (cm), yaprak alanı ( $\text{cm}^2$ ) ve yaş ve kuru ağırlıkları (g) yöntem ve formüller ile ölçülmüş ve hesaplanmıştır. Çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Eğitim Fakültesi Biyoloji laboratuvarında yürütülmüştür.

Çıkış oranı (%): Deneme sandıklarına ekilen tohumlardan çıkışlar, ekim yapıldıktan 8 gün sonra sayılmaya başlanmıştır. Çıkan tohumların ekilen toplam tohum sayısına oranlanmasıyla çıkış oranı (%) belirlenmiştir (Sakin, 1998).

Fide boyu (cm): İlk gerçek yaprak büyümesi durduğunda fide boyu hasat edilen fidelerin toprak yüzeyinden fidenin ucuna kadar olan uzunluğun ölçülmesiyle saptanmıştır (Sakin, 1998).

Bayrak yaprak alanı ( $\text{cm}^2$ ) Bayrak yaprak alanı = Uzunluk x Maksimum genişlik x 0,835 (Akten, 1998).

Fide kuru ağırlığı: Yaş ağırlığı saptanan fideler daha sonra  $72^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde 72 saat bekletilip kurutulduktan sonra hassas terazide tartılarak fide kuru ağırlığı belirlenmiştir (Pour ve ark., 2021).

#### 2.5. İstatistiksel Analiz

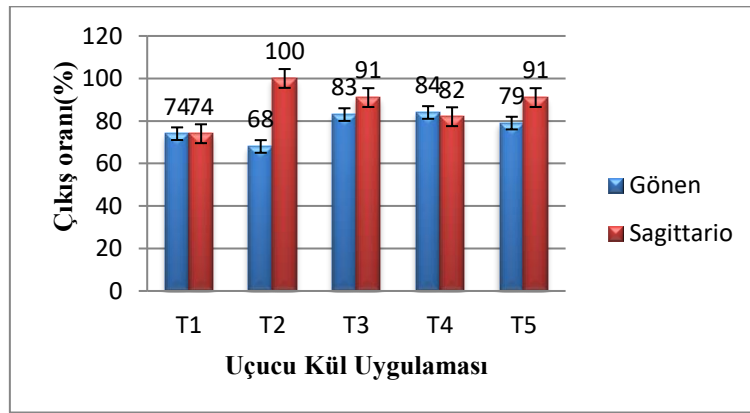
Araştırmada incelenen özelliklere ilişkin sonuçların varyans analizleri yapılarak, uygulamalar arasındaki farklılıkların önemlilik düzeyleri LSD (Least Significant Difference) testine göre ( $p < 0.05$  ve  $p < 0.01$  seviyelerinde) belirlenmiştir. Sonuçlar tablo ve şekillerde standart sapma olarak verilmiştir.

### 3. Bulgular

Gönen ve Sagittario çeşitlerinin tohumlarının farklı uçucu kül uygulamaları ile karıştıran toprakta çıkış ortalamaları Tablo 1'de ve Şekil 3'te verilmiştir.

**Tablo 1.** Farklı uçucu kül ve toprak karışımı uygulamalarının buğday çeşitlerinin tohum çıkış oranı üzerine etkisi

	Uygulama	Çeşit		Ortalama
		Gönen	Sagittario	
Tohum Çıkış Oranı (%)	T1	74	74	74
	T2	68	100	84±22,62
	T3	83	91	87±5,65
	T4	84	82	83±1,41
	T5	79	91	85±8,48
Ortalama		77,6± 6,65	87,6±9,91	



**Şekil 3.** Farklı uçucu kül uygulamalarının iki farklı buğday çeşidi tohumunun çıkış oranı üzerine etkisi (8.gün)

Gönen çeşidinde kontrole (%74) göre çıkış oranı T3 (%83) ve T4 (%84) uygulamalarında daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Sagittario çeşidinde ise; kontrole (%74) göre çıkış oranlarının tüm uçucu kül uygulamalarında yüksek olduğu ancak T2 (%100) uygulamasında en yüksek değere ulaştığı saptanmıştır.

Uçucu kül uygulamalarının, fide yüksekliği üzerine etkisini belirlemek amacıyla T1, T2, T3, T4 ve T5 uçucu kül ve toprak karışımına ekilen her iki buğday çeşidine ait 500 adet tohumdan yetiştirilen fidelerin boyları ölçülmüş ve veriler Tablo 2`de verilmiştir.

Fide boyları incelendiğinde, Gönen çeşidinde; kontrole (20,97±5,067cm) göre T2 (22,15±4,49cm), T3 (22,44±4,375cm) ve T4 (23,79±4,687cm) kül uygulamalarında fide boylarında artış olduğu ancak T5 (21,33±4,078cm) de azalma olduğu belirlenmiştir ( $p<0,05$ ).

Sagittario çeşidinde ise, kontrole (19,98±4,94cm) göre, T2 (22,45±5,17cm), T3 (23,50±5,22) T4(22,80±4,73cm) ve T5 (21,93±4,79cm) kül uygulamalarının hepsinde fide boylarında artış olduğu saptanmıştır ( $p<0,05$ ).

Her iki buğday çeşidi, üzerine farklı uçucu kül uygulamalarının bayrak yaprak ayası alanı üzerine etkisi Tablo 2` de verilmiştir.

Farklı uçucu kül uygulamalarının Gönen buğday çeşidinin yaprak alanında kontrole (2,083 cm<sup>2</sup>) göre T2 (1,650 cm<sup>2</sup>), T3(1,586 cm<sup>2</sup>), T4 (1,702 cm<sup>2</sup>) ve T5 (1,278 cm<sup>2</sup>) uygulamalarında azaltıcı bir etkisinin olduğu bulunmuştur (p<0,01).

Sagittario çeşidinde ise, kontrole (1,998 cm<sup>2</sup>) göre sadece T2 (2,334 cm<sup>2</sup>) uçucu kül uygulama grubunda artış olurken diğer uygulama gruplarında T3 (1,845 cm<sup>2</sup>), T4 (1,434 cm<sup>2</sup>), T5 (1,526 cm<sup>2</sup>) düşüş olduğu saptanmıştır (p<0,01).

Buğday bitkisinin her iki çeşidi tohumlarının ekildiği farklı uçucu kül ve toprak karışımında yetişen fidelerin yaş ve kuru ağırlıklarında meydana gelen değişimler Tablo 2'de verilmiştir.

İncelenen Gönen ve Sagittario çeşitlerinde yaş fide ağırlıklarının, kontrole göre her uygulama grubunda azaldığı görülmüştür. Çeşit grupları ortalamaları arasındaki farkların önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0,05). Gönen soya çeşidinde kuru ağırlıkların, kontrole göre her uçucu kül uygulama grubunda arttığı saptanmıştır. Bu artış özellikle kontrole göre (0,017±0,06 mg/bitki) en fazla T3 (0,019±0,004 mg/bitki), T4 (0,019±0,005mg/bitki), T5 (0,019±0,004mg/bitki) uygulamalarında gözlenirken en düşük kuru ağırlık T2 (0,018±0,004 mg/bitki) uygulamasında tespit edilmiştir (p<0,05). Sagittario çeşidinde ise kuru ağırlığın, bütün uygulamalarda kontrole göre arttığı bulunmuştur. Bu artış özellikle kontrole göre (0,014±0,005mg/bitki) en fazla T3 (0,02±0,004mg/bitki) uygulamasında gözlenmiştir. Diğer uygulamalarda kuru ağırlık artışı sırasıyla T2(0,019±0,005mg/bitki), T4 (0,019±0,005mg/bitki) ve T5 (0,018±0,006mg/bitki) şeklindedir (p<0,05).

**Tablo 2.** Farklı uçucu kül ve toprak karışımı uygulamalarının buğday çeşitlerinin fide boyu, bayrak yaprak alan, yaş ve kuru ağırlıkları üzerine etkisi

Buğday çeşidi	Uygulama	Fide boyu(cm)	Yaprak alanı (cm <sup>2</sup> )	Yaş ağırlık(g/bitki)	Kuru ağırlık(g/bitki)
<b>Gönen</b>	T1	20,97 <sup>b</sup> ±5,06	2,08 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup> ±0,05	0,017 <sup>ab</sup> ±0,006
	T2	22,15 <sup>ab</sup> ±4,49	1,65 <sup>ab</sup>	0,067 <sup>b</sup> ±0,02	0,018 <sup>ab</sup> ±0,004
	T3	22,44 <sup>ab</sup> ±4,37	1,58 <sup>b</sup>	0,062 <sup>b</sup> ±0,02	0,019 <sup>a</sup> ±0,004
	T4	23,79 <sup>a</sup> ±4,68	1,70 <sup>ab</sup>	0,066 <sup>b</sup> ±0,02	0,019 <sup>a</sup> ±0,005
	T5	21,33 <sup>ab</sup> ±4,07	1,27 <sup>b</sup>	0,051 <sup>c</sup> ±0,02	0,019 <sup>b</sup> ±0,004
<b>Sagittario</b>	T1	19,98 <sup>b</sup> ±4,94			
	T2	22,45 <sup>a</sup> ±5,17	1,99 <sup>ab</sup>	0,123 <sup>a</sup> ±0,04	0,014 <sup>b</sup> ±0,005
	T3	23,50 <sup>a</sup> ±5,22	2,33 <sup>a</sup>	0,082 <sup>b</sup> ±0,007	0,019 <sup>a</sup> ±0,005
	T4	22,80 <sup>a</sup> ±4,73	1,84 <sup>bc</sup>	0,068 <sup>c</sup> ±0,02	0,02 <sup>a</sup> ±0,004
	T5	21,9 <sup>ab</sup> ±4,79	1,43 <sup>c</sup>	0,061 <sup>c</sup> ±0,02	0,019 <sup>a</sup> ±0,005
		<b>2,42</b>	1,52 <sup>c</sup>	0,058 <sup>c</sup> ±0,03	0,018 <sup>ab</sup> ±0,06
			<b>0,45</b>	<b>0,01</b>	<b>0,003</b>

**LSD**

Not: Harf grupları, kontrol ve uygulama grupları ile fide yüksekliği, yaş ve kuru ağırlık ortalamaları açısından LSD çoklu testine göre Gönen ve Sagittario çeşidi için 0,05 ve yaprak alanını için 0,01 seviyesinde önemli farklılık olduğunu göstermektedir. ± Standart sapma

#### 4. Tartışma

Uçucu kül pH değeri, düşük kütle yoğunluğu, elektrik iletkenliği, kil ve silt parçacıkları, yüksek su tutma kapasitesi ve temel besin kaynağı dahil olmak üzere değişen fizikokimyasal özellikleriyle tarım, ormancılık ve çorak arazi iyileştirmede mükemmel bir toprak iyileştiricisi olarak rol oynamaktadır (Masto ve ark., 2014). Yapılan araştırmalar atık bertaraf sorununda, çevresel ve tarımsal olarak toprak iyileştirmede veya ucuz bir gübre olarak uçucu külden yararlanılabileceğini ortaya koymuştur (Panda ve ark., 2018; Rajakumar ve Patil, 2019; Münir ve ark., 2020; Ou ve ark., 2020).

Tohum çimlenmesi, tohumun hidrasyonu ile başlar ve tohum kabuğundan embriyonik eksenin (genellikle radikal) ortaya çıkmasıyla sonuçlanır. Uçucu kül katkılı toprak, su tutma kapasitesini ve havalandırmayı artırarak tohumun çimlenme yüzdesini artırır. Bu çalışmanın sonuçlarına bakıldığında, buğday bitkisi yetiştirmek için kullanılan topraklara uçucu kül ilave edildiğinde, kontrol bitkisine göre tüm tohumlarda çıkış oranlarının arttığı saptanmıştır. Bu artışın Gönen çeşidi için T3 ve T4 uygulamalarında; Sagittario çeşidinde ise T2 uygulamasında en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. Benzer sonuçlar Kumar ve Pandey (2022) tarafından da rapor edilmiştir.

Farklı bir çalışmada Kumar ve Kumar (2021), toprağa uygulanan düşük konsantrasyonda uçucu kül (25 g/m<sup>2</sup>) uygulamasının, börülce tohumlarının çimlenme yüzdesini artırdığını ancak yüksek konsantrasyonlarda uçucu külün (50 ve 100 g/m<sup>2</sup>) kontrole kıyasla tohum çimlenme yüzdesinde azalmaya neden olduğunu saptamışlardır. Birçok tartışmalara yol açmasına rağmen, Çevre Koruma Ajansı (EPA) kömür külünün gübre olarak kullanılmasının güvenli olduğu düşüncesini savunmaktadır (Apps, 2023). Kömür uçucu kül uygulamaları bazı bitkilerin büyümesi ve mineral alımı üzerindeki olumlu etkisine bağlı olarak bitkinin çimlenme ve üretkenliği üzerinde potansiyel bir fayda yaratmaktadır (Bilski ve ark., 2011). Bazı durumlarda, tohum çimlenmesi yüzdesindeki azalma, uçucu kül konsantrasyonundaki artışın sonucu olabilir. Yonca (*Medicago sativa* L.) ile yapılan bir saksı denemesinde, toprağa yüksek oranda uçucu kül eklenmesi nedeniyle bitki çimlenme yüzdesinde bir azalma olduğu rapor edilmiştir. Bunun nedeni olarak toprağa aşırı uçucu kül eklenmesinin, ağır metaller ve diğer zararlı maddelerde bir artışa yol açmasından dolayı olduğu öne sürülmüştür (Du ve ark., 2020). Uçucu kül K, Ca, Mg, Fe, Zn, B, Mo ve S gibi büyüme için gerekli birçok elementleri içerdiğinden, toprağa düşük uygulama oranlarında tohum çimlenmesini tetikleyebilir. Ancak daha yüksek uygulama oranlarında uçucu külden bulunan Cu, Co, Ni, Se, Al, Cr vb. iz elementler tohum çimlenme sürecini bozabilir ve bu nedenle süreci geciktirebilir veya engelleyebilir (Bhattacharya ve ark., 2021).

Bitkilerin farklı uçucu kül oranlarına karşı verdikleri cevapları gösteren en iyi parametrelerden biri de fide boyunun ölçülmesidir (Meicenheimer, 2014).

Bu çalışmada, topraklara eklenen uçucu kül uygulamalarındaki kademeli artış, kontrole göre buğday bitkisinin Gönen ve Sagittario çeşitlerinde etkili olduğu olmuştur. Gönen çeşidinde fide boyunda kontrole (T1) göre T2, T3 ve T4 uçucu kül uygulama grupların da artış olduğu ayrıca en yüksek fide boyu ortalamasının ise T4 uygulamasında olduğu saptanmıştır. Sagittario çeşidinde ise, kontrole (T1) göre tüm uygulama gruplarında artış olduğu ancak en yüksek fide boyu ortalamasının T3 uygulamasında

olduğu saptanmıştır. Buradan hareketle uçucu kül oranlarındaki değişmeden fide yüksekliklerinin etkilendiği ve bunun istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. ( $p < 0,05$ ).

Elde edilen sonuçlar, Jain ve Tembhurkar (2022) tarafından Hint fistiği (*Jatropha curcas* L.) bitkisi ile yapılan çalışmada %10 uçucu kül uygulanmasının bitki boyunu ve büyümesini artması, bu çalışma sonuçları ile uyumludur. Varshney ve ark., (2021) çuha çiçeği (*Primula vulgaris* Huds.) ile yaptıkları çalışmada %10, %20, %40, %60, %80 ve %100 uçucu kül katılan topraklarda, en fazla fide boyu ortalamasının %40 kül katkılı topraklarda olduğunu saptamışlardır. Benzer şekilde Pandey ve ark., (2009), toprağa sınırlı konsantrasyonda uçucu kül eklenmesinin, bitki büyümesi ve veriminin çeşitli parametrelerinde olumlu sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Bu çalışmalara ek olarak Mısır (*Zea mays* L., Leghari ve ark., 2022), Ayçiçeği (*Helianthus annus* L., Jain ve Tembhurkar, 2023), Fasülye (*Phaseolus vulgaris* L., Manisha, 2022) gibi farklı bitkiler üzerinde yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Toprakta farklı oranlarda uçucu kül uygulamalarında , uçucu külden bulunan Ca, Mg, K, Mn, Mo, Zn, vb. gibi belirli temel elementlerinin bitkiler tarafından uçucu külden kolay bir şekilde sağlanması bitki büyümesinin uyarılması sonucu bitki boyunda artışa neden olmaktadır (Kumar ve Kumar 2016; Rajpoot ve ark., 2018; Du ve ark., 2020).

Uçucu kül uygulaması toprak dokusundaki gözenekliliği artırabilir ve su tutma kapasitesini iyileştirerek kalıcı olarak değiştirebilir (Szerement ve ark., 2021; Varshneyet ve ark., 2022). Su tutma kapasitesindeki bu iyileşme, bitki büyümesi için faydalıdır. Uçucu külden bulunan kireç, topraktaki asidik bileşenlerle reaksiyona girerek S, B ve Mo gibi besin maddelerini mahsul bitkilerinin kullanabilmesi için serbest hale geçmesini sağlamaktadır. Böylece uçucu kül toprağa iyi bir besin ortamı sağlamış olur. Bu çalışmada analiz sonuçlarına bakıldığında kullanılan kontrol toprağının pH miktarı 5,5-6,7 aralığındayken uçucu külün pH aralığının ise 8,10 değerinde olduğu ölçülmüştür. Uçucu kül uygulaması aynı zamanda asidik toprakların pH'ını artırır (Yadav ve Pandita, 2019). Böylelikle bu çalışmada kullanılan Çan termik santral uçucu külü gibi, çoğu Termik santral tarafından üretilen uçucu külün çoğu alkali yapıdadır; bu nedenle, tarım topraklarına uygulanması, toprak pH'ını artırabilir ve böylece toprağın asidik doğasını nötralize edebilir (Usman ve ark., 2022).

Ayrıca uçucu külün alkali yapısı onu iyi bir nötralize edici madde yaparak uçucu külün hidroksit ve karbonat tuzları, topraktaki asitliği nötralize etme yeteneği sağlar. Toprak asitliğini nötralize eden uçucu kül, bitkiler için uygun besinleri sağlamak için bir kireçleme maddesi olarak da görev almaktadır (Yadav ve ark., 2022). Yapılan çalışmalar, uçucu külün asit topraklarda kireçleme maddesi olarak kullanılmasının toprak özelliklerini iyileştirebileceğini ve ürün verimini artırabileceğini göstermiştir (Usman ve ark., 2022; Yadav ve ark., 2022; Saravanan ve ark., 2023).

Toprağın elektriksel iletkenliği uçucu kül uygulamasıyla artar (Ahmad ve ark., 2021). Fe, Zn, Cu, Mn, Ni ve Cd gibi metaller de uçucu kül içinde daha yüksek konsantrasyonlarda bulunur (Bhattacharya ve ark., 2021). Uçucu külden bulunan yüksek iz element iyon varlığı tahıllarda iyonik taşıyıcıların aktivitesini artırarak Zn, Mn ve Cu gibi temel iyonların birikimini ve bitki büyümesi için gerekli

besinleri sağlayabilir (Varshney ve ark., 2022). Uçucu kül, aynı zamanda zengin bir Si kaynağı olarak da kabul edilir ve Si eksikliği olan topraklara uçucu kül uygulaması sonucu pirinç bitkilerin büyümesinin yanı sıra Si içeriğini de iyileştirdiği saptanmıştır (Panda ve Dash, 2020; Anggria ve ark., 2021).

Termik santral kül özelliklerine bağlı olarak tarımda kullanılmasına yönelik yapılan araştırmalarda, kül özelliklerinin, kömürün kaynağına bağlı olarak önemli ölçüde değiştiği (Singh ve ark., 2010) aynı zamanda asidik özellik gösteren küllerin toprakta bulunan bazı elementlerin toksik seviyelere yükselmesine neden olduğu saptanmıştır (Haynes, 2009).

Bitkiler için bir gelişme göstergesi olarak kabul edilen yaprak alanı ölçümü (Weraduwege ve ark., 2015) uçucu kül uygulanan topraklarda yetiştirilen bitki çalışmalarında da kullanılmıştır (Ahmad ve ark., 2021; Jain ve Tembhurkar, 2022). Bu çalışmada farklı uygulamalardaki uçucu kül uygulamalarının yaprak alanı üzerine etkisi incelendiğinde; Gönen çeşidinde kontrole göre uygulama gruplarının tümünde yaprak alanı değerlerinde azalma gözlenmiştir. Sagittario çeşidinde ise, kontrole (T1) göre sadece T2 uçucu kül uygulama grubunda artış olurken diğer uygulama gruplarında düşme olduğu saptanmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda uçucu kül oranlarındaki değişmeden yaprak alanlarının etkilendiği ve bunun istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ( $p<0,01$ ).

Yaprakların alanındaki değişiklikler, hava değişiminin etkisine veya sıcaklıktaki artışa bağlanabilir. Bununla birlikte uçucu kül, ısıyı emme yeteneğine sahiptir ve toprağa karıştırılan uçucu kül, toprağın sıcaklığını yükseltmiş olabilir ve bu da daha yüksek oranda uçucu kül uygulamalarında bitkilerin büyümesinin azalmasına neden olabilir (Jain ve Tembhurkar, 2022). Mercimek (*Lens culinaris* Medik.) bitkisinin büyümesi üzerine yapılan bir başka çalışmada artan uçucu kül uygulamalarının kontrole göre yaprak alanını azalttığı saptanmıştır (Hussain ve Faizan, 2023). Pancar (*Beta vulgaris*) bitkisi ile yapılan bir başka çalışmada, %15 uçucu kül uygulamasının yaprak alanı artışına (Shakeel ve ark., 2020), benzer şekilde Aynisefa (*Calendula officinalis* L.) bitkisinde ise %40 uçucu kül uygulamasının yaprak alanında artışa neden olduğu bulunmuştur (Varshney ve ark., 2021).

Ajaz (2003) tarafından salatalık (*Cucumis sativus* L.) bitkisinin gelişim parametreleri üzerine uçucu küllerin farklı oranlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, toprağa farklı seviyelerde (%10, %25 ve %50) karıştırılan uçucu kül, bitki gelişimini pozitif olarak etkilemiş bunun yanı sıra yaprak alanı, verim ve fotosentetik pigmentleri de olumlu yönde etkilediği bulunmuştur.

Bozyel (2011) tarafından yapılan bir başka çalışmada bitki yetiştirme ortamı olarak toprak kullanılmış olup ortama 40, 80, 160, 320 ve 640 g ağırlığında toz atık (taban külü) karıştırılmıştır. Toz atık uygulamalarının, mısır (*Zea mays*) bitkisi üzerinde; çimlenme oranı, klorofil a-b, toplam klorofil ve karotenoid miktarlarının, yaprak üst ve alt yüzey stoma indeksinin, yaprak iletim demetleri ve bulliform hücrelerinde enine ve boyuna gelişiminin artmasına olumlu bir etki sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Biyokütle değişimi, deneysel çalışmalar kapsamında bitki büyümesinin değerlendirilmesinde önemli parametrelerden biri olarak kabul edilir. Gönen ve Sagittario çeşitlerinde, kontrole göre yaş ağırlık incelendiğinde ise; her uygulama grubunda yaş ağırlıkta bir azalma meydana geldiği saptanmıştır ( $p<0,05$ ).

Uçucu kül oranlarının artmasıyla, yaş ağırlıkta kontrole kıyasla bir düşüş gözlenmesinin sebebi, uçucu külde zararlı olan Co, Cu, Fe, Mn ve Zn gibi bazı toksik ağır metallerin varlığı olabilir. Uçucu kül oranı arttıkça, ROS üretimi yoluyla oksidatif strese neden olabilecek ağır metallerin mevcudiyeti artar. ROS, DNA hasarını artırır, membran fonksiyonel bütünlüğünü engeller ve protein aktivitesini bozar (Varshney ve ark., 2021b).

Gönen ve Sagittario çeşitlerinde, farklı uçucu kül uygulamalarından elde edilen kuru ağırlık miktarı ise, kontrole göre yüksek bulunmuştur. Özellikle Sagittario çeşidinde kontrole göre (T1) en yüksek kuru ağırlık miktarı T3 uçucu kül uygulamasında artmıştır. Uçucu kül oranlarındaki değişmeden yaş ve kuru ağırlıkların etkilendiği ve bunun istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ( $p < 0,05$ ).

Önemli bir bitki gelişme ölçütü olarak değerlendirilen bitki kuru madde miktarlarında kontrol grubuna göre farklı kül dozlarında saptanan farklı oranlardaki artışlar, daha önce yapılan çalışmalarda (Usmani ve ark., 2019; Ultra, 2020; Ultra ve Manyiwa, 2021) da belirlenmiş olup bu sonuç, uçucu kül içeriğinde bulunan makro ve mikro elementlerinin bitki gelişimini teşvik etmesi ve toprak düzenleyicisi (gübre) olarak görev yapabileceği ile ilişkilendirilmiştir (Yu ve ark., 2019; Varshney ve ark., 2022).

Kumar ve Pandey (2022) buğday ile yaptıkları çalışmalarında, %25 uçucu kül uygulanmış toprakta yetiştirilen bitkide maksimum taze ve kuru ağırlık elde etmişlerdir.

Jain ve Tembhurkar (2023) Hint fıstığı bitkisi (*Jatropha curcas*), Hint kayını (*Milletia pinnata* L.) ve Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkileri ile yaptıkları çalışmada, düşük uçucu kül konsantrasyonunda kuru ağırlıkta artış ve daha yüksek konsantrasyonlarda azalma görülmüş ve bunun nedeni olarak da ağır metallerin varlığı öne sürülmüştür.

Bir başka çalışmada, buğday kuru ağırlığı üzerine uçucu külün etkisinin olduğu ancak bu etkinin net olarak anlaşamadığı belirtilmiştir (Erdal ve ark., 2012). Uçucu küle karşı bitkilerin göstermiş oldukları duyarlılığın türler arasında farklılık gösterdiği bildirilmiştir (Haynes, 2009). Buradan yola çıkılarak, tarımsal amaçlı olarak kullanılabilir uçucu kül uygulamalarında bitkilerin bu duyarlılıklarının da dikkate alınması gerekliliği önemlidir.

## 5. Sonuç

Sonuç olarak; uçucu kül de ağır metallerin varlığına rağmen, toprak iyileştirici olarak son yıllarda tarımda kullanılmaktadır. Yapılan bu sera çalışması, toprakta uçucu kül karışımının buğdayın morfo-fizyolojisi açısından, gelişiminde önemli bir artışa yol açabileceğini göstermiştir. Ek olarak uçucu kül, bitkiler için besin olarak gerekli olan mikro ve makro besinlerin kaynağını sağlayabilir. Çalışmanın sonuçlarına göre, toprağa T2, T3 ve T4 uçucu kül uygulama düzeylerinin ilavesiyle her iki buğday çeşidinin gelişim parametreleri üzerinde olumlu etkiler meydana gelmiştir. Yüksek düzeyde uçucu kül (T5) uygulamasının ise buğday gelişimi üzerinde olumsuz etkileri gözlemlenmiştir. Böylelikle yüksek orandaki uçucu kül konsantrasyonları, topraktaki ağır metallerin miktarını artırabilmesi nedeniyle uygun olmayacağı sonucuna varılmıştır. Bu doğrultuda, termik santral uçucu külünün tarımsal amaçlı kullanılabilirliği düşünülebilir ancak, bu küllerin bitkinin genel gelişimine ket vurucu özellikte olduğu



da göz ardı edilmemelidir. Bununla birlikte, termik santral uçucu külü buğday bitkisinin iki farklı çeşidinin gelişim özellikleri üzerinde olumlu etkiler (tohum çıkış oranı, fide boyu, kuru ağırlık) meydana getirmiştir. Uçucu küllerin tarımda kullanılabilmesi için, kullanılacak olan uçucu külün özelliklerinin iyi bilinmesi, uygun uçucu kül konsantrasyonlarının belirlenmesi, uçucu külde bulunan ağır metal içeriklerinden bitkilerin ne derecede etkilendiği belirlenmelidir. Uçucu kül uygulamasının bazı toprak özelliklerini iyileştirebileceği düşünülse de, bu tür uygulamaların olası olumsuz etkilerinin daha iyi anlaşılması için farklı tarla ve bahçe bitkileri için kapsamlı daha fazla araştırma yapılması önerilmektedir.

### **Teşekkür**

Çalışmalar esnasında yardımlarından dolayı Av. Ümran AYDIN'a, Mustafa SERİN'e ve Mehmet Uzunoğlu'na teşekkürü bir borç biliriz.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarların tamamı, makaleye benzer oranda katkı sağlamıştır. Bu çalışmanın ilk şekli 12-15 Eylül 2017 tarihlerinde düzenlenen XIII. Uluslararası Katılımlı Ekoloji ve Çevre Kongresi- UKECEK, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye Kongresi'nde, sunulmuştur.

### **Kaynakça**

- Anggria L., Siregar AF., Sipahutar IA., Rostaman T., Suntari R., Fitriani U. Improving rice plant using Si materials on P and Si uptake, growth and production in ultisols, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021; 648(1): 012149. IOP Publishing.
- Apps J. Planting an idea: A Guidebook to Critical and Creative Thinking About Environmental Problems 2023; Fulcrum Publishing.
- Bhatt A., Priyadarshini S., Mohanakrishnan AA., Abri A., Sattler M., Techapaphawit S. Physical, chemical, and geotechnical properties of coal fly ash: A global review 2019; Case Studies in Construction Materials, 11, e00263.
- Bhattacharya T., Pandey SK., Pandey VC., Kumar A. Potential and safe utilization of Fly ash as fertilizer for *Pisum sativum* L. Grown in phytoremediated and non-phytoremediated amendments. Environmental Science and Pollution Research 2021; 28(36): 50153-50166.
- Bilski J., Mclean K., McLean E., Soumaila F., Lander M. Revegetation of coal ash by selected cereal crops and trace elements accumulation by plant seedlings. International Journal of Environmental Sciences 2011; 1(5): 1033-1046.

- Bozyel ME. Termik santral toz atığının mısır (*Zea mays* L.) büyümesi üzerine etkisinin anatomik olarak incelenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 116, Çanakkale, Türkiye, 2011.
- Camberato JJ., ED Vance AV. Someshwar. Composition and land application of paper manufacturing residuals. In: Rechcigl J, Mac Kinnon H (eds) Agricultural uses of by products and wastes 1997; ACS, Washington DC, 185-203.
- Delić D., Stajković-Srbinović O., Buntić A. Hazards and usability of coal fly ash. *Advances in Understanding Soil Degradation* 2022; 571-608.
- Doğan Y., Toğay Y., Toğay N. Türkiye’de tescil edilmiş bazı ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşitlerinin Mardin-Kızıltepe koşullarında verim ve bazı verim özelliklerinin belirlenmesi. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 2014; 24(3): 241-247.
- Du T., Wang D., Bai Y., Zhang Z. Optimizing the formulation of coal gangue planting substrate using wastes: The sustainability of coal mine ecological restoration. *Ecological Engineering* 2020; 143: 105669.
- Erdal İ., Özkul M., Yavuz G., Küçükyumruk Z. Kireçli bir toprakta yetiştirilen nohut ve buğdayın gelişimi ve mineral beslenmesi üzerine termik santral uçucu külünün etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2012; 7(2): 65-72.
- ETKB, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2022. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>. Erişim Tarihi: 11.03.2023.
- Haynes RJ. Reclamation and revegetation of fly ash disposal sites-challenges and research needs. *Journal of Environmental Management* 2009; 90(1): 43-53.
- Hussain A., Faizan S. Rhizobium induced modulation of growth and photosynthetic efficiency of *Lens culinaris* Medik. grown on fly ash amended soil by antioxidants regulation. *Environmental Science and Pollution Research* 2023; 1-11.
- IEA, International Energy Agency. 2020. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>. Erişim Tarihi: 11.03.2023.
- Jain S., Tembhurkar AR. Studies on growth and yield response of *Jatropha curcas* plant on fly ash amended soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 2022; 53(11): 1391-1401.
- Jain S., Tembhurkar, AR. Growth, remediation, and yield assessment of *Jatropha curcas*, *Millettia pinnata*, and *Helianthus annuus* on fly ash amended soil: a comparative study. *Acta Physiologiae Plantarum* 2023; 45(2): 1-11.
- Kalra N., Jain MC., Joshi HC., Chaudhary R., Kumar S., Pathak H., Hussain MZ. Soil properties and crop productivity as influenced by flyash incorporation in soil. *Environmental Monitoring and Assessment* 2003; 87: 93-109.
- Kumar K., Kumar A. A case study of fly ash utilization for enhancement of growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) to sustainable agriculture. *Biomass Conversion and Biorefinery* 2021; 1-14.

- Kumar K., Kumar A. Effect Of Fly Ash on morpho-physiological properties of soil and *Vigna mungo* L. *Biotech Today: An International Journal of Biological Sciences* 2016; 6(2): 49-54.
- Kumar R., Pandey MM. Effect of fly ash on growth of *Vigna Mungo* L. *Plant Archives* 2022; 22(1): 217-221.
- Leghari SK., Kakar AU., Gulshan AB., Hussain F., Shah SQ., Baloch A., Jakrro MI. Effect of coal fly ash on seedling growth, productivity, biochemical and heavy metals uptake of *zea mays* L. and soil characteristics in semi-arid and climatic conditions of Quetta Valley. *GU Journal of Phytosciences* 2022; 2(2): 119-128.
- Masto RE., Sengupta T., George J., Ram LC., Sunar KK., Selvi VA., Sinha AK. The impact of fly ash amendment on soil carbon. *Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 2014; 36(5): 554-562.
- Meicenheimer RD. The plastochron index: Still useful after nearly six decades. *American Journal of Botany* 2014; 101(11): 1821–1835.
- Munir MAM., Liu G., Yousaf B., Ali MU., Abbas Q., Ullah H. Synergistic effects of biochar and processed fly ash on bioavailability, transformation and accumulation of heavy metals by maize (*Zea mays* L.) in coal-mining contaminated soil. *Chemosphere* 2020; 240, 124845.
- Nautiyal D., Manisha PB. Effect of different levels of fly ash and NPK on growth and yield of Kidney Beans (*Phaseolus vulgaris*) in Dehradun. *The Pharma Innovation Journal* 2022; 11(9): 3087-3090
- Ou Y., Ma S., Zhou X., Wang X., Shi J., Zhang, Y. The effect of a fly ash-based soil conditioner on corn and wheat yield and risk analysis of heavy metal contamination. *Sustainability* 2020; 12(18): 7281.
- Ou Y., Ma S., Zhou X., Jin S., Wang L., Wang X., Xiao Y. Multi-element interactive improvement mechanism of coal fly ash-based soil conditioner on wheat. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 2022; 194(4): 1580-1605.
- Özgen S. Farklı kömür türlerinden piritik kükürdün knelson konsantratör ile uzaklaştırılması. *El-Cezeri* 2021; 8(3): 1351-1359.
- Özgün S., Işık G. *Zea mays* L.'nin termik santral uçucu kül uygulamalarına karşı ekofizyolojik tepkileri. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma* 2021; 14(2): 286-291.
- Panda D., Panda D., Padhan B., Biswas M. Growth and physiological response of lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf.) under different levels of fly ash-amended soil. *International Journal of Phytoremediation* 2018; 20(6): 538-544.
- Pandey VC., PC Abhilash., RN Upadhyay., DD Tiwari. Application of fly ash on the growth performance and translocation of toxic heavy metals within *Cajanus cajan* L. implication for safe utilization of fly ash for agricultural production. *Journal of Hazardous Materials* 2009; 166: 255-259.

- Parlak M., İsmail TAS., Görgişen C. Termik santrallerin etrafındaki topraklarda ağır metal kapsamalarının belirlenmesi: Çanakkale örneği. ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi 2022; 10(2): 367-380.
- Panda L., Dash S. Characterization and utilization of coal fly ash: a review. Emerging Materials Research 2020; 9(3): 921-934.
- Pandey, V. C. Suitability of *Ricinus communis* L. cultivation for phytoremediation of fly ash disposal sites. Ecological Engineering, 2013; 57: 336-341.
- Pour AH., Tosun M., Haliloğlu K. Buğdayda (*Triticum Aestivum* L.) farklı süre ve dozlarda uygulanan etil metansülfonat EMS)'ın çimlenme ve fide ile ilgili bazı karakterler üzerine etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2021; 52(2): 190-200.
- Rajpoot L., Kumar K., Asma KA. Approach for improve plant (*Pisum sativum* L.) growth and yield using kiln coal fly ash amended soil. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research 2018; 5(7): 72-77.
- Rajakumar GR., Patil SV. Effect of fly ash on growth and yield of crops with special emphasis on heavy metals and radionuclides. Int J Curr Microbiol App Sci 2019; 8(8): 127-137.
- Rusănescu CO., Rusănescu, M. Application of fly ash obtained from the incineration of municipal solid waste in agriculture. Applied Sciences, 2023; 13(5): 3246
- Sahoo CR., Sahu RK., Padhy RN. Growth, yield and element-analysis of rice (*Oryza sativa* L.), grown in soil amended with fly ash and municipal biosolids. Paddy Water Environ 2021; 19: 149–157.
- Sakin M. Makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf.)'da gama ışını ve EMS'nin farklı dozlarının M1 ve M2 bitkileri üzerindeki etkileri. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no:95 Tokat, Türkiye, 1998.
- Saravanan M., Sudalai S., Dharaneesh AB., Prahaaladhan V., Srinivasan G., Arumugam A. An extensive review on mesoporous silica from inexpensive resources: properties, synthesis, and application toward modern technologies. Journal of Sol-Gel Science and Technology 2023; 105(1): 1-29.
- Shakeel A., Khan AA., Hakeem KR. Growth, biochemical, and antioxidant response of beetroot (*Beta vulgaris* L.) grown in fly ash-amended soil. SN Applied Sciences 2020; 2: 1-9.
- Singh RP., Gupta AK., Ibrahim MH., Mittal AK. Coal fly ash utilization in agriculture: its potential benefits and risks. Reviews in Environmental Science and Biotechnology 2010; 9: 345-358.
- Singh L., Sukul M. Impact of vermicompost, farmyard manure, fly ash and inorganic fertilizers on growth and yield attributing characters of maize (*Zea mays* L.). Plant Arch. 2019; 19(2): 2193–2200.
- Szerement J., Szatanik-Kloc A., Jarosz R., Bajda T., Mierzwa-Hersztek, M. Contemporary applications of natural and synthetic zeolites from fly ash in agriculture and environmental protection. Journal of Cleaner Production 2021; 311: 127461.

- Tang Q., Zhang H., Zhao X., Miao C., Yang P., Zhou Z., Chen L. Speciation, bioaccessibility and human health risk assessment of chromium in solid wastes from an ultra-low emission coal-fired power plant, China. *Environmental Pollution* 2022; 315: 120400.
- TEMA, Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı. 2018. <https://www.tema.org.tr/basinodasi/basin-bultenleri/kaz-daginda-planlanan-termik-santral>. Erişim tarihi: 12.03.2023.
- Tripathi DM., Singh D., Tripathi S. Influence of coal fly ash on soil properties and productivity of chickpea crop in the semi-arid region of Bundelkhand. *Current World Environ* 2020; 15(1): 127–136.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. 2020. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198>. Erişim Tarihi: 11.03.2023.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. 2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kati-Yakitlar-Ekim-2022-45670>. Erişim Tarihi: 11.03.2023.
- Tunçel NB., Yılmaz N. Çanakkale'de yaygın olarak tarımı yapılan yazlık buğday çeşitlerinin kalite özellikleri üzerine çeşit ve çevre faktörlerinin etkisi. *Gıda* 2008; 33(2): 69-73.
- Ukwattage NL., Ranjith PG., Bouazza M. Ukwattage, N. L., Ranjith, P. G., & Bouazza, M. The use of coal combustion fly ash as a soil amendment in agricultural lands (with comments on its potential to improve food security and sequester carbon). *Fuel* 2013; 109: 400-408.
- Ultra VU. Growth and yield of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) in fly ash with nutrient amendments and Mycorrhiza for three-ratoon period. *International Journal of Phytoremediation* 2020; 22(14): 1551-1561.
- Ultra VU., Manyiwa T. Influence of mycorrhiza and fly ash on the survival, growth and heavy metal accumulation in three Acacia species grown in Cu–Ni mine soil. *Environmental Geochemistry and Health* 2021; 43: 1337-135.
- Usmani Z., Kumar V., Gupta P., Gupta G., Rani R., Chandra A. Enhanced soil fertility, plant growth promotion and microbial enzymatic activities of vermicomposted fly ash. *Scientific Reports* 2019; 9(1): 10455.
- Usman M., Anastopoulos I., Hamid Y., Wakeel A. Recent trends in the use of fly ash for the adsorption of pollutants in contaminated wastewater and soils: Effects on soil quality and plant growth. *Environmental Science and Pollution Research* 2022; 1-20.
- Varshney A., Dahiya P., Singh N., Mohan S. Variations in morphological parameters and pigment content of *Calendula officinalis* grown in fly ash amended soil. *Plant Archives* 2019; 19(2): 2959-2963.
- Varshney A., Mohan S., Dahiya P. Assessment of leaf morphological characteristics, phenolics content and metal (loid) s concentrations in *Calendula officinalis* L. grown on fly ash amended soil. *Industrial Crops and Products* 2021a; 174: 114233.

- Varshney A., Mohan S., Dahiya P. Growth and antioxidant responses in plants induced by heavy metals present in fly ash. *Energy, Ecology and Environment* 2021b; 6: 92-110.
- Varshney A., Dahiya P., Sharma A., Pandey R., Mohan S. Fly ash application in soil for sustainable agriculture: an Indian overview. *Energy, Ecology and Environment* 2022; 7(4): 340-357.
- Weraduwege SM., Chen J, Anozie FC, Morales A, Weise SE, Sharkey TD. The relationship between leaf area growth and biomass accumulation in *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in Plant Science* 2015; 6: 167.
- Wyszkowski M., Wyszkowska J., Kordala N., Borowik A. Applicability of ash wastes for reducing trace element content in *Zea mays* L. grown in Eco-Diesel contaminated soil. *Molecules* 2022; 27(3): 897.
- Yadav VK., Pandita PR. Fly ash properties and their applications as a soil ameliorant. In *Amelioration Technology for Soil Sustainability* 2019; 59-89. IGI Global.
- Yadav VK., Gacem A., Choudhary N., Rai A., Kumar P., Yadav KK. Islam S. Status of coal-based thermal power plants, coal fly ash production, utilization in India and their emerging applications. *Minerals* 2022; 12(12): 1503.
- Yu CL., Deng Q., Jian S., Li J., Dzantor EK., Hui D. Effects of fly ash application on plant biomass and element accumulations: a meta-analysis. *Environmental Pollution* 2019; 250: 137-142.

## Cam Hatalarının Karakterizasyonunda Alternatif Tekniklerin Belirlenmesi

Pelin AKKAYA<sup>1\*</sup>, Yusuf Kağan KADIOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Şişecam Bilim Teknoloji ve Tasarım Merkezi, 41400, Kocaeli

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06830, Ankara

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-7467-6148>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-7894-2220>

\*Sorumlu yazar: pelinakkaya99@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 24.08.2023

Kabul tarihi: 02.10.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Cam hatası

Cam

Mikroyapı

Mikroanaliz

Karakterizasyon

Spektroskopik analiz

### ÖZ

Cam üretiminde ortaya çıkan hataların karakterizasyonu, cam üretim sürecini etkileyen en önemli faktördür. Doğru ve hızlı karakterizasyon, hata kaynağının tespiti ve hataların oluşumunun engellenmesi bakımından önem teşkil etmektedir. Cam hatalarının katı ya da gaz, amorf (düğme/damar) ya da kristalin (taş) olması hatanın kaynağını bulmakta uygulanacak tekniğin belirlenmesi için önemlidir. Farklı katı cam hatalarının özelliklerinin belirlenmesinde farklı analiz teknikleri uygulanmıştır. Cam kalitesini etkileyen katı cam hatalarının (taş) karakterize edilerek tanımlanmasını ve hata kaynağının doğru tespit edilmesini amaçlayan bu çalışmada; cam hataları mevcutta kullanılmakta olan Taramalı Elektron Mikroskobu ve Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi yöntemine alternatif olarak Mikro X-ışını Kırınımı, Mikro Raman Spektroskopisi ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi yöntemleri ile incelenmiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu ve Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi yöntemiyle cam hatalarının karakterizasyonu, mikroyapı incelemesi ve yarı kantitatif kimyasal analizi ile birlikte yapılmaktadır. Mikro X-ışını Kırınımı ile hata, faz tespiti ile kalitatif bir şekilde tanımlanmaktadır. Mikro Raman Spektroskopisi ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi ise kristalin inklüzyonların (taş hatası) içerdiği moleküler bağ karakterizasyonuna göre sonuç vermektedir. Çalışmada farklı türde hataların incelemeleri bu metotlarla yapılarak bu dört yöntemin karşılaştırması yapılmış ve bunların uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. İncelenen dört yöntemin farklı temellere dayanan analiz tekniği olmasından dolayı çıkan sonuçların yorumlanması oldukça önemlidir. Taramalı Elektron Mikroskobu ve Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi yönteminde mikroyapı incelemesi ve yarı kantitatif sonuçlar değerlendirilirken, Mikro X-ışını Kırınımı yöntemiyle yapılan analizlerden faz tayini ile kalitatif tespit yapılabildiğinden katı cam hatalarının oluşum sıcaklıkları hakkında da fikir elde edilebilmektedir. Mikro Raman analizlerinde de kalitatif sonuçlar alınırken hatanın homojen olması gerektiği görülmüştür. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi analizlerinde alınan spektrum ile kalitatif sonuçlara ulaşılsa da verilerin yorumlanması için detaylı bir literatür araştırması gerekmektedir. Hata tayininde en uygun yöntem hata türüne ve kristal yapısına bağlı değişkenlik göstermekle birlikte, stereo mikroskop ve SEM-EDS ile edinilen bulguları faz tayiniyle destekleyen  $\mu$ XRD olacaktır. Faz tayininin önemi, kristalin oluşum sıcaklığı konusunda yorum yapılabildiğinden hatanın kaynağı konusunda öngörü yapma olanağı sunmasıdır.

### Identifying Alternative Techniques for the Characterization of Glass Defects

#### Research Article

#### ABSTRACT

---

**Article History:**

Received: 24.08.2023

Accepted: 02.10.2023

Published online: 22.01.2024

---

**Keywords:**

Glass defect

Glass

microstructure

Microanalysis

Characterization

Spectroscopic analysis

The characterization of defects in glass production is the most crucial factor affecting the glass production process. Accurate and fast characterization is important in terms of detecting the source of defects and preventing the formation of defects. Whether the glass defects are gas, amorphous (knot/cord), or crystalline (stone) is important for determining the technique to be applied in finding the source of the defect. Different analysis techniques have been applied to determine the properties of various solid (stone) glass defects. In this study, which aims to characterize and define the solid glass defects (stone) affecting the glass quality and to determine the source of the defect correctly; glass defects were examined by Micro X-ray Diffraction, Micro Raman Spectroscopy, and Fourier Transform Infrared Spectrometry methods as an alternative to the currently used Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy methods. The characterization of glass defects by Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy method is performed together with microstructure examination and semi-quantitative chemical analysis. With Micro X-ray Diffraction, the defect is qualitatively identified by phase detection. Micro Raman Spectroscopy and Fourier Transform Infrared Spectrometer give results according to the molecular bond characterization of the crystalline inclusions (stone defects). In this study, different types of defects were examined with these methods, then these four methods were compared, and their applicability was evaluated. As a result of the study, these four methods were compared, and their applicability was evaluated. Interpretation of the results is very important since the four methods examined are analysis techniques based on different foundations. While microstructural examination and semi-quantitative results are assessed in Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy method, it is possible to get an idea about the formation temperatures of solid glass defects since qualitative determination can be made by phase determination from the analyses made by Micro X-ray Diffraction method. It has been observed that the defect should be homogeneous while obtaining qualitative results in Micro Raman analysis. Although qualitative results are obtained with the spectrum obtained in Fourier Transform Infrared Spectrometer analysis, a detailed literature search is required for the interpretation of the data. Although the most appropriate method for defect determination varies depending on the defect type and crystal structure, it will be  $\mu$ XRD, which supports the findings obtained by stereo microscope and SEM-EDS with phase determination. The importance of phase determination is that it provides the opportunity to make predictions about the source of the defect, as it can be commented on the crystal formation temperature.

---

**To Cite:** Akkaya P., Kadioğlu YK. Cam Hatalarının Karakterizasyonunda Alternatif Tekniklerin Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 294-309.

## 1. Giriş

Cam üretimi sürecinde ham madde seçimi, tedarigi ve depolaması, ergitme fırını, ergime sonrası soğutma ve şekillendirme, ikincil işlemler, paketleme, depolama gibi birçok faktör vardır. Bu aşamaların her birinde oluşabilecek herhangi bir problemin tespiti ve çözümü zaman kaybetmemek adına oldukça önemlidir.

Cam üretiminde oluşan değişik türdeki sorunlar üretimin çeşitli aşamalarında gelişebilmektedir. Bunların bir kısmı etkin önlemlerin alınması ile tamamen giderilebilirken, buna karşılık bazılarının tümüyle ortadan kaldırılması oldukça güçtür. Hatalar ham maddelerden cam harmanının hazırlanıp fırına beslenmesinden, ham maddelerin fırın içinde çözünmesi, afınasyonu, şekillendirilmesi ve tavlmasına kadar geçen her aşamada meydana gelebilirler. Bu gibi nedenlerle, cam üretim sürecinde ortaya çıkan problemlerden biri cam bünyesinde meydana gelen hatalar olup bunların kaynağının bulunması için



hataların doğru karakterize edilmesi gerekmektedir. Hata kaynağının doğru ve hızlı tespit edilmesi, cam üretimi durmaksızın devam eden bir süreç olduğu için kritik önem taşımaktadır. Hataların önlenmesi ve üretimin sorunsuz devam etmesi hem ekonomik anlamda hem de cam ergitme fırını ömrünün devamı bakımından en önemli parametredir. Dolayısıyla üretim sürecinde karşılaşılan hataların kaynağının nokta atışı olarak net bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Kaynak tespiti sonrasında işletmelerde çeşitli önlemler alınmaktadır. Cam hataları, ergitme fırınının bulunduğu coğrafyadan etkilenmektedir. Kullanılacak ham maddeler (en çok da kum) ekonomik olması amacıyla en yakın maden ocağından temin edilmektedir; yani camın kalitesi maden ocağının jeolojik yapısından ve cevher hazırlama altyapısından doğrudan etkilenmektedir. Kullanılan ham madde kalitesi, üretilen cam türüne göre değişmekle beraber hata tolerans aralıkları da cam türüne göre değişmektedir. Herhangi bir cam türü için kabul edilebilir hata oranı, kritik olarak, camın türüne ve işlevine doğrudan bağlıdır. Düşük demirli düz cam veya kristal/kristalin züccaciye camı üretimi için oldukça saf bir kuvars kaynağından kum gerekmekte; ancak renkli üretim bir cam ambalaj (şişe) üretimi için kumtaşı gibi bir kaynaktan kum eldesi yeterli olmaktadır (Babcock GL,1978). Buna ek olarak cam ergitme fırınının yaşı, fırın refrakterlerinin kalitesi, kullanılan yakıt, tonaj (cam çekişi), işletme şartları cam üretim sürecinde karşılaşılan problemlerin kaynakları olabilmektedir.

Cam hataları, yapısına ve kaynağına göre sınıflandırılmaktadır.

- Yapısına göre; amorf (düğme/damar) ve kristalin (taş) yapıda görülebilirler (Aldinger ve de Haan, 2019).
- Kaynağına göre; ham madde, fırın refrakterleri, ergitme, şekillendirme, tavlama, stok ve ikincil işlem kaynaklı olabilirler (Aydın, 2012).

Bu çalışma kapsamında sıklıkla karşılaşılan taş hataları incelemiştir. Hataların karakterizasyonu, mevcutta kullanılan ve buna alternatif olabileceği düşünülen diğer metotlarla yapılmıştır (Prieto ve Canteli, 2002). Metotların karşılaştırılması, hataların karakterizasyonunun hızlı ve doğru yapılması amacıyla önem taşımaktadır. Aynı zamanda analitik cihazlarla (SEM-EDS, XRD, Raman Spektrometresi, FTIR) yapılan bu çalışma, farklı metotlardan elde edilen inceleme/analiz sonuçların validasyonu niteliği taşımaktadır (Bartuška, 2008). Hataların kaynağının tespitinde karakterizasyonun önemi oldukça büyüktür. Çünkü ham madde, fırın ya da işletme şartlarına işaret etmek en kısa sürede hataların yok edilmesini sağlamaktadır; dolayısıyla ekonomik anlamda kritik önem taşımaktadır.

Hata incelemelerinde mikroskopik (stereo/optik mikroskop ve SEM) teknikler kullanılmakta olup alternatif teknikler araştırılmıştır. Alternatif olarak çalışılan teknikler (Raman Spektrometresi ve FTIR) kimyasal bağ yapıları esasıyla çalışmakta olup her bir hatanın farklı molekül davranışı olduğundan uygulanabilir teknikler oldukları değerlendirilerek bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesinde ise teorisi farklı esaslara dayanan farklı analitik cihazların (SEM-EDS, XRD, Raman Spektrometresi, FTIR), birbiri ile uyumlarının ortaya konulması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında farklı türde 7 adet katı cam hatası incelenmiş olup bu hatalar, cam üretim sürecinde sıklıkla karşılaşılan hatalar arasından seçilmiş ve bunların karakterizasyonu Leica MZ9.5 stereo mikroskop, Jeol JSM 6010 LV taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Oxford enerji saçınımlı X-ışını spektrometresi (EDS) cihazları kullanılarak yapılmıştır. Aynı hatalar; bu incelemelerden sonra temizlenerek bir mono kapiler optik yardımıyla numune üzerine X-ışınının odaklandığı Panalytical Empyrean mikro X-ışını kırınımı ( $\mu$ XRD), 785 nm lazer kaynağına sahip bir lazerden çıkan ışının numunedeki moleküller arası titreşimlerine bağlı olarak elastik olmayan saçılım (Raman saçılması) yapması prensibi ile çalışan Kaiser Raman RXN1 mikro Raman Spektroskopisi ve kızılötesi ışının numune üzerine gönderilip numunede bulunan moleküllerin dönme, titreşme hareketleriyle absorbe edilmesi esasına dayanan Bruker Hyperion 3000 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) cihazlarıyla incelenmiştir.

Hatalar; ilk olarak stereo mikroskopta silika segregasyon, AZS, alüminöz malzeme ve vollastonit olarak tanımlanmış olup ardından SEM-EDS,  $\mu$ XRD,  $\mu$ Raman ve FTIR ile bulgular desteklenmiştir.

## 3. Bulgular

### 3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu ve Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi İncelemeleri

SEM; çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla numune yüzeyinin taranması prensibiyle çalışır. Görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasındaki etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra ekrana aktarılmasıyla elde edilir. EDS analizinde; numunenin yüzeyine yüksek enerjili elektronlar çarptığında bu çarpışmalardan dolayı numune yüzeyinden bazı elektronlar kopar. Eğer bu elektronlar çekirdeğe yakın yörüngeden koparılmışlarsa atomlar kararlılıklarını kaybederler. Tekrar kararlı hale gelebilmek için dış yörünge elektronları iç yörüngelerdeki boşlukları doldururlar. Daha yüksek enerjiye sahip dış yörünge elektronları iç yörüngedeki boşlukları doldururken açığa çıkan enerji X-ışını şeklinde ortaya çıkar ve numuneden kaynaklanan X-ışınları dedektör tarafından algılanarak EDS spektrumu elde edilir.

Hataların incelemesinde farklı elementler arasındaki kontrast farkının net olması sebebiyle geri saçılan elektron (BEC) görüntüleri kullanılmıştır. Yarı kantitatif EDS analiz sonuçları, bunların tanımlamaları ile muhtemel kaynakları Tablo 1'de verilmektedir (Aydın, 2012).

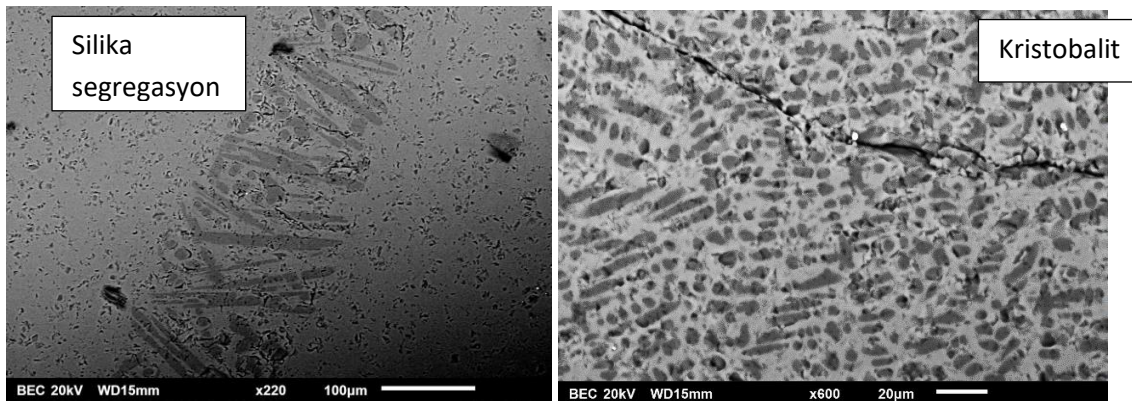
**Tablo 1.** İncelenen hatalara ait yapılan EDS analiz sonuçları (20 kV) ve değerlendirmeleri (Aydın, 2012)

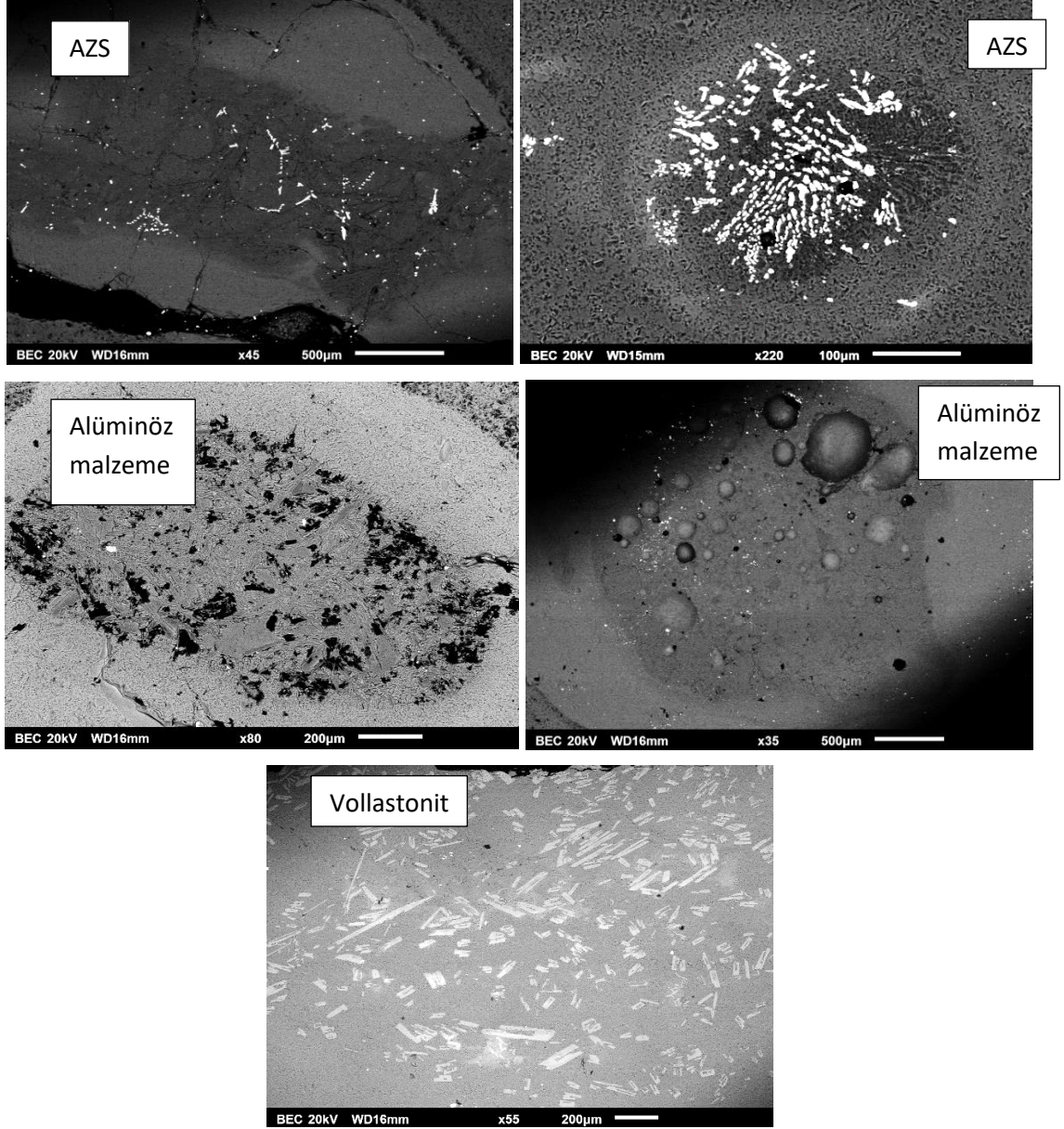
Hata	% Na <sub>2</sub> O	% MgO	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% SiO <sub>2</sub>	% CaO	% ZrO <sub>2</sub>	% TiO <sub>2</sub>	Hata tanımı	Muhtemel kaynak
1	-	-	-	100,00	-	-	-	Silika segregasyon (Kristobalit)	Ham madde Üstyapı silika refrakterleri Devitrifikasyon
2	2,20	-	-	96,85	0,95	-	-	Silika segregasyon (kristobalit+ tridimit)	
3	21,45	-	43,95	20,52	8,29	3,78	-	AZS*	Cam temas ya da üstyapı AZS* refrakterleri
4	21,45	-	37,84	11,61	7,97	23,79	-	AZS*	
5	8,61	-	79,85	10,23	0,31	-	-	Alüminöz malzeme	Üstyapı refrakterleri A duvarı Kemer
6	17,97	-	48,51	31,20	0,91	-	1,47	Alüminöz malzeme	F/H kanal ya da üstyapı refrakterleri
7	5,60	2,30	-	60,60	31,51	-	-	Vollastonit	Devitrifikasyon
Cam	13,04	4,91	0,78	72,31	8,63	-	-	-	-

\*AZS: alümina zirkonya silikat içerikli refrakter. Üretim tekniğine ve kullanım yerine göre bonded ya da fusecast olmak üzere 2 tipte olabilmektedir.

SEM-EDS ile yapılan hata tanımlamaları kimyasal kompozisyonun yanında kristallerin detaylı mikro yapı incelemesini gerektirmektedir. Bazı kristallerin karakteristik mikro yapıları vardır ve bunları tanımlamak için bir altyapı şarttır.

Kristobalit (SiO<sub>2</sub>) hatasının yumru şeklinde kristalleri, AZS hatasında korund (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ile zirkonya/baddeleyit (ZrO<sub>2</sub>) kristalleri, alüminöz malzeme hatasında korund (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kristalleri ve vollastonit hatasında da vollastonit (CaO.SiO<sub>2</sub>) kristalleri görülmektedir (Şekil 1).





Şekil 1. Hatalara ait SEM görüntüleri

### 3.2. Mikro X-Işını Kırınımı İncelemeleri

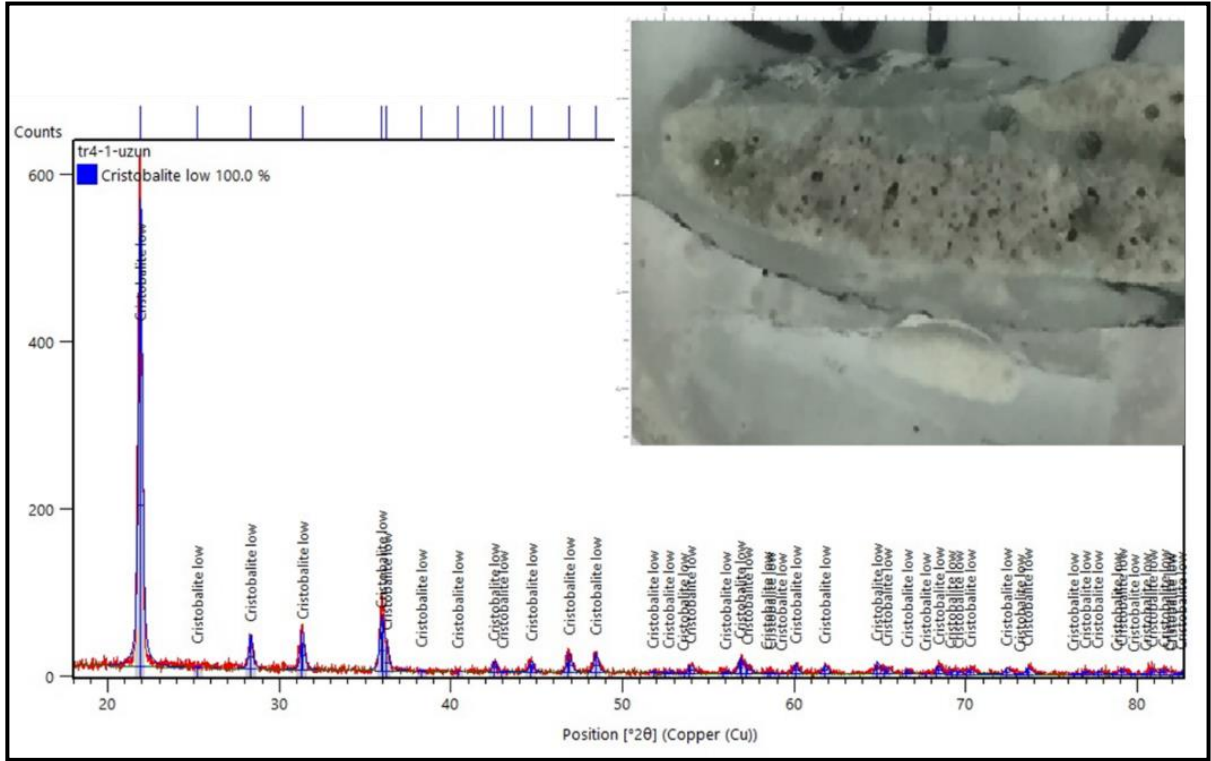
X Işını Kırınımı metodu, her bir kristal fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Teorik olarak Bragg Yasasına dayanan bu metotta, bir X-ışını tüpünden numune üzerine gönderilen ışının numunedeki kristal yapıya bağlı olarak kırınımına uğraması ve bunun bir dedektör ile algılanıp spektrumda pikler olarak gösterilmesi gerçekleşir (Bragg, 1934; Koralay ve Ören, 2020).

Mikro X-ışını kırınım analizi ( $\mu$ XRD) çok küçük bir numune alanının incelemesini sağlayan bir yapısal analiz tekniğidir. Geleneksel XRD gibi,  $\mu$ XRD de kristal malzemelerin yapısı hakkında bilgi edinmek için X-ışınlarının numune üzerine gönderilip kırınım yapması esasına dayanır. Bir mono kapiler optik yardımıyla numune üzerine X-ışını gönderilir. Mono kapiler kullanılmasının avantajı artan X-ışını yoğunluğu olup analiz hassasiyetini sağlar. Yapılan XRD analizlerindeki faz tayinleri,

2theta 10-90° aralığındaki XRD spektrumlarından Highscore Plus yazılımı detaylı inceleme sonucunda yapılmıştır.

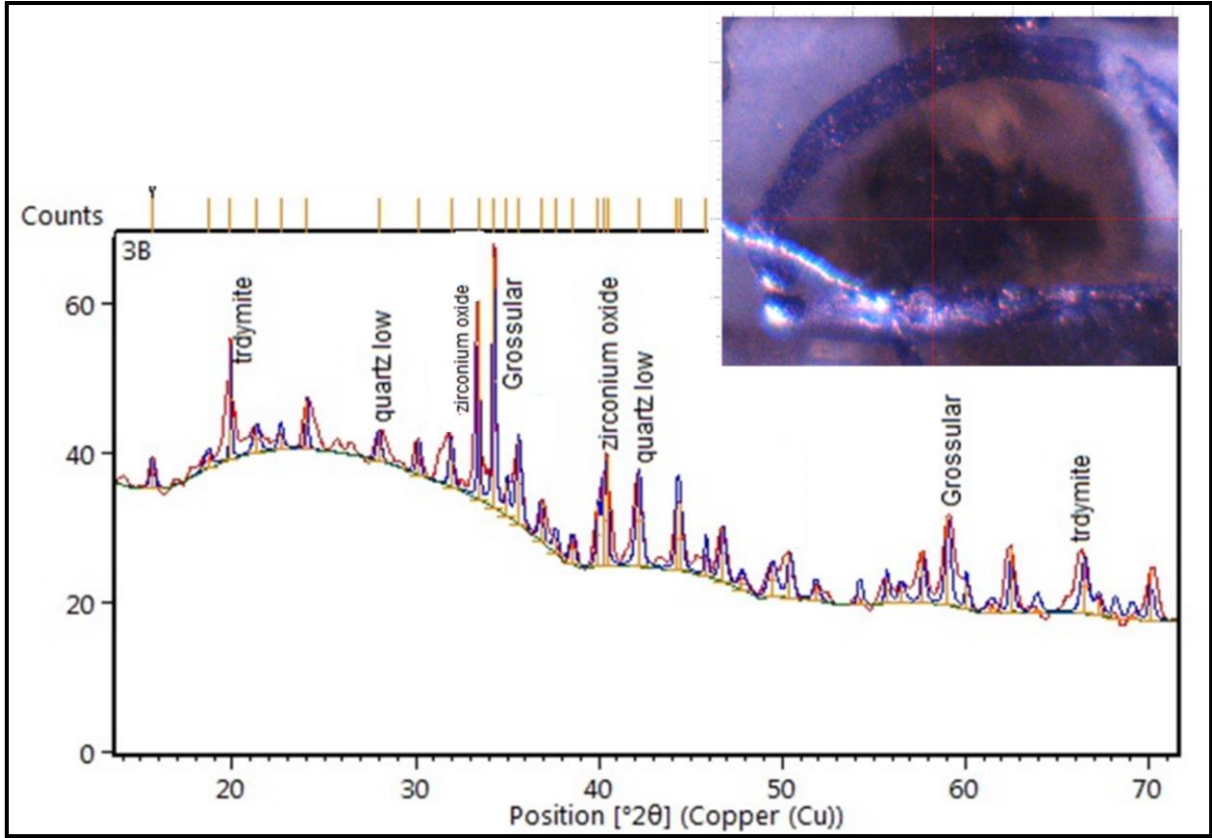
İncelenen hataların boyutları, 500 µm ve 1 mm arasında değişmekte olup iri hatalardan elde edilen XRD spektrumu (Şekil 2) oldukça net iken; küçük boyutlu hataların XRD spektrumlarında camdan gelen amorf etki görülmektedir (Şekil 3-4-5).

Kristobalit hatasında tek faz olan “kristobalit” tespit edilmiştir. AZS hatasında amorf etkisiyle beraber “zirkonyum oksit, tridimit, grossular” fazları, alüminöz malzeme hatasında “korund, nefelin, kristobalit” fazları ve vollastonit hatasında “vollastonit, diyopsit” fazları belirlenmiştir.

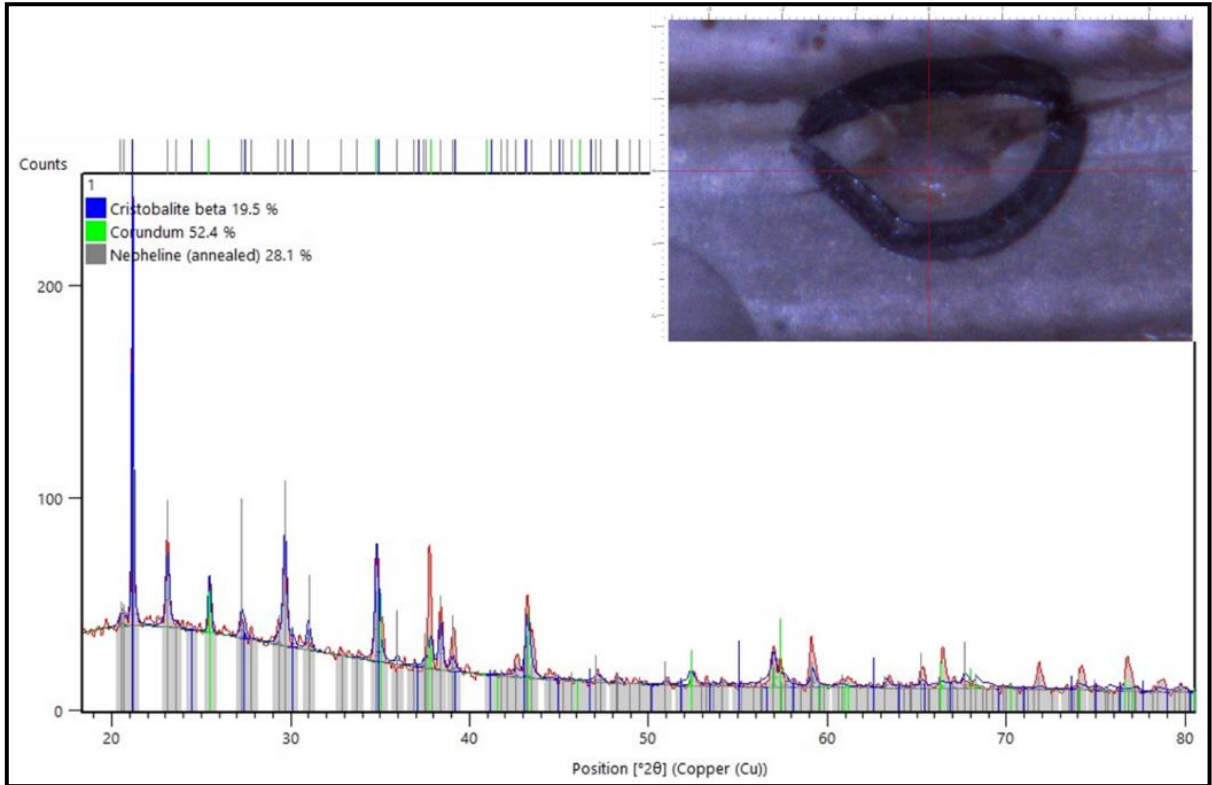


Şekil 2. Kristobalit hatasına ait XRD spektrumu

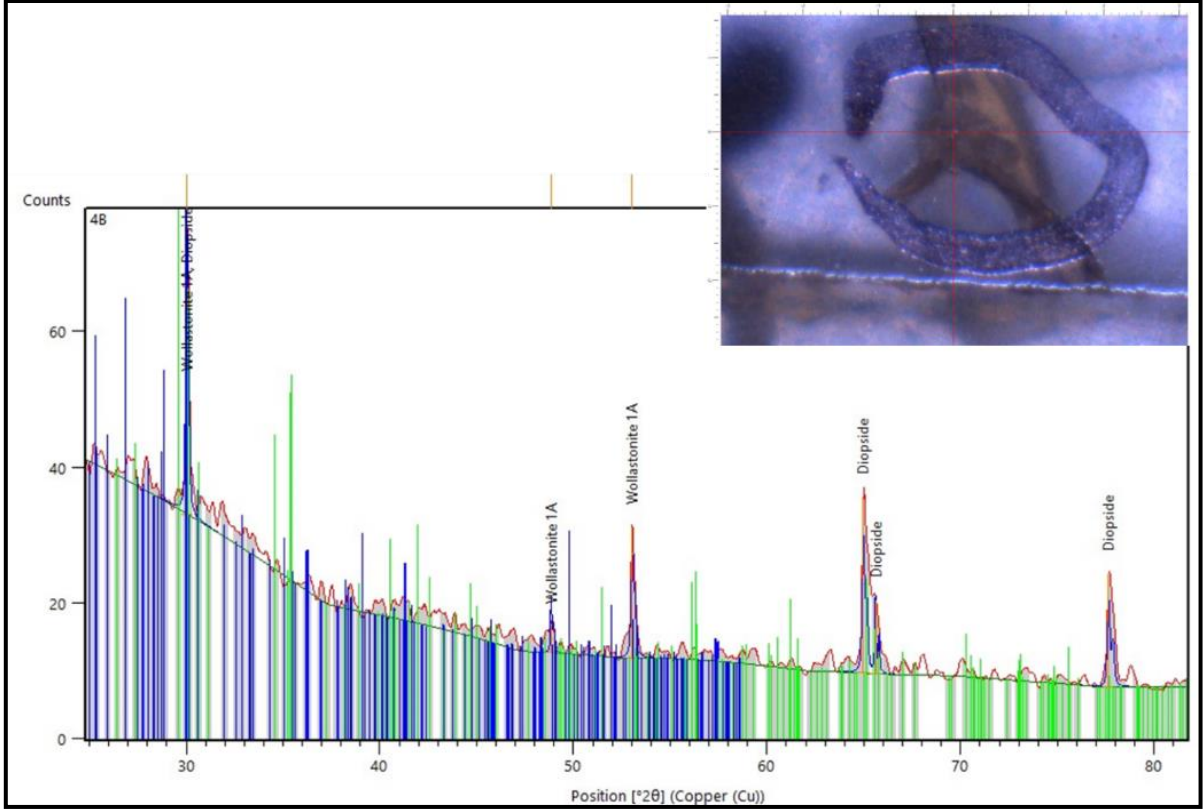




Şekil 3. AZS hatasına ait XRD spektrumu



Şekil 4. Alüminöz malzeme hatasına ait XRD spektrumu

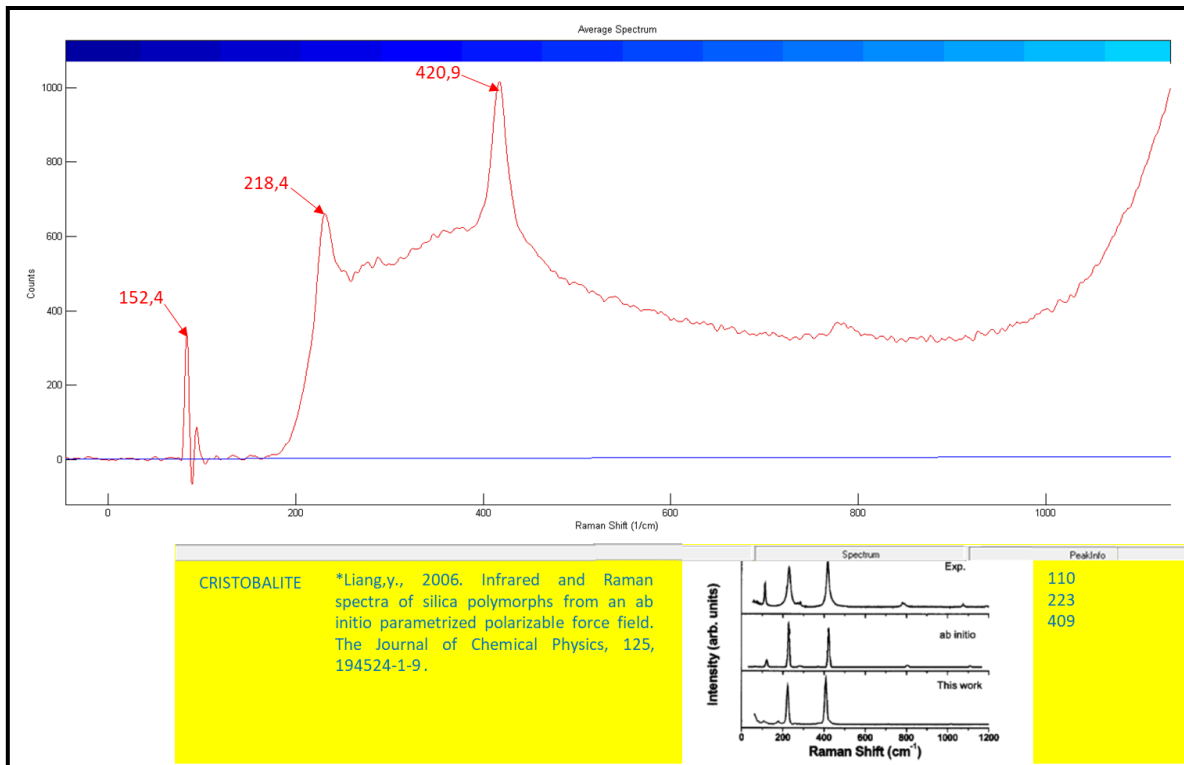


**Şekil 5.** Wollastonit hatasına ait XRD spektrumu

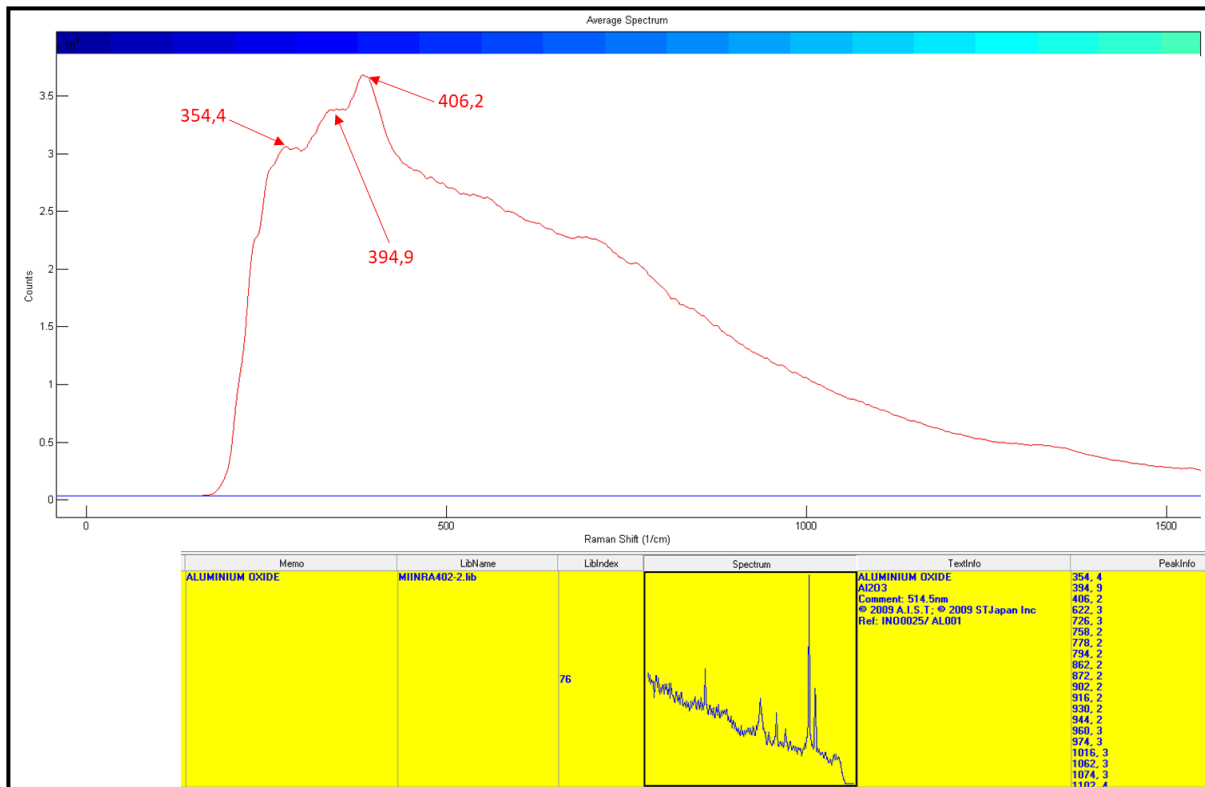
### 3.3. Mikro Raman Spektrometre İncelemeleri

Monokromatik bir ışının (lazer) numune üzerine gönderilmesi ve numunedeki moleküllerin titreşimlerine bağlı olarak elastik olmayan saçılım (Raman saçılması) yapması esasına dayanır. Raman saçılması, her bir molekülün titreşimlerine bağlı olduğu için moleküllerin parmak izi niteliğini taşımaktadır (Deniz, 2010; Akçe ve Kadioğlu, 2020).

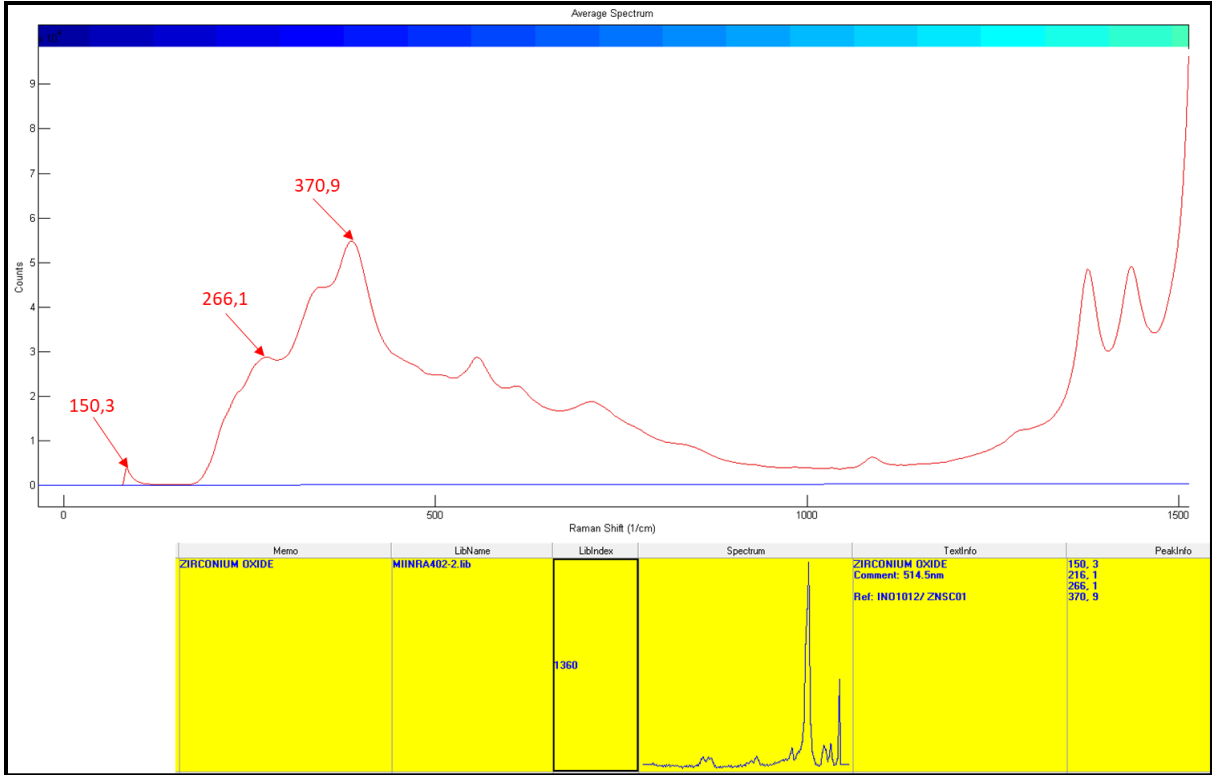
İncelenen hatalarda kristobalite ait spektrumda 110, 223 ve 409  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayısında “kristobalit” fazına ait pikler tespit edilmiştir (Şekil 6) (Liang, 2006). AZS hatasının Raman analizinde iki ayrı noktadan alınan analizde 354, 394 ve 406  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayılarında “alüminyum oksit” ve 150, 216, 266 ve 370  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayılarında “zirkonyum oksit” fazları tespit edilmiştir (Şekil 7). Dolayısıyla aynı hatanın farklı noktalarından alınan bu iki sonuç, Raman ile incelenecek hatanın homojen olması gerekliliğini göz önüne getirmektedir. Alüminöz malzeme hatası için 266, 306, 326, 384 ve 414  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayılarında “korund” fazına ait ve wollastonit hatası için 334, 410, 636, 996 ve 1044  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayılarında “wollastonit” fazına ait pikler tespit edilmiştir (Şekil 8-9).



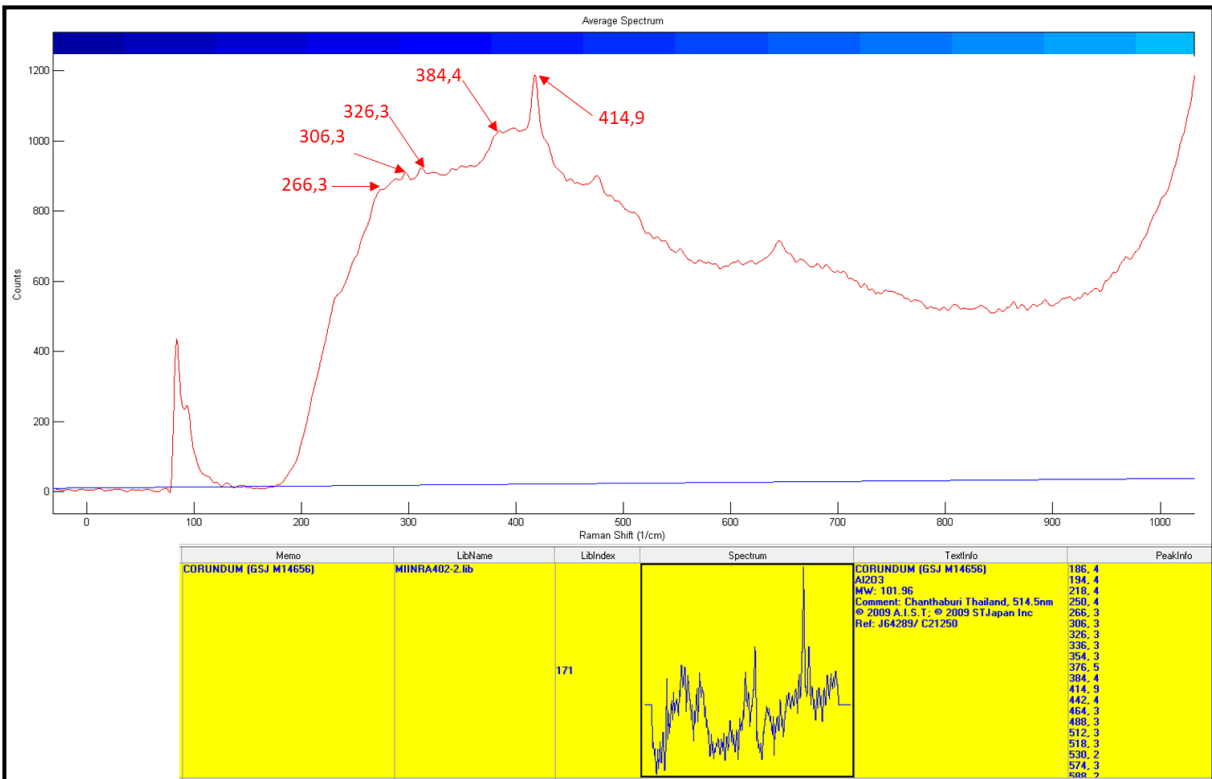
Şekil 6. Kristobalit hatasına ait Raman spektrumu



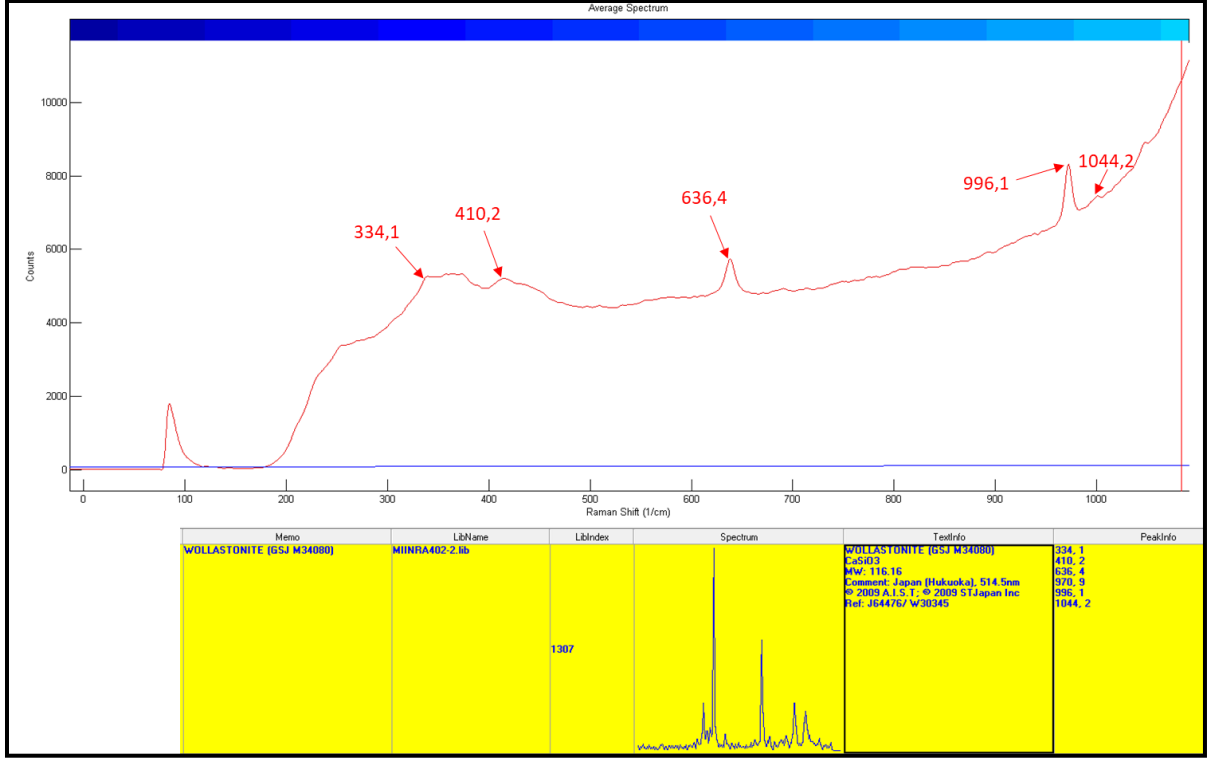




Şekil 7. AZS hatasına ait Raman spektrumu



Şekil 8. Alüminöz malzeme hatasına ait Raman spektrumu



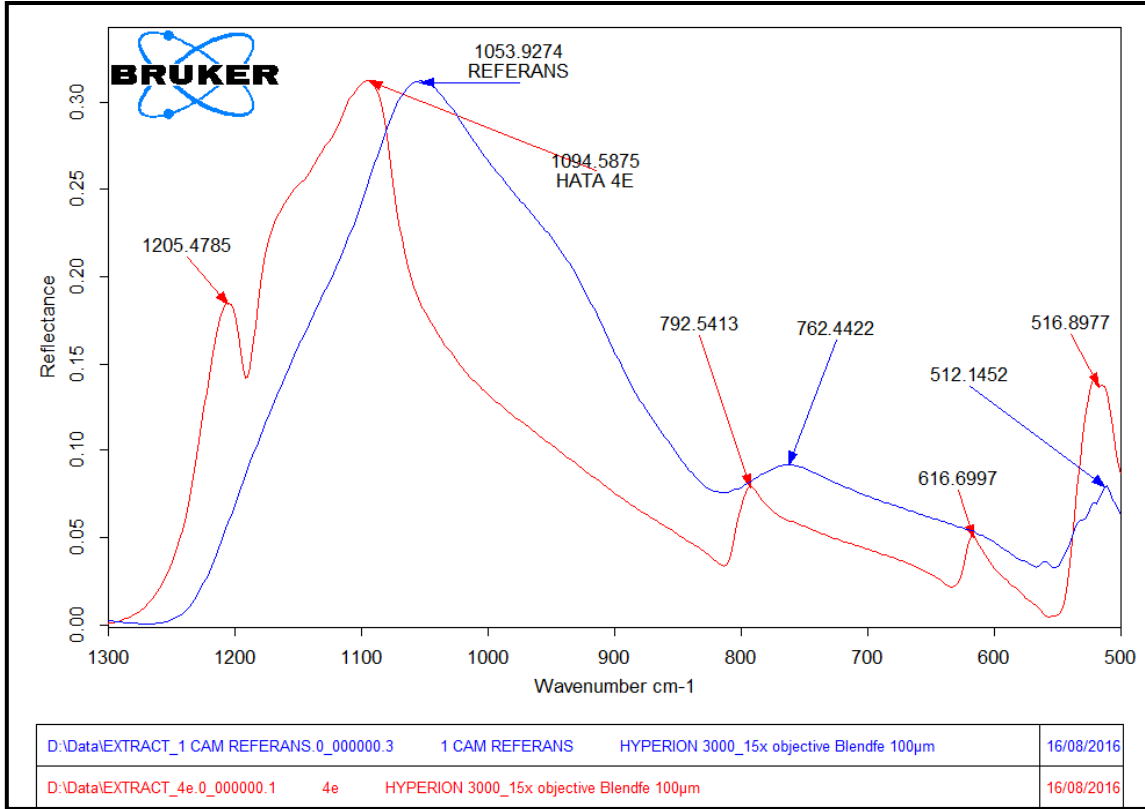
Şekil 9. Wollastonit hatasına ait Raman spektrumu

### 3.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi İncelemeleri

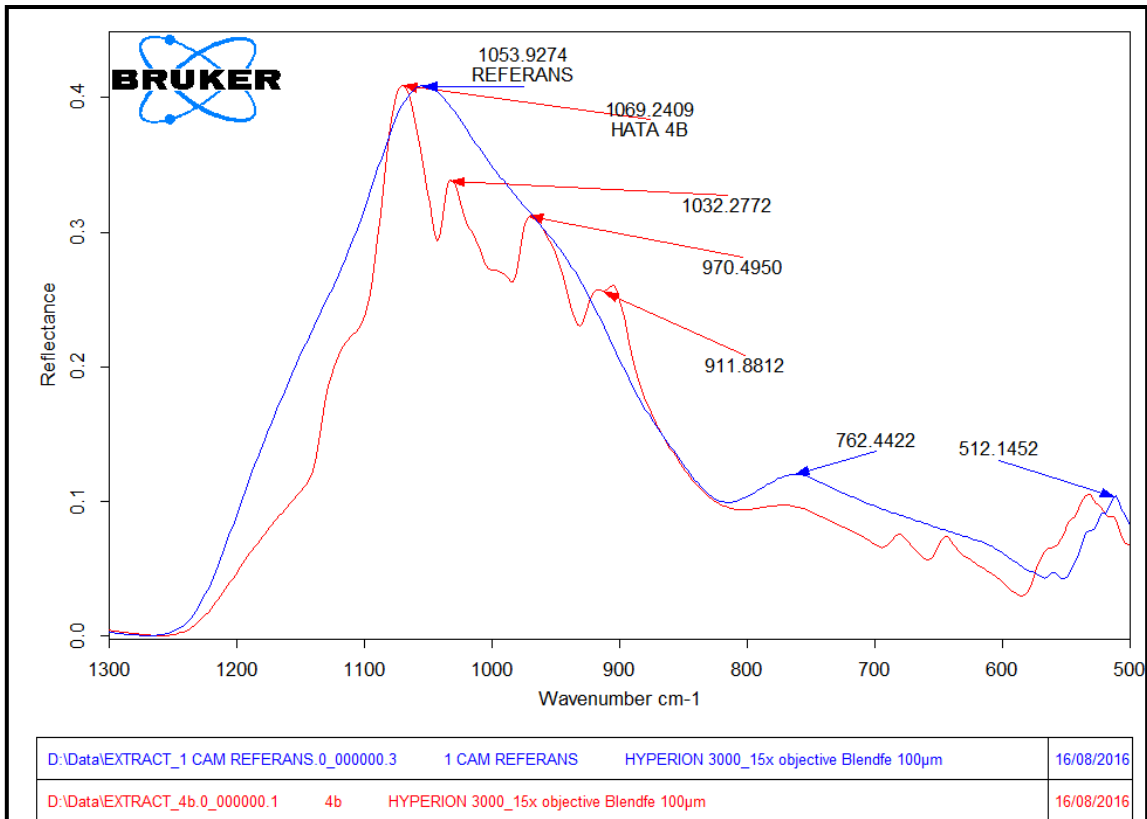
Kızılötesi ışının numune üzerine gönderilip numunede bulunan moleküllerin dönme, titreşme hareketleriyle absorbe edilmesi esasına dayanan bu metot; genellikle organik numuneler için kullanılmakta olup inorganik numunelerle yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır (Miller ve Wilkins, 1952). Bu yöntemle elde edilen spektrum; moleküllerin bağ tipleri, bağ yapıları ve moleküllerin fonksiyonel gruplarına bağlı olduğu için Raman spektroskopisinde olduğu gibi moleküllerin parmak izi niteliğindedir.

Kristobalit hatasından specular reflectance tekniği ile alınan IR spektrumunda camdan farklı olarak 4 adet pik tespit edilmiştir (Şekil 10). Cam yapısında 1050 ve 760  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayısında gözlenen Si-O-Si bağının gerilme bandına ait olan piklerin spektrumda daha yüksek dalga sayısına ait olan bölgeye doğru kaydığı gözlenmiştir. Bunun nedeni, cam yapısında bulunan Si-O-Si bağının kimyasal çevresi (soda içeriği) ile silika yapısında bulunan Si-O-Si bağının kimyasal çevresinin farklı olmasından kaynaklıdır (Lippincott ve ark., 1958).

Wollastonit hatasından alınan IR spektrumunda silikaya ait 1050  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayısında gözlenen IR bandının 4 gruba ayrıldığı görülmüştür (Şekil 11). Bunlardan 1069 ve 1032  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayısına ait pikler Si-O-Si gerilme bandını (köprü yapan oksijen BO); 970 ve 911  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayısına ait pikler Si-O gerilme bandını (köprü yapmayan oksijen NBO) temsil etmektedir (RRUFF Database, RRUFF ID: R040131).



Şekil 10. Kristobalit hatasına ait IR spektrumu



Şekil 11. Vollaştonit hatasına ait IR spektrumu

#### 4. Tartışma

Bu çalışmada kullanılan analitik cihazlar, prensipleri farklı temellere dayanan fakat sonuçları birbiri ile karşılaştırılabilen veriler ortaya koymaktadır. Bir silika segregasyon hatasının kompozisyonu ağırlıklı olarak  $\text{SiO}_2$ 'den oluşmaktadır; mikro yapısı ya da fazı ise kaynağı işaret etmektedir. Mikro yapıdaki ve faz tayinindeki tridimit kristalleri ham maddeye işaret ederken; kristobalit kristallerinin varlığı fırında kalış süresine bağlı olarak işletme şartlarına ve/veya refrakterlere işaret etmektedir. Dolayısıyla tüm bu analitik tekniklerin birbiri ile uyumu hataların tespiti ve giderilmesi için alınacak önlemleri belirlemektedir. Analizlerin doğru ve hızlı yürütülmesi her zaman mümkün olmamaktadır; dolayısıyla her bir tekniğin başka bir alternatifinin olması cam üretiminde zaman kaybı olmaması adına çok önemlidir.

Farklı tekniklerin karşılaştırmalarının sonuçlarına göre hataların inhomojen olması tanımlanmasında tekniğin önemine vurgu yapmaktadır. Ayrıca mikro yapının incelenmesinin de kaçınılmaz olduğu ortaya konmuştur (Tablo 2).

**Tablo 2.** Hataların farklı metotlarla elde edilen karşılaştırmalı sonuçları

HATA	SEM/EDS	Micro XRD	Micro Raman	FTIR
<b>Silika segregasyon (kristobalit)</b>	%100 $\text{SiO}_2$ Silika	Kristobalit	Kristobalit	Kristobalit
<b>AZS</b>	%43 $\text{Al}_2\text{O}_3$ %4 $\text{ZrO}_2$ AZS	Zirkonyum oksit, tridimit, grossular	Alüminyum oksit Zirkonyum oksit	-
<b>Alüminöz malzeme</b>	%80 $\text{Al}_2\text{O}_3$ Korund	Korund, nefelin, kristobalit	Korund	-
<b>Alüminöz malzeme</b>	%49 $\text{Al}_2\text{O}_3$ %1.5 $\text{TiO}_2$ Alüminöz	Korund, kuvars, disodyum silikat, sillimanit	Korund	-
<b>Vollastonit</b>	%60 $\text{SiO}_2$ %32 CaO Vollastonit	Vollastonit, diyopsit	Vollastonit	Vollastonit

#### 5. Sonuçlar

Bu çalışmada amaçlanan, cam hatalarının farklı metotlarla hızlı ve doğru bir şekilde tanımlanabilmesi ve kaynağı hakkında yorum yapılabilmesi olup bu metotların uygulanabilirliği tartışılmaktadır (Clark-Monks ve Parker, 1980).

SEM-EDS metodu yarı kantitatif kimyasal kompozisyon ile mikroyapı incelemesi gerektirmektedir.  $\mu\text{XRD}$  analizi ile hatanın kristal fazı elde edilmiştir. Raman ve FTIR analizleri ise numunenin kimyasal bağlarına göre sonuç verdiği için spektrum karşılaştırması gerektirmektedir. Kristobalit ve

vollastonit hatası, bütün yöntemlerle doğru bir şekilde tespit edilirken; AZS ve alüminöz malzeme hatalarının FTIR analiz sonuçlarında bir veri elde edilememiştir. FTIR spektrumunun yorumlanması detaylı bir literatür araştırması gerektirmekte olup, elde edilen bulgular bu yöntemin cam hatası tanımlanmasında uygulanamayacağını göstermektedir. Raman spektroskopisi metodunda ise hatanın homojen olması gerekliliği göze çarpmaktadır.

Hata tayininde en uygun yöntem hali hazırda kullanılan stereo mikroskop ve SEM-EDS ile bulguları faz tayiniyle destekleyen  $\mu$ XRD olacaktır. Faz tayininin yapılabilmesinin cam hatalarının kaynağının tespiti bakımından önemi, kristalin oluşum sıcaklığı konusunda yorum yapılabildiğinden hatanın kaynağı yani cam üretim sürecinde nereden kaynaklandığının tespiti konusunda öngörü yapma olanağı sunmasıdır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Bu çalışmanın tüm yazarları, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Araştırmanın konusu birinci ve ikinci yazar tarafından belirlenmiştir. Tüm yazarlar, deneysel tasarım ve çalışmalarına, makale yazımı ve görselleştirilmesine eşit oranda katkıda bulunmuştur.

### **Kaynakça:**

- Akçe MA., Kadioğlu YK. Raman spektroskopisinin ilkeleri ve mineral tanımlamalarında kullanılması. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi 2020; 9(2): 99-115.
- Aldinger BS., de Haan PW. Color Atlas of glass container defects. American Glass Research 2019; 32.
- Aydın E. Cam üretiminde sorunlu alanlar. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları 2012; 54-65.
- Babcock GL. Silicate glass technology methods. JohnWiley&Sons, 1978;48-49.
- Bartuška M. Glass defects. Práh 2008; 23-112.
- Bragg WL. The crystalline state: Volume I. New York: The Macmillan Company, 1934.
- Clark-Monks C., Parker JM. Stones and cord in glass. Society of Glass Technology 1980; 58-79.
- Deniz K., Buzlukdağı (Kırşehir) alkali magmatik kayaların jeolojisi, petrolojisi ve konfokal Raman spektrometresi ile incelenmesi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi; 2010; 64-65.
- Koralay T., Ören U. Determination of spectroscopic features and gemstone potential of garnet crystals from the Çamköy region (Aydın-SW Turkey) using XRPD, XRF, Confocal Raman Spectroscopy, EPMA and gemological test methods. Periodico di Mineralogia 2020; 89(2): 105-123.
- Liang Y. Infrared and Raman spectra of silica polymorphs from an ab initio parametrized polarizable force field. The Journal of Chemical Physics 2006; 125: 194524-1-9.

- Lippincott ER., Van Valkenburg A., Weir CE. Bunting EN. Infrared studies on polymorphs of silicon dioxide and germanium dioxide. *Journal of Research of the National Bureau Standards*, E.N. 1958; 61: 61-70.
- Miller FA., Wilkins CH. Infrared spectra and characteristic frequencies of inorganic ions. *Analytical Chemistry* 1952; 24: 1253-1294.
- Prieto MAG., Canteli AF. Characterization of glass defects. *Journal of Materials Science Letters* 2002; 21: 109-111.

## Yeni Tip $q$ -Stancu-Durrmeyer Operatörlerinin Lokal Yaklaşım Özellikleri

Pembe SABANCIGİL<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Mathematics, Eastern Mediterranean University, Gazimağusa, TRNC, Mersin 10, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-9838-9445>

\*Sorumlu yazar: pembe.sabancigil@emu.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi:09.07.2023

Kabul tarihi:18.11.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

$q$ -Bernstein polinomları

$q$ -Stancu operatörleri

Süreklilik modülü

Lokal yaklaşım

### ÖZ

Bu çalışmada, yeni tip  $q$ -Stancu-Durrmeyer operatörleri (kısaca  $q$ -SD operatörleri) tanımlanmıştır. Bu operatörlerin birinci dereceden ve ikinci dereceden momentleri  $U_z^{q,\alpha}(t^j, \tau)$ ,  $j = 0, 1, 2$  için hesaplanmıştır. İkinci dereceden merkezi momenti için de tahmini değer hesaplaması yapılmıştır. Ayrıca, ikinci dereceden süreklilik modülü kullanılarak  $q$ -SD operatörlerinin lokal yaklaşım özellikleri incelenmiş ve  $\beta$  derece Lipschitz sınıfı maksimal fonksiyon aracılığıyla tahmini yaklaşım hızı verilmiştir.

## Local Approximation Properties for the New Type $q$ -Stancu-Durrmeyer Operators

### Research Article

#### Article History:

Received: 09.07.2023

Accepted: 18.11.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

$q$ -Bernstein polynomials

$q$ -Stancu operators

Modulus of continuity

Local approximation

### ABSTRACT

In this article, new kind  $q$ -Stancu-Durrmeyer operators (or shortly  $q$ -SD operators) are defined. For these operators, first order and second order moments  $U_z^{q,\alpha}(t^j, \tau)$  are calculated for  $j = 0, 1, 2$ . An estimation for the second order central moment  $U_z^{q,\alpha}((t - \tau)^2, \tau)$ , is given. Furthermore, through the use of the second modulus of continuity, approximation properties of the  $q$ -SD operators in the local sense are examined and by using  $\beta$  order Lipschitz kind maximal function, a direct estimation for the  $q$ -SD operators is given.

**To Cite:** Sabancigil P. Local Approximation Properties for the New Type  $q$ -Stancu-Durrmeyer Operators. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 310-319.

### 1.Introduction

In 1967, an integral variation of the popular Bernstein polynomials is proposed by J.L. Durrmeyer for the aim of approximating the Lebesgue integrable functions on the closed interval  $[0,1]$  (Durrmeyer, 1967). This integral variation was handled in many other forms by some other authors. One year later, in 1968, again inspired by the Bernstein polynomials, D.D. Stancu proposed the positive linear operators depending on the parameter  $\alpha$  (Stancu, 1968). On the other hand, the applications of quantum calculus (or calculus without limitations) in the theory of approximation by positive linear operators have come to a very important place in the last few decades. There are many papers related with this topic (see for example: Gupta, 2008; Gupta and Finta, 2008; Gupta and Heping, 2008; Mahmudov and Sabancigil, 2010; Narayan and Patel, 2013; Neer, et. al., 2017; Nowak, 2009; Phillips,

1997; Sabancıgil, 2023; Sabancıgil, 2021; Sabancıgil 2022 and etc.). Stancu's operators are modified by G. Nowak using the  $q$ -integers and thus in 2009,  $q$ -Stancu operators was born (Nowak, 2009). For the aim of approximating functions with the continuity property, the authors V. Gupta and W. Heping proposed a new variant of the Durrmeyer operators by using the concepts of the quantum calculus, (Gupta and Heping, 2008). These new operators are given explicitly as below:

$$\Delta_{z,q}(\zeta, \tau) := \zeta(0)\chi_{z,0}(q, \tau) + [z+1] \sum_{\kappa=1}^z \frac{1}{q^{\kappa-1}} \chi_{z,\kappa}(q, \tau) \int_0^1 \chi_{z,\kappa-1}(q, qt) \zeta(t) d_q t$$

$$\text{where } \chi_{z,\kappa}(q, \tau) = \begin{bmatrix} z \\ \kappa \end{bmatrix} \tau^\kappa \prod_{\ell=0}^{z-\kappa-1} (1 - q^\ell \tau).$$

In 2010, genuine type  $q$ -Bernstein-Durrmeyer operators are investigated by N. Mahmudov and P. Sabancıgil (Mahmudov and Sabancıgil, 2010). For  $0 < q < 1$ , a few direct local and global approximation properties of the  $q$  version of Durrmeyer operators are examined by V. Gupta and Z. Finta (Gupta and Finta, 2008). Stancu-Chlodowsky polynomials are studied by I. Buyukyazici (Buyukyazici, 2010). In 2012, approximation properties of two dimensional  $q$ -Bernstein-Chlodowsky-Durrmeyer operators are studied by I. Buyukyazici and H. Sharma (Buyukyazici and Sharma, 2012). The Stancu-Chlodowsky operators based on  $q$ -calculus are studied by E. Tas, C. Orhan and T. Yurdakadim in 2013 (Tas, Orhan and Yurdakadim, 2013). Stancu type modification of  $q$ -Durrmeyer operators are studied by V. Narayan and P. Patel (Narayan and Patel, 2013). They established the convergence rate and they constructed a Voronovskaja type asymptotic formula for their operators. In 2017, T. Neer, P.N. Agrawal and S. Araci proposed  $q$ -version of the Stancu-Durrmeyer operators by modifying  $q$ -Bernstein operators via  $q$ -Jackson integration (Neer, Agrawal and Araci, 2017). They established some estimations for the moments and invented properties of convergence in the local sense, by using  $\beta$  order Lipschitz kind maximal function, they gave a direct estimation. In 2018, as a continuation of the work in this article, T. Neer, A.M. Acu and P. Agrawal extended the previous work and they established  $q$ -SD operators based on two variables (Neer, Acu and Agrawal, 2018). Recently, in 2023, P. Sabancıgil proposed the genuine type  $q$ -Stancu-Bernstein-Durrmeyer operators and consider them from different aspects (Sabancıgil, 2023). Thus, we see that the theory of approximation using positive linear operators became an important area of research in the last few decades and these operators have many applications in other branches besides mathematics such as engineering, computer aided geometric design, statistics, etc. Here, in the present article, in order to provide a contribution to this area, we propose the latest  $q$ -SD type operators which are called  $U_z^{q,\alpha}$ . We calculate 1st and 2nd order moments explicitly and we present an estimation for the second order central moment. Furthermore, with the use of the second modulus of smoothness, we invent approximation properties of the  $q$ -SD operators in the local sense and by using Lipschitz kind maximal function of order  $\beta$ , we give a direct estimation for the  $q$ -SD operators again in the local sense.



We are going to start by presenting some symbols, definitions and notations related with the  $q$ -integers and more generally with quantum analysis.

Assume that  $q$  is a positive real number. For any  $z \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ , the  $q$ -integer  $[z] = [z]_q$  is defined by

$$[z] := q^{z-1} + \dots + q + 1, \quad [0] := 0,$$

and the  $q$ -factorial  $[z]! = [z]_q!$  is defined by  $[z]! = [z] \dots [2][1]$ ,  $[0]! = 1$ .

If  $k$  and  $z$  are integers satisfying  $0 \leq k \leq z$ , the  $q$ -version of the binomial is expressed by

$$\begin{bmatrix} z \\ k \end{bmatrix} := \frac{[z]!}{[k]![z-k]}.$$

Throughout the present article, We are going to make use of the below notations:

$$(1-\tau)_q^z := \prod_{\kappa=0}^{z-1} (1-q^\kappa \tau), \quad p_{z,k}(q, \tau) := \begin{bmatrix} z \\ k \end{bmatrix} \tau^k (1-\tau)_q^{z-k},$$

$$p_{z,k}^\alpha(q, \tau) := \begin{bmatrix} z \\ k \end{bmatrix} \prod_{\ell=0}^{k-1} (\tau + \alpha[\ell]) \frac{\prod_{\kappa=0}^{z-1-k} (1-q^\kappa \tau + \alpha[\kappa])}{\prod_{\ell=0}^{z-1} (1 + \alpha[\ell])}, \quad 0 \leq k \leq z,$$

$$p_{z,k}^\alpha(q, 1) = 0, \quad p_{z,z}^\alpha(q, 1) = 1, \quad \prod_{s=0}^{-1} (*) = 1, \quad \alpha \geq 0.$$

Assume that  $\Omega > 0$ , then the  $q$ -version of the integral on the closed interval  $[0, \Omega]$  is given by

$$\int_0^\Omega \zeta(t) d_q t := \Omega(1-q) \sum_{\kappa=0}^{\infty} \zeta(\Omega q^\kappa) q^\kappa, \quad \text{where } 0 < q < 1.$$

## 2. $q$ -SD Operators and Their Moments

**Definition 1.** Suppose that  $\zeta \in C[0,1]$ ,  $\alpha \geq 0$  and  $q \in (0,1)$ . Explicit definition of the  $q$ -SD operators is stated as below:

$$U_z^{q,\alpha}(\zeta, \tau) = p_{z,0}^\alpha(q, \tau) \zeta(0) + [z+1] \sum_{k=1}^z q^{1-k} p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \int_0^1 p_{z,k-1}(q, qt) \zeta(t) d_q t.$$

Explicit formulae of the moments  $U_z^{q,\alpha}(t^j, \tau)$  for  $j = 0, 1, 2$  and an estimation for the 2nd central moment  $U_z^{q,\alpha}((t-\tau)^2, \tau)$  are obtained in the following lemma.

**Lemma 1.**  $U_z^{q,\alpha}(1, \tau) = 1$ ,  $U_z^{q,\alpha}(t, \tau) = \frac{[z]}{[z+2]} \tau$ ,

$$U_z^{q,\alpha}(t^2, \tau) = \frac{[z]}{[z+2][z+3]} \tau + \frac{q[z]^2}{[z+2][z+3](1+\alpha)} \left( \tau^2 + \alpha\tau + \frac{(\tau-\tau^2)}{[z]} \right),$$

$$U_z^{q,\alpha}((t-\tau)^2, \tau) \leq \left( \alpha + \frac{6+\alpha}{[z+2]} \right) \left( \frac{(\tau-\tau^2)}{1+\alpha} + \frac{1}{[z+2]} \right) \text{ for } \tau \in [0,1].$$

**Proof.** Thanks to the explanation of the  $q$  version of the Beta function (Kac, 2002), we have for  $\nu = 0, 1, 2, \dots$ ,

$$\begin{aligned} \int_0^1 t^\nu p_{z-2, k-1}(q, qt) d_q t &= \begin{bmatrix} z-2 \\ k-1 \end{bmatrix} q^{k-1} \int_0^1 t^{k+\nu-1} (1-qt)_q^{z-1-k} d_q t \\ &= \frac{q^{k-1} [z-2]!}{[k-1]! [z-1-k]!} \frac{[k+\nu-1]! [z-1-k]!}{[z+\nu-1]!} = \frac{q^{k-1} [z-2]! [k+\nu-1]!}{[k-1]! [z+\nu-1]!}. \end{aligned}$$

For obtaining the desired equalities and the inequality given in Lemma 1, we will get help from the following equalities which are available in the paper of Nowak (2009):

$$\sum_{k=0}^z p_{z,k}^\alpha(q, \tau) = 1, \quad \sum_{k=0}^z p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \frac{[k]}{[z]} = \tau, \quad \sum_{k=0}^z p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \frac{[k]^2}{[z]^2} = \frac{1}{1+\alpha} \left( \tau^2 + \alpha\tau + \frac{(\tau - \tau^2)}{[z]} \right).$$

$$U_z^{q,\alpha}(1, \tau) = p_{z,0}^\alpha(q, \tau) + [z+1] \sum_{k=1}^z q^{1-k} p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \int_0^1 p_{z,k-1}(q, qt) d_q t.$$

Now, if we evaluate the integral on the right side of the last equality and by using the above identities,

$$\begin{aligned} \text{we get, } U_z^{q,\alpha}(1, \tau) &= p_{z,0}^\alpha(q, \tau) + [z+1] \sum_{k=1}^z q^{1-k} p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \frac{q^{k-1} [z]! [k-1]!}{[k-1]! [z+1]!} \\ &= p_{z,0}^\alpha(q, \tau) + \sum_{k=1}^z p_{z,k}^\alpha(q, \tau) = \sum_{k=0}^z p_{z,k}^\alpha(q, \tau) = 1. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_z^{q,\alpha}(t, \tau) &= [z+1] \sum_{k=1}^z q^{1-k} p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \int_0^1 t p_{z,k-1}(q, qt) d_q t \\ &= [z+1] \sum_{k=1}^z q^{1-k} p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \frac{q^{k-1} [z]! [k]!}{[k-1]! [z+2]!} \\ &= [z+1] \sum_{k=1}^z p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \frac{[k]}{[z+1][z+2]} \\ &= \sum_{k=0}^z p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \frac{[k]}{[z+2]} = \frac{[z]}{[z+2]} \sum_{k=0}^z p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \frac{[k]}{[z]} = \frac{[z]}{[z+2]} \tau. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_z^{q,\alpha}(t^2, \tau) &= [z+1] \sum_{k=1}^z q^{1-k} p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \int_0^1 t^2 p_{z,k-1}(q, qt) d_q t \\ &= [z+1] \sum_{k=1}^z q^{1-k} p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \frac{q^{k-1} [z]! [k+1]!}{[k-1]! [z+3]!} \\ &= \sum_{k=0}^z p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \frac{[k][k+1]}{[z+2][z+3]}, \end{aligned}$$

here in this last step we remember the trivial formula related with  $q$ -integers such that  $[k+1] = 1 + [k]q$ , so we obtain

$$\begin{aligned}
U_z^{q,\alpha}(t^2, \tau) &= \sum_{k=0}^z p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \frac{[k](1+[k]q)}{[z+2][z+3]} \\
&= \frac{1}{[z+2][z+3]} \left\{ q[z]^2 \sum_{k=0}^z p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \frac{[k]^2}{[z]^2} + [z] \sum_{k=0}^z p_{z,k}^\alpha(q, \tau) \frac{[k]}{[z]} \right\} \\
&= \frac{q[z]^2}{[z+2][z+3]} \frac{1}{1+\alpha} \left( \tau^2 + \alpha\tau + \frac{(\tau-\tau^2)}{[z]} \right) + \frac{[z]\tau}{[z+2][z+3]}.
\end{aligned}$$

Now to estimate  $U_z^{q,\alpha}((t-\tau)^2, \tau)$  for  $\tau \in [0, 1]$ , we use the following estimation which is previously given in the paper of Gupta and Finta (2009):

$$(q[z] + [z]) + (q[z]^2 - q[z]) - 2[z+3][z] + [z+3][z+2] \leq 6.$$

It follows that

$$\begin{aligned}
U_z^{q,\alpha}((t-\tau)^2, \tau) &= \frac{[z](\alpha+1) + [z]^2 q\alpha + [z]q}{(\alpha+1)[z+2][z+3]} (\tau - \tau^2) \\
&\quad + \left( \frac{[z](q+1)}{[z+3][z+2]} + \frac{([z]-1)[z]q - 2[z+3][z] + [z+3][z+2]}{[z+3][z+2]} \right) \tau^2 \\
&\leq \left( \frac{[z]}{[z+2][z+3]} + \frac{[z]^2}{[z+2][z+3]} \frac{\alpha}{\alpha+1} + \frac{[z]}{[z+2][z+3](\alpha+1)} \right) (\tau - \tau^2) + \frac{6\tau^2}{[z+2][z+3]} \\
&\leq \left( \frac{(\alpha+2)[z]}{[z+2][z+3]} + 1 \right) (\tau - \tau^2) + \frac{6}{[z+2]^2} \\
&\leq \frac{\alpha}{\alpha+1} (\tau - \tau^2) + \frac{\alpha+2}{[z+2]} \frac{(\tau - \tau^2)}{\alpha+1} + \frac{6}{[z+2]^2} \\
&\leq \left( \alpha + \frac{\alpha+6}{[z+2]} \right) \left( \frac{(\tau - \tau^2)}{\alpha+1} + \frac{1}{[z+2]} \right).
\end{aligned}$$

■

### 3. Local Approximation for the $q$ -SD Operators

Under the present section, we will proceed to prove a theorem on the local approximation for the newly defined  $q$ -SD operators. Let us remember the K-functional which is explained as:

$$K_2(\zeta, \delta) := \inf \left\{ \|\zeta - \eta\|_{C[0,1]} + \delta \|\eta''\| : \eta \in C^2[0,1] \right\}, \quad \delta \geq 0,$$

where

$$C^2[0,1] := \{ \eta : \eta, \eta', \eta'' \in C[0,1] \}.$$

Then, thanks to a previously proved result which can be found in the book of Ditzian and Totik (1987), a constant  $M_1 > 0$  exists in such a way that satisfies the below inequality

$$K_2(\zeta, \delta^2) \leq M_1 \omega_2(\zeta, \delta) \tag{1}$$

$$\text{where } \omega_2(\zeta, \delta) := \sup_{0 < h \leq \delta} \sup_{\tau \pm h \in [0,1]} |\zeta(\tau - h) - 2\zeta(\tau) + \zeta(\tau + h)|$$

is the second modulus of smoothness of  $\zeta \in C[0,1]$ . Also let us remember the definition of the ordinary modulus of continuity  $\omega(\zeta, \delta)$  where

$$\omega(\zeta, \delta) = \sup_{0 < h \leq \delta} \sup_{\tau \in [0,1]} |\zeta(\tau + h) - \zeta(\tau)|.$$

Below, in Theorem 1, we obtain approximation properties of the  $q$ -SD operators,  $U_z^{q,\alpha}(\zeta, \tau)$ , in the local sense which is the main result of our article.

**Theorem 1** Let  $\zeta \in C[0,1]$ . Then for every  $\tau$ , satisfying  $0 \leq \tau \leq 1$ , a constant  $L > 0$  exists such that

$$|U_z^{q,\alpha}(\zeta, \tau) - \zeta(\tau)| \leq L \omega_2(\zeta, \sqrt{\delta_z(\tau)}) + \omega(\zeta, \beta_z(\tau)),$$

$$\text{where } \delta_z(\tau) = U_z^{q,\alpha}((t-\tau)^2, \tau) + (U_z^{q,\alpha}((t-\tau), \tau))^2 \text{ and } \beta_z(\tau) = |U_z^{q,\alpha}((t-\tau), \tau)|.$$

**Proof.** To prove this theorem, we will define the star  $q$ -SD operators  ${}^*U_z^{q,\alpha}$  as follows.

$${}^*U_z^{q,\alpha}(\zeta, \tau) = U_z^{q,\alpha}(\zeta, \tau) + \zeta(\tau) - \zeta(\rho_z(\tau))$$

$$\text{where } \zeta \text{ belongs to the space } C[0,1], \rho_z(\tau) = U_z^{q,\alpha}((t-\tau), \tau) + \tau = \frac{[z]}{[z+2]} \tau.$$

One can easily realize that  ${}^*U_z^{q,\alpha}((t-\tau), \tau) = 0$ .

If the method of Taylor is used, for  $\eta \in C^2[0,1]$ , we obtain

$$\eta(t) = \left( \int_{\tau}^t (t-r) \eta''(r) dr \right) + \eta'(\tau)(t-\tau) + \eta(\tau), \quad \eta \in C^2[0,1].$$

Applying star  $q$ -SD operators  ${}^*U_z^{q,\alpha}$  to L.H.S and R.H.S of the last equation, we have

$$\begin{aligned} {}^*U_z^{q,\alpha}(\eta, \tau) - \eta(\tau) &= {}^*U_z^{q,\alpha}((t-\tau)\eta'(\tau), \tau) + {}^*U_z^{q,\alpha}\left(\int_{\tau}^t (t-r)\eta''(r) dr, \tau\right) \\ &= \eta'(\tau) {}^*U_z^{q,\alpha}((t-\tau), \tau) + U_z^{q,\alpha}\left(\int_{\tau}^t (t-r)\eta''(r) dr, \tau\right) - \int_{\tau}^{\rho_z(\tau)} (\rho_z(\tau) - r)\eta''(r) dr \end{aligned}$$

$$= U_z^{q,\alpha} \left( \int_{\tau}^t (t-r)\eta''(r) dr, \tau \right) - \int_{\tau}^{\rho_z(\tau)} (\rho_z(\tau)-r)\eta''(r) dr.$$

Besides, through the use of the properties of absolute value of an integral, we get

$$\left| \int_{\tau}^t (t-r)\eta''(r) dr \right| \leq \int_{\tau}^t (t-r)|\eta''(r)| dr \leq \|\eta''\| \int_{\tau}^t (t-r) dr \leq \|\eta''\| (t-\tau)^2$$

and

$$\left| \int_{\tau}^{\rho_z(\tau)} (\rho_z(\tau)-r)\eta''(r) dr \right| \leq \|\eta''\| (\rho_z(\tau)-\tau)^2 = \|\eta''\| (U_z^{q,\alpha}(t-\tau, \tau))^2$$

which implies

$$\begin{aligned} |{}^*U_z^{q,\alpha}(\eta, \tau) - \eta(\tau)| &\leq \left| U_z^{q,\alpha} \left( \int_{\tau}^t (t-r)\eta''(r) dr, \tau \right) \right| + \left| \int_{\tau}^{\rho_z(\tau)} (\rho_z(\tau)-r)\eta''(r) dr \right| \\ &\leq \|\eta''\| \left\{ U_z^{q,\alpha}((t-\tau)^2, \tau) + (U_z^{q,\alpha}((t-\tau), \tau))^2 \right\}. \end{aligned}$$

Thus we get

$$|{}^*U_z^{q,\alpha}(\eta, \tau) - \eta(\tau)| \leq \|\eta''\| \delta_z(\tau). \tag{2}$$

We also have

$$|{}^*U_z^{q,\alpha}(\zeta, \tau)| \leq |U_z^{q,\alpha}(\zeta, \tau)| + |\zeta(\tau)| + |\zeta(\rho_z(\tau))| \leq U_z^{q,\alpha}(|\zeta|, \tau) + 2\|\zeta\| \leq 3\|\zeta\|.$$

Now, by using the uniform boundedness property of the star  $q$ -SD operators  ${}^*U_z^{q,\alpha}$  and using (2), we can state the following inequality,

$$\begin{aligned} |U_z^{q,\alpha}(\zeta, \tau) - \zeta(\tau)| &\leq |{}^*U_z^{q,\alpha}((\zeta - \eta), \tau)| + |{}^*U_z^{q,\alpha}(\eta, \tau) - \eta(\tau)| \\ &+ |\zeta(\tau) - \eta(\tau)| + |\zeta(\rho_z(\tau)) - \zeta(\tau)| \\ &\leq 4\|\zeta - \eta\| + \|\eta''\| \delta_z(\tau) + \omega(\zeta, \beta_z(\tau)). \end{aligned}$$

At this step, if we take the infimum of the R.H.S for all  $\eta \in C^2[0,1]$ , we may write

$$|U_z^{q,\alpha}(\zeta, \tau) - \zeta(\tau)| \leq 4K_2(\zeta; \delta_z(\tau)) + \omega(\zeta, \beta_z(\tau)),$$

which together with the inequality (1) completes the proof of the theorem.  $\blacksquare$

Now, before the statement of the second theorem, let us remember that a function  $\zeta \in C[0,1]$  is said to belong to the Lipschitz type space  $Lip_D(\beta)$ , ( $D > 0$  and  $0 < \beta \leq 1$ ), if it satisfies

$$|\zeta(t) - \zeta(\tau)| \leq D|t - \tau|^\beta, \text{ for all } t, \tau \in [0, 1]. \quad (3)$$

Taking into account the above explanation, we obtain Theorem 2 below.

**Theorem 2** Suppose that  $0 \leq \tau \leq 1$ . Then, for all  $\zeta \in Lip_D(\beta)$ ,  $z \in \mathbb{N}$  where  $\mathbb{N}$  is the set of natural numbers,  $\alpha \geq 0$  and  $0 < q < 1$ , we have

$$|U_z^{q,\alpha}(\zeta, \tau) - \zeta(\tau)| \leq D \left\{ \Phi_{\alpha,z}(\tau, q) \right\}^{\frac{\beta}{2}},$$

where

$$\Phi_{\alpha,z}(\tau, q) = \left( \alpha + \frac{\alpha + 6}{[z + 2]} \right) \left( \frac{(1 - \tau)\tau}{\alpha + 1} + \frac{1}{[z + 2]} \right)$$

and  $D$  is a constant which depends on  $\beta$  and  $\zeta$ .

**Proof.** Think of a function  $\zeta$  such that  $\zeta \in Lip_D(\beta)$ , ( $0 < \beta \leq 1$ ). By (3), we can write

$$\begin{aligned} |U_z^{q,\alpha}(\zeta, \tau) - \zeta(\tau)| &\leq U_z^{q,\alpha}(|\zeta(t) - \zeta(\tau)|, \tau) \\ &\leq D U_z^{q,\alpha}(|t - \tau|^\beta, \tau). \end{aligned}$$

Now, let us consider the inequality of Hölder and set  $p_1 = 2\beta^{-1}$  and  $p_2 = 2(2 - \beta)^{-1}$  in this inequality. After applying this to the last step, we will get

$$\begin{aligned} |U_z^{q,\alpha}(\zeta, \tau) - \zeta(\tau)| &\leq D \left\{ \left[ U_z^{q,\alpha}(|t - \tau|^{\beta p_1}, \tau) \right]^{\frac{1}{p_1}} \left[ U_z^{q,\alpha}(1^{p_2}, \tau) \right]^{\frac{1}{p_2}} \right\} \\ &= D \left\{ \left[ U_z^{q,\alpha}(|t - \tau|^2, \tau) \right]^{\frac{\beta}{2}} \right\}. \end{aligned}$$

In the last step, through the use of the estimation for  $U_z^{q,\alpha}((t - \tau)^2, \tau)$  which is given in Lemma 1, we continue as follows

$$\begin{aligned} |U_z^{q,\alpha}(\zeta, \tau) - \zeta(\tau)| &\leq D \left\{ \left[ \left( \alpha + \frac{\alpha + 6}{[z + 2]} \right) \left( \frac{(\tau - \tau^2)}{\alpha + 1} + \frac{1}{[z + 2]} \right) \right]^{\frac{\beta}{2}} \right\} \\ &= D \left\{ \left( \Phi_{\alpha,z}(\tau, q) \right)^{\frac{\beta}{2}} \right\} \end{aligned}$$

so that the proof of Theorem 2 is finished. ■

#### 4. Conclusion

Our goal in this article was to establish a new kind of  $q$ -Stancu-Durrmeyer operators ( $q$ -SD operators) which are completely different than the previously defined ones. By using the concept of the quantum analysis (in other words  $q$ -calculus), we derived a new kind of  $q$ -SD operators, we gave formulae for the 1st and the 2nd order moments,  $U_z^{q,\alpha}(t^j, \tau)$  for  $j=0,1,2$  and we found an estimation for the second order central moment,  $U_z^{q,\alpha}((t-\tau)^2, \tau)$ . Moreover, by using the 2nd modulus of continuity  $\omega_2(\zeta, \delta)$ , we examined approximation properties of the  $q$ -SD operators in the local sense and by using  $\beta$  order Lipschitz kind maximal function, we established a direct estimation for the  $q$ -SD operators again in the local sense.

#### Statement of Conflict of Interest

The author has declared no conflict of interest.

#### Author's Contributions

The contribution of the author is 100%.

#### References

- Büyükyazıcı İ. Approximation by Stancu-Chlodowsky polynomials. *Comput. and Math. with Appl.*, 2010; 59(1): 274-282.
- Büyükyazıcı İ. Direct and converse theorems for generalized Bernstein polynomials based on  $q$ -integers. *J. App. Func. Anal.*, 2012; 7(1/2): 81-97.
- Büyükyazıcı İ., Sharma H. Approximation properties of two dimensional  $q$ -Bernstein-Chlodowsky-Durrmeyer operators. *Numer. Func. Anal. and Opt.*, 2012; (12): 1351-1371.
- Ditzian Z., Totik V. *Moduli of smoothness*, Springer Verlag, New York, 1987.
- Durrmeyer JL. Une formule d'inversion de la transformée laplace, applications a la theorie des moments. These de 3e cycle, Faculte des Sciences de I Universite de Paris, 1967.
- Gupta V. Some approximation properties of  $q$ -Durrmeyer operators. *Appl. Math. Comput.* 2008; 197(1): 172-178.
- Gupta V., Finta Z. On certain  $q$ -Durrmeyer type operators. *Appl. Math. Comput.* 2009, doi: 10.1016/j.amc.2008.12.071.
- Gupta V., Heping W. The rate of convergence of  $q$ -Durrmeyer operators for  $0 < q < 1$ . *Math Methods Appl. Sci.* 2008; 31(16): 1946-1955.
- Kac V. Cheung, P. *Quantum Calculus*. Springer: New York, 2002.
- Lupas L., Lupas A. Polynomials of binomial type and approximation operators. *Studia Univ. BabeşBolyai, Mathematica*, 1987; (32): 61-69.

- Mahmudov NI., Sabancigil P. On genuine  $q$ -Bernstein-durrmeyer operators. Publ. Math. Debrecen 2010; 76(4): 221-229.
- Narayan V., Patel P. A short note on approximation properties of Stancu generalization of  $q$ -Durrmeyer operators, Fixed point theory and applications 2013; (84).
- Neer T., Agrawal PN., Araci S. Stancu-Durrmeyer Type operators based on  $q$ -Integers. Appl. Math.& Inf. Sci. 2017; 11(3): 767-775.
- Neer T., Acu A.M., Agrawal P.N. Approximation of functions by bivairate  $q$ -Stancu-Durrmeyer type operators, Math. Comm. 2018; 23(2): 161-180.
- Nowak G. Approximation properties for generalized  $q$ -Bernstein polynomials. J. Math. Anal. Appl. 2009; (350): 50-55.
- Phillips GM. Bernstein polynomials based on the  $q$  -integers. Annals of Numerical Mathematics 1997; (4): 511-518.
- Sabancigil P. Genuine  $q$  -Stancu-Bernstein-Durrmeyer Operators, Symmetry 2023; 15(2): 437, <https://doi.org/10.3390/sym15020437>.
- Sabancigil P. Some approximation properties of  $q$ -Stancu-Durrmeyer operators. The 5th Mediterranean International Conference of Pure & Applied Mathematics and Related Areas, MICOPAM 2022; 27-30 October, 2022, Antalya, Turkey.
- Sabancigil P. New  $q$ -Stancu-Durrmeyer operators and their moments. Euro Asia 8th. International Congress On Applied Sciences, 15-16 March, 2021, Tashkent Chemical-Technological Institute, Uzbekistan.
- Stancu DD. Approximation of functions by a new class of linear polynomial operators. Rev. Roum. Math. Pures Appl. 1968; (13): 1173-1194.
- Tas E., Orhan C., Yurdakadim T. The Stancu-Chlodowsky operators based on  $q$ -calculus. AIP Conf. Proc. 2013; 1558 (1): 1552-1155.



## Orta Anadolu Kristalen Kompleksi Metamorfik Kayalarının Petrolojisi, Jeokimyası ve Jeokronolojisi: Kırşehir (Karıncalı), Orta Anadolu, Türkiye

Meral GÜREL<sup>1\*</sup>, Yusuf Kağan KADIOĞLU<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara,

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara,

<sup>3</sup>Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM), Ankara

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0000-8403-7094>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-7894-2220>

\*Sorumlu yazar: meralgurel2015@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 22.06.2023

Kabul tarihi: 12.09.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Kırşehir masifi

Karıncalı

Metamorfitler

Konfokal Raman Spektrometre (KRS)

Jeokimya

Jeokronoloji

### ÖZ

Karıncalı köyü yöresinin temelini; Orta Anadolu Kristalen Kompleksi'ne (OAKK) ait temel metamorfikler oluşturmaktadır. Yeşilist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış olan bu kayalar; OAKK'de Paleozoyik yaşlı temel kayalar olarak tanımlanmaktadır. Metamorfik temel birimi; amfibolit, gnays, kuvarşist, mikaşist, amfibolşist, kuvars mikaşist, kuvarsit, kalkışist ve mermer bileşimli kaya toplulukları oluşturmaktadır. Çalışma sahasında metamorfik birimleri siyenit bileşimindeki felsik intrüzipler kesmektedir. Bu birimlerin, genel olarak derinlik ve yarı derinlik özellikler sunan siyenit, siyenit porfir, trakit ve trakiandezit bileşimindeki kayalardan oluştuğu belirlenmiştir. Çalışma alanındaki metamorfik kayalarda ayrıntılı petrografi ve Konfokal Raman Spektrometre (KRS) analiz incelemeleri sonuçlarına göre klinoamfibol + plajiyoklaz + titanit, klinoamfibol + klinozoisit + epidot + plajiyoklaz + titanit, klinoamfibol + granat + klinozoisit + plajiyoklaz, albit + kuvars + muskovit + biyotit ± granat, aktinolit + tremolit + klorit + kuvars, kalsit + kuvars + muskovit ve serizit + kuvars + grafit mineral parajenezleri belirlenmiştir. Çalışma sahasında kuvarşist bileşimindeki metamorfik kayadan elde edilen muskovitten  $71,83 \pm 0,54$  My  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  yaşı elde edilmiştir. Bu yaş bulgusu bölgedeki intrüziif kayalara ait radyometrik yaş bulguları ile karşılaştırıldığında kayaların daha genç olduğu belirlenmiştir. Genç yaş bulgusu, bölgedeki intrüziif kütlelerinin jeolojik zaman boyunca mevcut yan kaya birimlerini önemli ölçüde etkileyip, olasılıkla progresif metamorfizma etkisi ile kayanın zaman diliminin metamorfizma açısından yeniden çalıştırıldığını göstermektedir. Orta Anadolu bölgesinde çok sayıda farklı bileşim ve büyüklüklerde felsik ve mafik magmatik sokulumların Geç Kretase'den başlayarak Paleosen'e kadar devam ettiği ve bölgenin temel metamorfik kayalarını da etkilediği sonucuna varılmıştır.

## Petrology, Geochemistry and Geochronology of the Central Anatolian Crystalline Complex Metamorphic Rocks: Kırşehir (Karıncalı), Central Anatolia, Turkey

### Research Article

#### Article History:

Received: 22.06.2023

Accepted: 12.09.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Kırşehir massif

Karıncalı

Metamorphites

### ABSTRACT

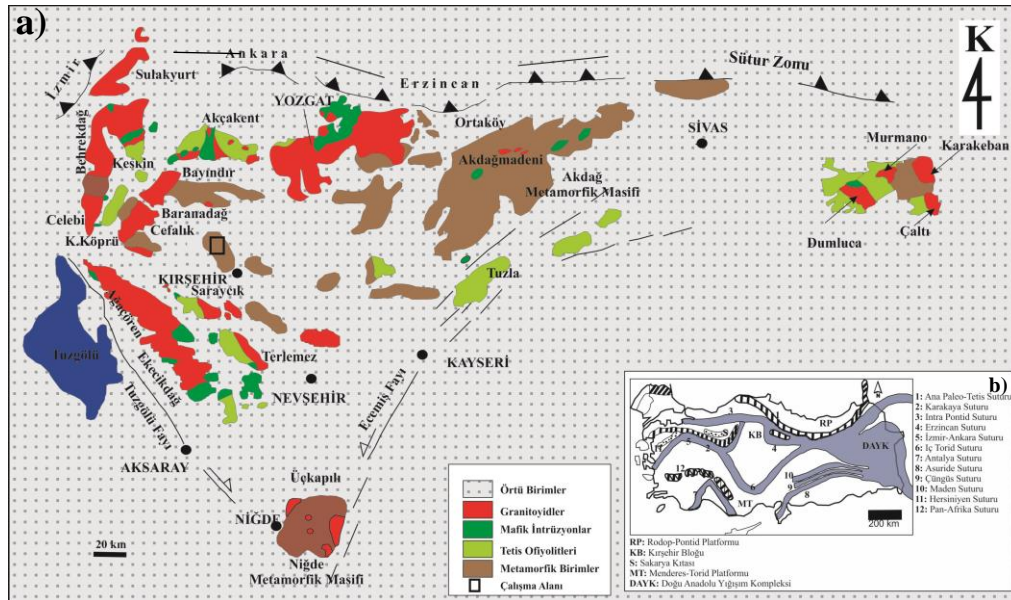
The basement of the Karıncalı village represented by metamorphic rock units in Central Anatolia Crystalline Complex (CACC). The basement units mainly comprise greenschist facies which is apart of CACC. The basement consists of amphibolite, gneiss, quartzschist, micaschist, amphibolschist quartz micaschist, quartzite, calcschist and marble rock units. All the metamorphic basement intruded by syenite, syenite porphyry trachyte and trachyandesite. The nomenclature of garnet, amphibole and plagioclase minerals were determined

by confocal Raman spectroscopy. The detailed petrography and Confocal Raman Spectrometer (CRS) examinations reveal that the common mineral assemblages are clinoamphibole + plagioclase + titanite, clinoamphibole + clinozoisite + epidote + plagioclase + titanite, garnet amphibolschist mineral assemblage clinoamphibole + garnet+ clinozoisite + plagioclase, albite + quartz + muscovite + biotite ± garnet, actinolite + tremolite + chlorite + quartz, calcite + quartz + muscovite and also sericite + quartz + graphite in composition. The radiometric  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  age data of Muscovite reveal  $71.83 \pm 0.54$  Ma age for the quartzschist rocks. It has been determined that the metamorphic age is younger or similar to the age of intrusive of the CACC. The young age of the metamorphic shows that the intrusive masses in the region significantly affect the existing country rock units throughout the geological time, causing to progressive metamorphism of the rock units and reactivate the time period in terms of metamorphism. It was concluded that felsic and mafic magmatic intrusions of many different compositions and sizes in the Central Anatolian region started from the Late Cretaceous and continued until the Palaeocene and also affected the basic metamorphic rocks of the region.

**To Cite:** Gürel M., Kadioğlu YK. Orta Anadolu Kristalen Kompleksi Metamorfik Kayalarının Petrolojisi, Jeokimyası ve Jeokronolojisi: Kırşehir (Karıncalı), Orta Anadolu, Türkiye. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 320-352.

## 1. Giriş

Çalışma alanı; Kırşehir Masifi içerisinde yer alan Kırşehir ili'nin kuzeybatısında Karıncalı köyü ve çevresini kapsamaktadır (Şekil 1). Çalışma alanında temel metamorfik kayalar ve bunları kesen intrüzyon kütleleri yer almaktadır. Orta Anadolu Bölgesinde özellikle petrolojik anlamda sadece magmatik kayalara yönelik çalışmalar yapılmış olup bunlar felsik magmatik kayalar (granitoid ve siyenitoid), mafik kayalar ve ofiyolitik kayalarla ilgili çalışmalardır. Metamorfik kayaların petrolojik özelliklerine yönelik ayrıntılı çalışma bulunmamaktadır.



**Şekil 1.a)** Çalışma alanı ve çevresinde görülen tektonik yapılar ve jeolojik birimlerin dağılımı (Kadioğlu ve Güleç, 1999'dan değiştirilerek alınmıştır) **b)** Türkiye'nin tektonik birlikleri (Şengör ve Yılmaz, 1981'den değiştirilerek alınmıştır)

Orta Anadolu Kristalen Kompleksi (OAKK) genel olarak dört farklı birimden oluşmaktadır. Temelde Orta Anadolu Metamorfikleri yer almakta olup, metamorfikleri tetis okyanusunun kapanmasına bağlı olarak meydana gelmiş ofiyolitik kayaç toplulukları tektonik olarak üzerlemektedir. Temel metamorfikler ve ofiyolitik kayaç toplulukları farklı mineral bileşimlerine ve kimyasal karakterlere sahip felsik intrüzif kaya türleri içeren Orta Anadolu granitoid ve siyenitoidleri tarafından sıcak dokanak ile kesilmektedir. Ayrıca OAKK'da felsik kayaların yanında mafik kayalar da gözlenmektedir. Mafik kayalar başlıca gabro, diyorit ve daha az oranda diyabaz ve bazaltlardan oluşmaktadır. Okyanusal kabuktan arta kalan gabroların dışında, kabuğa sokulum yapan mafik kütlelerin varlığı ortaya konulmuştur (Kadioğlu ve Güleç, 1993, 1997; Kadioğlu ve Özsan, 1998; Kadioğlu ve ark. 2006; Deniz et al. 2019; Kadioğlu et al. 2018; Kadioğlu et al. 2019; Kadioğlu et al. 2022). Tüm bu birimler Paleojen yaşlı çökel kayaları tarafından örtülmektedir (Kara ve Dönmez, 1990). Orta Anadolu Kristalen Kompleksi'nde fazla sayıda metamorfik kayalara sokulum yapan magmatik kayalar bulunmaktadır. Ancak sokulum yapan magmatik kayaların metamorfizma üzerinde etkisi üzerine çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmanın amacı bölgede yer alan metamorfik kayaların magmatik kayalar ile olan zamansal ilişkisini radyometrik yöntemlerle ortaya koymaktır.

Erkan (1975, 1976a, 1976b, 1977, 1981), Orta Anadolu Masifi'nde Kırşehir'in yakın çevresi ile Sivas Akdağmadeni dolaylarında ortaya çıkan metamorfik ve magmatik kayalarda detaylı petrografik ve petrolojik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Araştırmacı, Kırşehir'in yakın çevresindeki metamorfik serilerde metamorfizmanın niteliğini ve hangi koşullar altında geliştiğini tipik mineral isogradlarına dayanarak belirtmiştir. Bölgede mermer, kalkşist, kalksilikatik gnays ve daha az ölçüde kuvarsit, mikaşist, gnays ve amfibolitlerle temsil edilen metamorfik seriye ait örnekleri incelemiştir. Çalışma alanında ana kaya türünü oluşturan saf ve saf olmayan karbonatlı kayalarda, metamorfizma düzeyine bağlı olarak bölgede üç metamorfizma zonu belirlemiş ve metamorfizma düzeyinin kuzey ve kuzeydoğuya doğru arttığını ortaya koymuştur.

Seymen (1981a, 1981b, 1982); Kırşehir'in Kaman çevresinde yaptığı çalışmalarda, masifin stratigrafisi ve metamorfizması üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalarda, masifin en yaşlı kayalarının metamorfik birimler olduğunu ve bu birimlerin ofiyolit dilimler ve ofiyolitik melanj tarafından üzerlendiğini belirtmiştir. Ayrıca, bu birimlerin granitoid ve siyenitoidler tarafından kesildiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, temeldeki metamorfikleri gnays, biyotitşist, piroksenşist, amfibolşist, kalksilikatik fels, kuvarsit ve kuvarsşistlerden oluşan bölümünü Kalkanlıdağ formasyonu, üstündeki mermer-şist ve gnays aralanmasından oluşan bölümünü Tamadağ formasyonu, çeşitli özellikte mermer, metaçörtlüyari mermer ve metaçört topluluğundan oluşan en üst kesimini ise Bozçaldağ formasyonu şeklinde üç ayrı birime ayırmıştır. Araştırmacı; Baranadağ ve Buzlukdağı plütonları tarafından kesilen tüm bu birimlerin üzerinde Erken Paleojen-Neojen yaşlı tortul örtü birimlerinin uyumsuzlukla yer aldığını belirtmiştir. Erkan ve Ataman (1981) K-Ar yöntemi ile bölgedeki gnays, mikaşist ve amfibolitler içerisindeki biyotitlerden  $69,7 \pm 1,7$  My, hornblend mineralinden ise  $74,1 \pm 3,2$  My metamorfizma yaşlarını elde etmiş olup metamorfiklerin

granitoyid intrüzyonundan etkilendiklerini savunup, intrüzif kayaların intrüzyon-soğuma yaşını 71 My olarak yorumlamışlardır. Oktay (1981); Kaman civarında Paleojen-Güncel yaşlı sedimanter örtü birimlerini çalışmıştır. Önen ve Unan (1988); Kaman-Kırşehir kuzeydoğusunda bulunan gabrolarla ilgili çalışmalar yapmıştır. Gabroları genellikle “hornblend gabro” veya ince taneli gabro olarak tanımlamışlardır. Yaptıkları analizler sonucunda gabroların subalkali-toleyitik magmadan türedikleri ve bunların ofiyolitik dizinin bir üyesi olabileceklerini söylemişlerdir. Göncüoğlu ve ark. (1993); Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı içerisinde yaygın yüzlekler veren ofiyolitik kayaları “Orta Anadolu Ofiyoliti” olarak adlandırmışlardır. Ofiyolitik kayaların tektonik bir dokanakla “Orta Anadolu Metamorfiteri” üzerinde yer aldıklarını ve metamorfiter ile birlikte Geç Kretase yaşlı “Orta Anadolu Granitoyidleri” tarafından kesildiklerini söylemişlerdir. Tolluoğlu (1993), Kırşehir masifini kesen felsik intrüzifleri “İç Anadolu Magmatik Kuşağı” olarak adlandırmış, masifi batıda yay biçiminde kuşattıklarını ve masifi yer yer keskin dokanaklarla kestiğini söylemiştir. Orta Anadolu Magmatik Kuşağına tipik örnek olarak ise Kötüdağ volkaniti ve Buzlukdağ siyenitoyidini vermiştir. Ayrıca Orta Anadolu Magmatik Kuşağı’na ait intrüzif serilerin dış zonda kalk-alkalen, iç zonda ise alkalen karaktere sahip olduğunu söylemiştir. Boztuğ ve ark. (1998); Orta Anadolu’daki ofiyolitik birimlerin, metasedimentlerin ve intrüzif birimlerin radyometrik yaş tayinlerine göre eş zamanlı olduklarını belirtmiştir. Ayrıca Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı içerisinde çarpışma sonucu oluşan magmatik birimlerin birbirlerinden farklı olduklarını söylemiştir. Whitney ve ark. (2001); Alp Himalaya Orojenezi sırasında metamorfize olan Orta Anadolu Kristalen Kompleksinin farklı P-T özellikleri sergileyen en az dört tektonik bloktan oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bu bloklar kuzeybatıda Kırşehir, kuzeydoğuda Akdağ, güneyde Niğde, batıda Aksaray masiflerini içermektedir. Araştırmacılar özellikle kompleksin kuzeybatı kesiminde yer alan Kırşehir Blokunun, metapelitik/pisamitik, şist, amfibolit ve kuvarsit ara katkılı kalsitik mermer ve kalsilikatik kayalardan oluştuğunu ayrıca, bu metamorfik kayaların orta basınç–orta sıcaklık ve yersel düşük basınç–yüksek sıcaklık ile karakteristik olduklarını belirtmişlerdir. Görür (1998); Kırşehir Masifi’nde yüksek dereceli metamorfizmadan dolayı Triyas ile ilgili herhangi bir veri olmadığını ancak stratigrafik gelişimin genel hatlarıyla Menderes Masifi ile Menderes-Toros platformundaki bazı otokton zonların stratigrafisine büyük benzerlik gösterdiğini ifade etmiştir. Boztuğ ve ark. (2009); Orta Anadolu granitoyid eriyiklerinin çarpışma sonrası ortaya çıktığını, Torid-Anatolid platformuna okyanusa ait bir yayın Kampaniyen-Maastrichtiyen’de yerleştiğini ve Erken-Orta Paleosen’de hızla yükselmesi olayının kıta-kıta çarpışmalarından kaynaklandığını savunmuşlardır. Beyazpirinç ve Akçay (2017); Akdağmadeni Masifi’nin jeolojisi ve jeodinamik evrimini konu aldıkları çalışmada; temeli oluşturan Akdağmadeni Masifi’ne ait metamorfiteri alttan üste doğru; Yahyasaray formasyonu (Geç Devoniyen), Akçakışla formasyonu (Karbonifer-Erken Permiyen), Topaktaş formasyonu (Geç Permiyen), Hisarbey formasyonu (Mesozoyik) ve Davulbaz formasyonu (Erken Kretase) şeklinde ayırtlamışlardır.

Orta Anadolu Kristalen karmaşığı içerisinde tüm metamorfik birimlerin Paleozoyik yaşı bölgesel metamorfizma sonucu oluşan birimler olduğu, ancak bunlara sokulum yapan farklı bileşim, farklı büyüklükteki intrüzif kütlelerin etkisi ile oluşan kontakt metamorfizmanın yaşı ve süreçleri hakkında ayrıntılı bir çalışma yapılmadığı belirlenmiştir. Bu bağlamda bu makalenin amacı; metamorfik kayaların iyi yüzlek verdiği ve yakın çevresinde intrüzif kayalarında olduğu Kırşehir ilinin Karıncalı bölgesi seçilerek mineralojik petrografik, jeokimya ve metamorfik mineraller üzerinde  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  radyometrik analizler yapılarak metamorfizmanın zamansal değişimi ortaya konulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

Arazi çalışmalarında Kırşehir masifine ait taze mostralardan örnekler alınmıştır. Söz konusu örneklerin detaylı petrografik inceleme ve kimyasal analizler yapılması amacıyla Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) ve Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Jeoloji Etütleri Dairesi'nde ince kesitleri yapılmıştır. İnce kesitler Ankara Üniversitesi YEBİM'de bulunan Leica marka DMLP model polarizan mikroskopta incelenmiştir. Klinoamfibol, plajiyoklaz ve granat gibi seçili minerallerde tür tanımlaması için yapılan yarı kalitatif Konfokal Raman Spektrometre (KRS) incelemeleri Ankara Üniversitesi YEBİM'de Thermo marka DXR model KRS ile gerçekleştirilmiştir.

Mineralojik-petrografik olarak incelenen ve uygun görülen örneklerin ana ve iz elementler bileşimlerini ortaya koymak amacıyla jeokimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Petrojenez ve Mikro Analiz Laboratuvarı'nda numuneler öncelikle Retsch Marka otomatik taş kırıcı kullanılarak parçalara ayrıştırılmıştır. Ardından FRITSCH marka otomatik öğütücüde Tungsten Karbid değirmene konularak öğütülmüştür. Öğütülen 4g örnek, 0,9 g bağlayıcı malzeme (Wachs) ile karıştırıldı ve hidrolik pres altında sıkıştırılarak pres-pastil haline getirilerek, analize hazır hale getirilmiştir. Analizler Spectro marka X-LAB 2000 model Polarize Enerji Dağılımlı X Işınları Floresans Spektrometresi (PED-XRF) cihazında ana element oksit ve iz element analizleri yapılmıştır. GEO-7220 yöntemiyle yapılan XRF analizlerinde cihazın kalibrasyonu USGS'in plütonik kayalar için oluşturduğu K02-GSR-09 ve G01-GS-N-Granit standartları ile yapılmıştır.

Çalışma alanının farklı kesimlerinde yüzlek veren başkalaşım kayalarından seçilen örneklerdeki amfibol ve mika minerallerinin  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  tarihlendirme analizleri Nevada Üniversitesi (Las Vegas, Amerika) izotop ve jeokronoloji laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Analiz edilecek örnekler; alüminyum folyoyla sarılmış ve 6 mm'lik iç çaplı mühürlenmiş kaynaşık silis tüpleri içine istiflenmiştir. Ortalama 3 mm kalınlığında bireysel paketler ve tüp boyunca 5-10 mm aralıklarla nötron flüoresans monitörleri (FC-2, Fish Canyon Tuff sanidine) yerleştirilmiştir.  $\text{CaF}_2$  ve K-cam parçaları ile birlikte ışınlanmış FC-2 sanidin standartları, yüksek vakumlu çekme hattında bir Cu numune tepsisine yerleştirilmiş ve bir 20 WCO<sub>2</sub> lazeri kullanılarak eritilmiştir. Lazer kaynaştırma boyunca örnek görüntülenmesi video kamera sistemi ile yapılmıştır. Numuneler, Staudacher ve ark. (1978)'nin

dizaynına benzer olarak çift vakum dirençli fırın kullanılarak adım adım ısıtma yöntemi ile analiz edilmişlerdir. Sonuçlar bölgelere göre aktarılmıştır. Tüm <sup>39</sup>Ar-<sup>40</sup>Ar yaş verileri 2σ güven aralığı içindedir.

### 3. Bölgesel Jeoloji

OAKK'nın Geç Mesozoyik-Erken Senozoyik jeolojik evrimi; birbirinden farklı jeolojik süreçleri temsil etmekte olup, Tetis Okyanusu'nun kapanmasıyla ilişkilendirilir (Görür ve ark., 1984; Göncüoğlu, 1986; Whitney ve Dilek 2001; Gürer ve Aldanmaz, 2002; Kadioğlu ve ark., 2006; Boztuğ ve ark., 2008; Lefebvre, 2011; Hinsbergen ve ark., 2016). Coğrafik olarak kuzeyde İzmir-Ankara-Erzincan suture zonu, batıda Tuzgölü fayı, doğuda ise Ecemiş fay zoneuyla sınırlanan, kabaca üçgen biçimli bir alanda yayılım gösteren metamorfizmler, ofiyolitler ve sokulum kayalarından meydana gelen karmaşık bir jeolojiye sahiptir.

Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı'nı oluşturan metamorfizmlerin başlıca, Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı gnays, şist, mermer, amfibolit ve kalkışist türü kayalardan meydana geldiği belirtilmiştir (Seymen, 1981; Göncüoğlu ve ark., 1991). Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı, sırasıyla Üst Paleosen yaşa kadar çıkabilen çökel kayalar ile Miyo-Pliyosen yaşlı sedimanter ve volkanik kayalar tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir (Seymen, 1981).

OAKK granitoidlerinin oluşumları hakkında farklı görüşler vardır. Torid bloğunu Anatolid bloğundan ayıran İç Toros Kuşağının varlığını savunan Görür ve ark. (1984), Şengör ve Yılmaz (1981), Okay ve ark. (1996), Kadioğlu ve ark. (2003), Deniz ve Kadioğlu (2016)'na göre Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı içerisinde yaygınca yer alan granitoid türü sokulum kayalarını İç Toros Okyanusu'nun OAKK'nın altına dalmasıyla meydana gelen yitim süreçlerindeki yay magmatizmasının ürünü olarak düşünmektedirler.

Kadioğlu ve ark. (2006), bu granitlerin Toros Platformu ile İç Torid Okyanusu içerisindeki bir hendeğin çarpışması ve bir miktar dalmasını takip eden dilim-kopması ile astenosfer yükselimi ve dalma sonucu metasomatize olan litosferik manto kaynaklı olduğunu belirtmiştir. Ancak Kırşehir bloğunu Torid platformundan ayıran İç Torid Okyanusu'nun olmadığını savunan araştırmacılara (Göncüoğlu ve ark., 1997; Boztuğ ve ark., 2009; Köksal ve ark., 2012, 2013; Hinsbergen ve ark., 2016) göre granitoidlerin Pontidlerin Torid-Anatolid platformu ile çarpışması ve çarpışma sonrası gerilme rejiminde gelişmişlerdir. Bu araştırmacılara göre, erken-geç Kretase'de Alpin Orojenezi Neotetisin kuzey kolu İzmir-Ankara-Erzincan Okyanusunun, okyanus içi dalmanın eşlik ettiği jeodinamik mekanizmayla kapanımına, Pontid volkanik yayı ile Torid-Anatolid'in kuzey kısmın çarpışmasına, Torid-Anatolid Platformunun pasif kenarının dilimlenerek kalınlaşmasıyla orta-yüksek derecede metamorfizmasına ve üzerine ofiyolitik birimlerin yerleşimine yol açmıştır. OAKK da yer alan felsik intrüzifler genel olarak granit, granodiyorit, monzonit ve siyenit bileşimindedirler (Tatar ve Boztuğ, 1998; Yılmaz ve Boztuğ, 1998; Yalın vd 1999; Boztuğ, 2000; Kadioğlu ve ark., 2006, Boztuğ ve ark., 2007, 2009; Köksal ve ark., 2001, 2012, 2013; İlbeyli, 2005; Delibaş ve ark.,

2011). Mafik bileşimli sokulum kayaları ise diyorit ve gabro bileşiminde olup granit kayaları ile eş yaşlı plütonlar olduğu ortaya konulmuştur (Kadioğlu ve ark, 2003 ve Kadioğlu ve ark., 2006). Çalışma alanının bölgesel jeoloji haritası Şekil 2.a'da verilmiş olup inceleme alanı OAKK içerisinde Kırşehir ilinin kuzeybatı bölümünde yer almaktadır. Çalışma alanı bölgesel jeoloji haritası üzerinde daha çok mermer ve metakireçtaşı kayalarından oluşmaktadır.

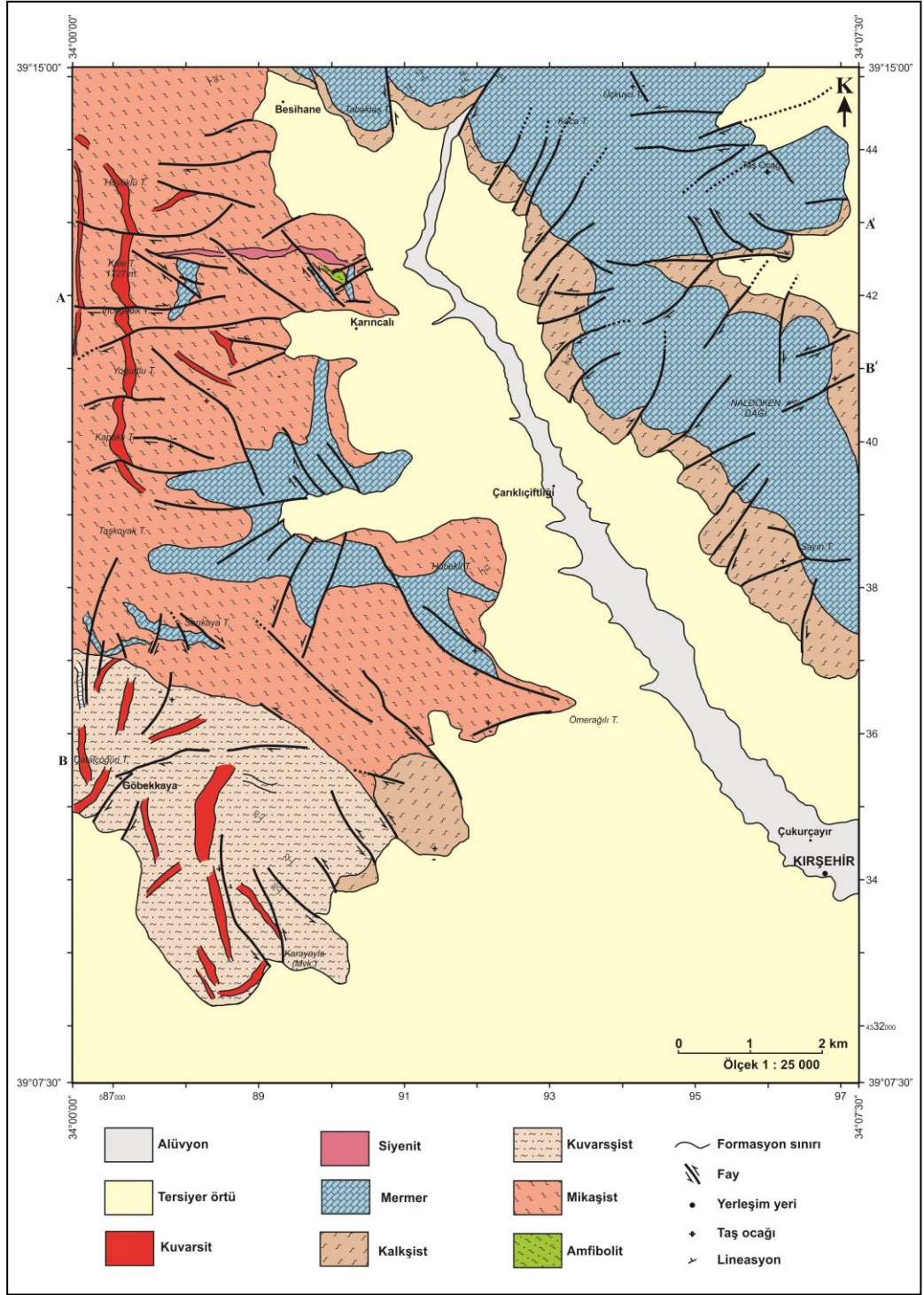
#### **4. Bulgular**

##### *4.1 Çalışma Alanının Jeolojisi ve Petroğrafisi*

Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı (OAKK) üzerinde yer alan inceleme (Karıncalı köyü) alanı, bu çalışmada ayrıntılı olarak anlatılacak olan Kırşehir Masifi'ne ait birimlerin en iyi gözlemlendiği yer olmasından dolayı tercih edilmiştir. Çalışma alanı bölgenin temel metamorfiteğine ait ve en iyi yüzlek veren bölümü temsil etmektedir (Şekil 2.a). Çalışma alanı haritasında belirtilen A-A' ve B-B' kesitleri Şekil 2.b'de gösterilmektedir.

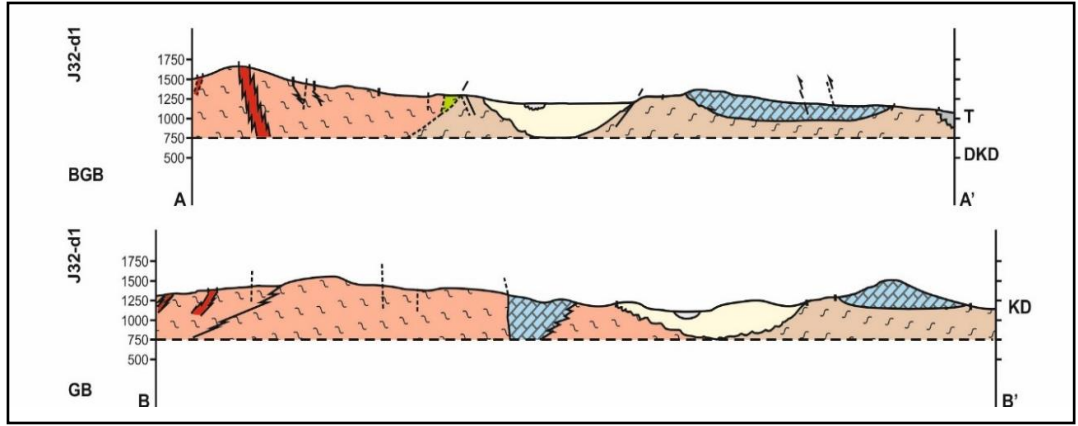
Çalışma alanındaki en yaşlı birim, Kırşehir masifinin en alt seviyelerini oluşturan Kalkanlıdağ formasyonu olup, Seymen (1982) tarafından adlandırılmıştır. Formasyon, Kurancalı-Demirli-Kurtbeli Yenyapan köylerinin güneyindeki Kalkanlıdağ'da yaygın olarak gözlenmektedir. Kalkanlıdağ formasyonu meta-kırıntılı, başlıca gnayslar, amfibolit, amfibol şistler, mikaşist ve mikagnayslardan oluşmaktadır. Bu birimlerin yanında, daha az yayılım gösteren ince mermer bantları ve kalkışistler de gözlenmektedir (Seymen, 1982).





Şekil 2.a) Çalışma alanının jeoloji haritası





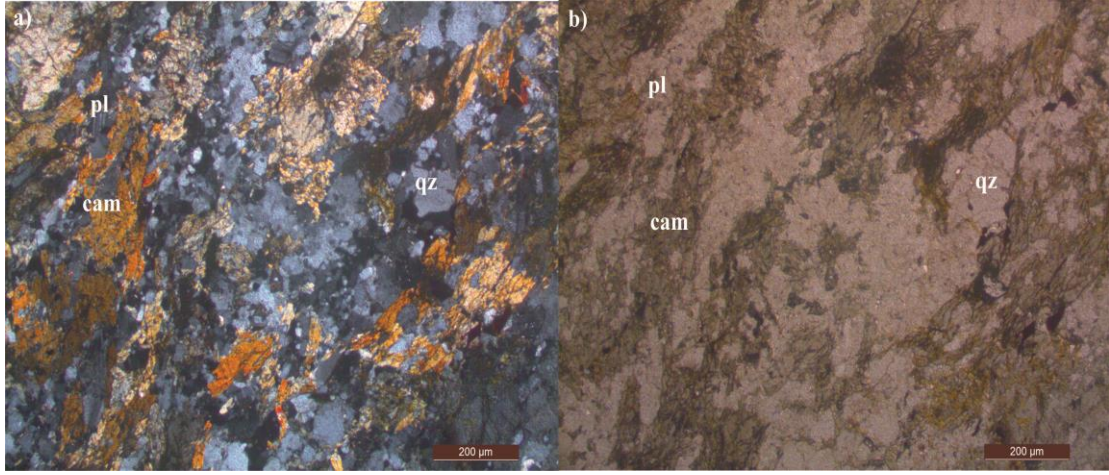
Şekil 2.b) Çalışma alanı haritasında belirtilen A-A' ve B-B' kesitleri

Çalışma alanında yer alan metamorfik birimler Seymen (1982) Kalkanlıdağ formasyonuna denk gelen kaya birimlerini temsil etmektedir. İnceleme alanı Kırşehir ilinin kuzeybatısında Karıncalı köyü ve çevresindeki birimleri temsil etmektedir. Kaya birimleri, amfibolit, granat amfibolşist, epidot amfibolşist, mikaşist, mika kuvarşist, granat mikaşist, kalkşist, mermer litolojileri ile karakteristiktir. Bölgeden alınan örneklerin petrografik tanımları aşağıda verilmiştir.

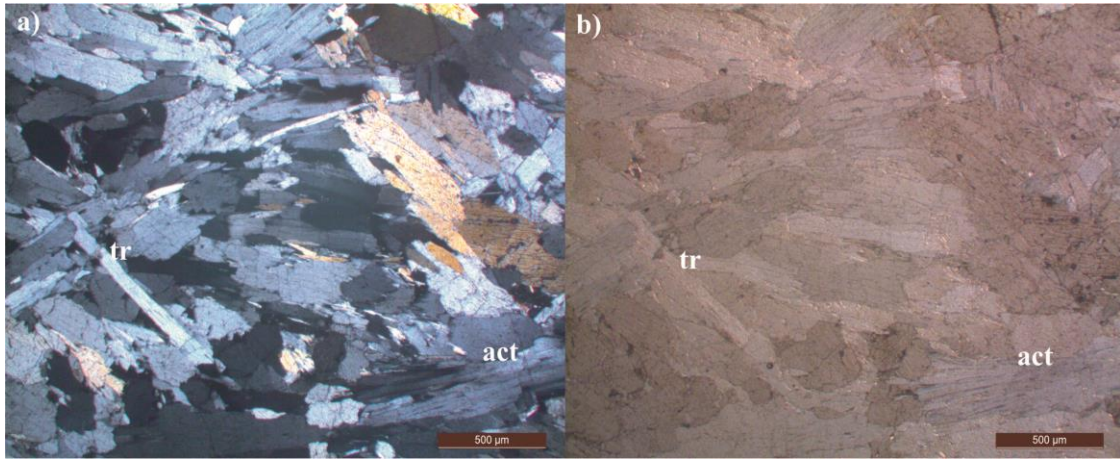
#### **Granat amfibolşist / Epidot amfibolşist / Amfibolit**

Granat amfibolşist, amfibolşist, epidot amfibolşist ve amfibolit, el örneğinde koyu yeşil renkli, çok tıkkız ve sert kayalardır. Nematogranoblastik dokuya sahip olan bu kayalarda, kuvarslarda kataklazma izlerine ve yer yer mörter dokuya rastlanılmaktadır. Ana felsik mineral olarak plajiyoklaz ve az oranda kuvars içerirler. Koyu renkli mineral olarak ise, başlıca amfibol ve bununla birlikte tali miktarda biyotit, epidot ve granat mineralleri içermektedir. Kuvarslarda dalgalı sönme çok yaygındır. Amfiboller yarı özşekilli ve prizmatik formlara sahiplerdir (Şekil 3.a,b). Amfibollerde opasitleşmeler gözlenmektedir. Mikroskop altında amfiboller ince uzun prizmatik mineraller şeklinde olup belirgin lineasyon özelliği göstermektedirler. Az miktarda gözlenen biyotitler paralel sönme gösterirler ve dilinim izleri boyunca opasitleşme ile birlikte kloritleşme de az da olsa gözlenmektedir. Plajiyoklaz mineralleri polisentetik ikizlenmesi ile tipiktir. Granat mineralleri, paralel nikolde bol kırık çatlaklıdır ve bozunmaya uğramışlardır. Klinozoisit mineralleri ince taneli, özşekilsiz yapıdadır. Kayaçta tali bileşen olarak titanit mineralleri yer almaktadır.

Aktinolit tremolitşist kayaları nematoblastik dokuda olup büyük çoğunluğu prizmatik ve iğnemsî, lifsi yapıda aktinolit, tremolit minerallerinden oluşmaktadır. Aralarda çok az miktarda yapraksı klorit mineralleri gözlenmektedir (Şekil 4.a,b). Kayaç muhtemelen yeşilşist fasiyesi koşullarında metamorfize olmuştur.



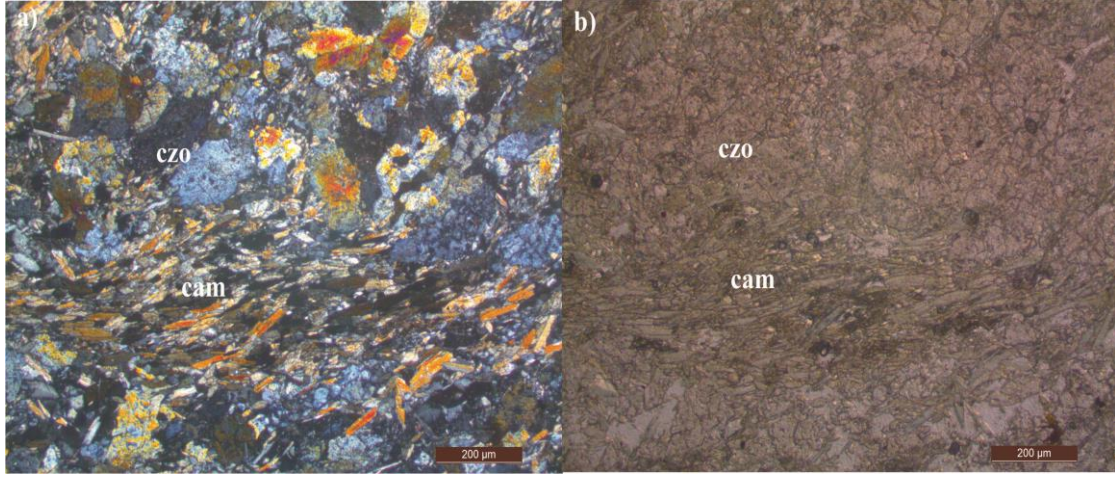
**Şekil 3.** Amfibolşist örneğinin genel görüntüsü ve içerisinde yer alan klinoamfibol ve plajiyoklaz minerallerinin mikrofotografı (a-çapraz nikol, b-paralel nikol, cam: klinoamfibol, pl: plajiyoklaz, qz: kuvars; mineral kısaltmaları Whitney ve Evans, 2010'a göre yapılmıştır)



**Şekil 4.** Aktinolit tremolitişist örneğinin genel görüntüsü ve içerisinde yer alan aktinolit-tremolit türü amfibol minerallerinin gösterdiği nematoblastik dokunun mikrofotografı (a-çapraz nikol, b-paralel nikol, act: aktinolit, tr: tremolit)

Epidot amfibolşist örnekleri nematogranoblastik dokuda olup ana bileşen olarak bol miktarda orta taneli, özşekilsiz-yarı özşekilli, klinozoisit, epidot türünde epidot grubu minerallerinden ve orta yer yer ince taneli, prizmatik yapıda, yeşil pleokroizmaya sahip klinoamfibol minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 5.a,b). Plajiyoklaz mineralleri orta taneli yapıda polisentetik ikizlenmesi ile tipiktir. Kuvars mineralleri orta taneli, özşekilsiz çoğunlukla yönlenmeye paralel bantlar şeklinde bir dizilime sahiptir. Tali bileşen olarak titanit minerallerine rastlanılmaktadır. Kayada yönlenme belirgindir. Kaya yapılan incelemeler sonucunda sahip olduğu mineralojik bileşim ve dokusal özelliklere göre epidot amfibolşist olarak adlandırılmış olup kaya muhtemelen amfibolit fasiyesi koşullarında metamorfize olmuştur.

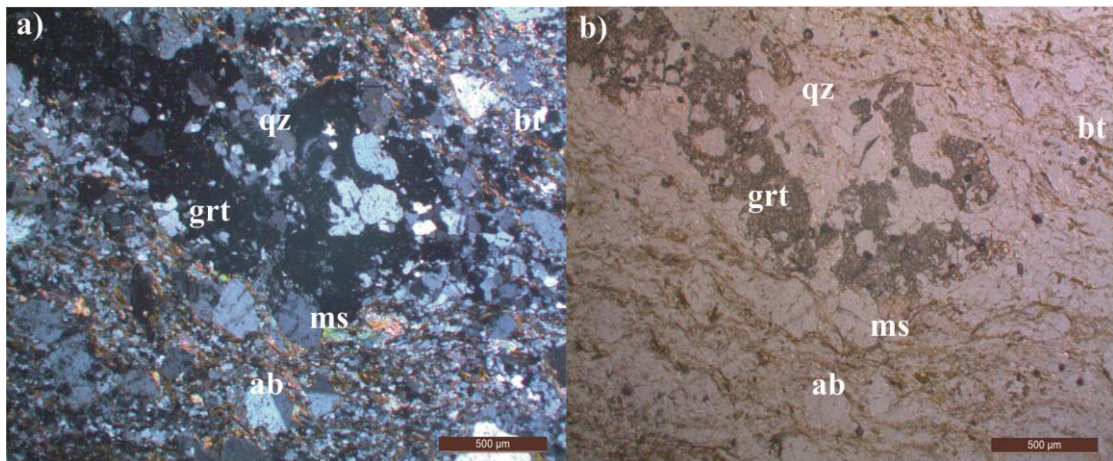




Şekil 5. Epidot amfibolitşist örneğinde gözlenen nematoblastik doku ve klinzoisit minerallerinin mikrofotografı (a-çapraz nikol, b-paralel nikol, czo: klinzoisit, cam: klinoamfibol)

### Granat mikaşist

Granat mikaşistler, el örneğinde belirgin foliasyon ve lineasyona sahip kaya gruplarıdır. Lepidogranoblastik yer yer lepidoporfiroblastik dokuya sahip olan bu kaya grubunda, ana felsik mineral olarak plajiyoklaz, kuvars az miktarda ortoklaz içerirler (Şekil 6.a,b). Ayrıca örnek başlıca biyotit ve bununla birlikte az miktarda kalsit, epidot ve granat mineralleri içerir. Kuvarslarda tektonizmaya bağlı olarak, kataklazma izleri ve dalgalı sönme gözlenmektedir. Mika minerallerinde paralel sönme gözlenmekte olup, biyotit minerallerinde dilinim izleri boyunca opasitleşme ve yer yer kloritleşme gözlenmektedir. Granatlar genellikle orta yer yer iri taneli formlarda, bol kırıklı ve çatlaklıdır. Kaya yapılan incelemeler sonucunda sahip olduğu mineralojik bileşim ve dokusal özelliklere göre granat mikaşist olarak adlandırılmış olup kaya muhtemelen yeşilşist fasiyesi granat zonu koşullarında metamorfize olmuştur.

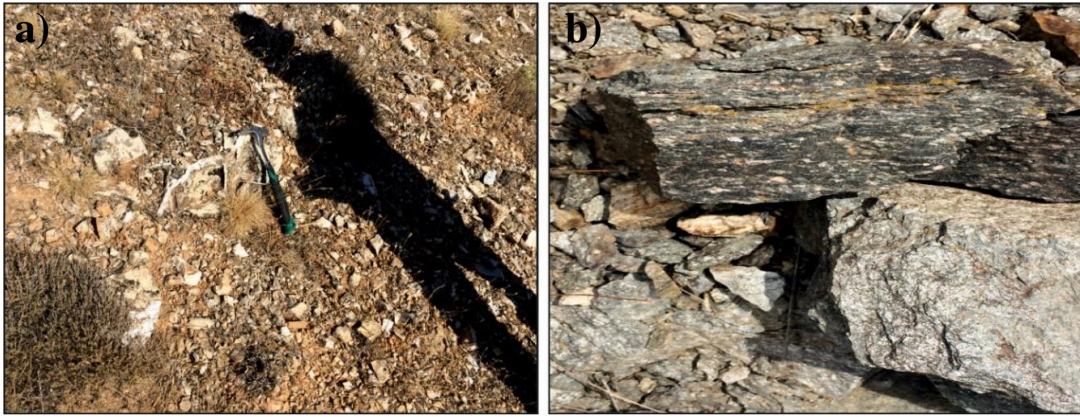


Şekil 6. Granat mika kuvarşistte gözlenen lepidoporfiroblastik doku ve granat minerallerinin mikrofotografı (a-çapraz nikol, b-paralel nikol, qz: kuvars, grt: granat, ms: muskovit, ab: albit, bt: biyotit)

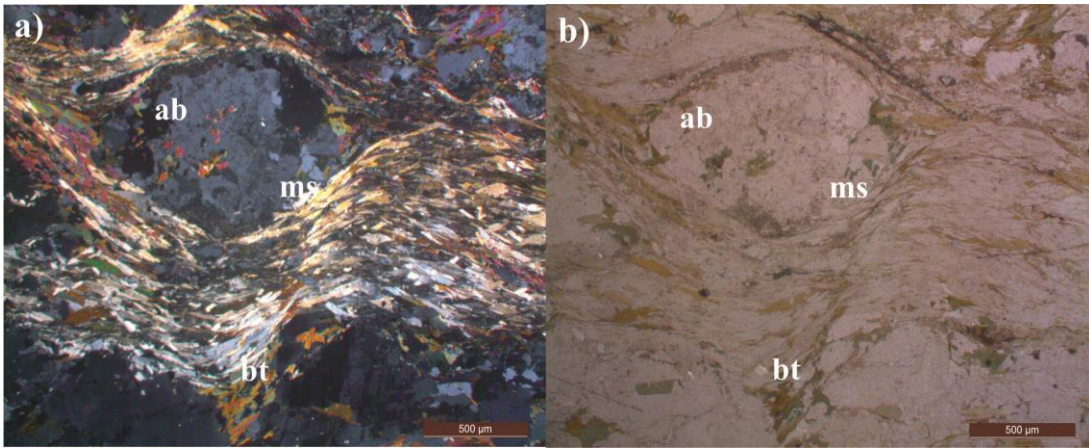


### Mika kuvarşışist / Albit mikaşışt

Mika kuvarşışist; albit mikaşışt grafit biyotitşışt, kalkşışt kaya grubları el örneğinde açık gri renkli, belirgin foliasyon ve lineasyona sahiplerdir. Şekil 7.a,b'de albit mikaşışt kayalarının arazi görüntüsü görölmektedir. Lepidoporfiroblastik dokuya sahip olan örnek, ana felsik mineral olarak kuvars, plajiyoklaz, albit ve daha az miktarda ortoklaz içerirler. Ayrıca, bu minerallere paralel olarak biyotit, muskovit, epidot ve kalsit mineralleri ile birlikte tali bileşen olarak turmalin minerallerini içerir. Tektonik deformasyona bağılı olarak albit minerallerinin kenarlarında ufalanma, biyotitlerde mikrokıvrımlar gelişmiştir. Ayrıca albit minerallerinde gözlü doku gelişmiştir (Şekil 8.a,b). Kayaç muhtemelen yeşilşışt fasiyesi koşullarında metamorfize olmuştur.



Şekil 7. Albit mikaşışt kayalarının a) uzak b) yakın arazi görüntüsü



Şekil 8. Albit mikaşıştde gözlenen gözlü doku ve albit minerallerinin mikrofotografı (a-çapraz nikol, b-paralel nikol, ab: albit, ms: muskovit, bt: biyotit)

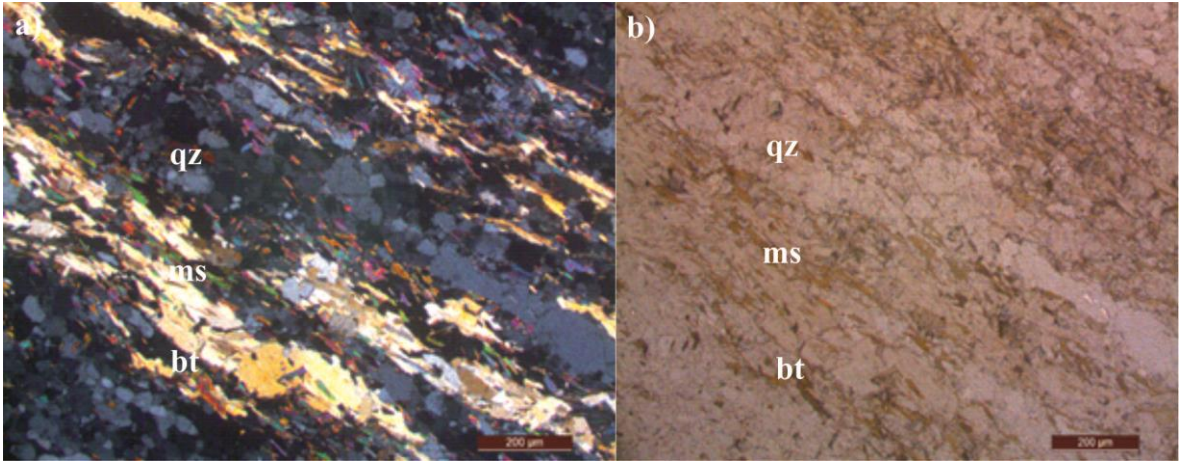
Mika kuvarşışist kayaları arazide açık gri renklere, belirgin yönlenmeye sahip olarak gözlenmektedir (Şekil 9.a,b). Lepidogranoblastik dokuda gözlenen mika kuvarşışist örneği, orta taneli, özşekilsiz kuvars mineralleri ile birlikte polisentetik ikizlenmeye sahip plajiyoklaz ve orta taneli, özşekilsiz ortoklaz minerallerinden oluşmaktadır. Kayada gözlenen biyotit ve muskovit mineralleri lepidoblastik dokuda gelişmiş olup orta taneli, yarı özşekilli, dilinimli yapıdadır. Biyotit mineralleri kahverengi pleokroizmaya sahiptir. Ayrıca, kuvarşılarda dalgalı sönme ve mika minerallerinde mikrokıvrımlanma



kataklastik deformasyona bağlı olarak gelişmiştir (şekil 10.a,b). Kayada yer alan mineraller birbirine paralel bir dizilim gstermektedir. Kayada ynenme belirgindir. Kayaç muhtemelen yeşilşist fasiyesi koşullarında metamorfize olmuştur.

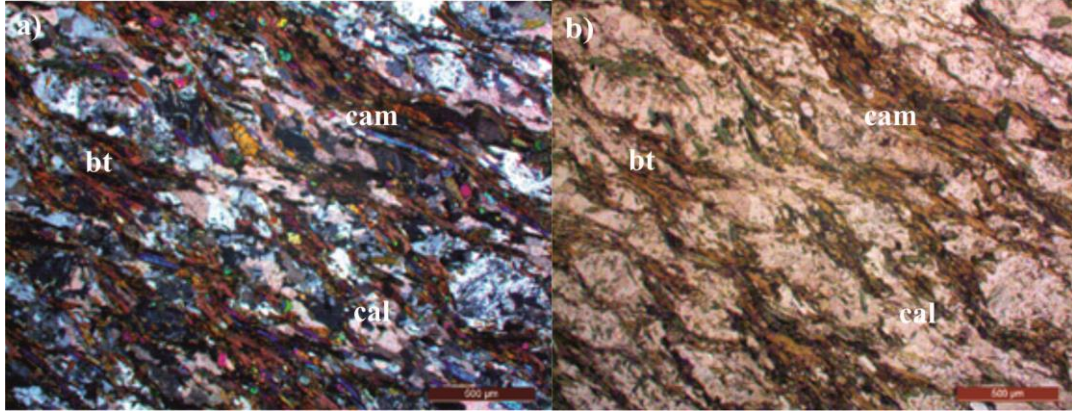


şekil 9. Mika kuvarşist kayalarının a) uzak b) yakın arazi gdrntüsü



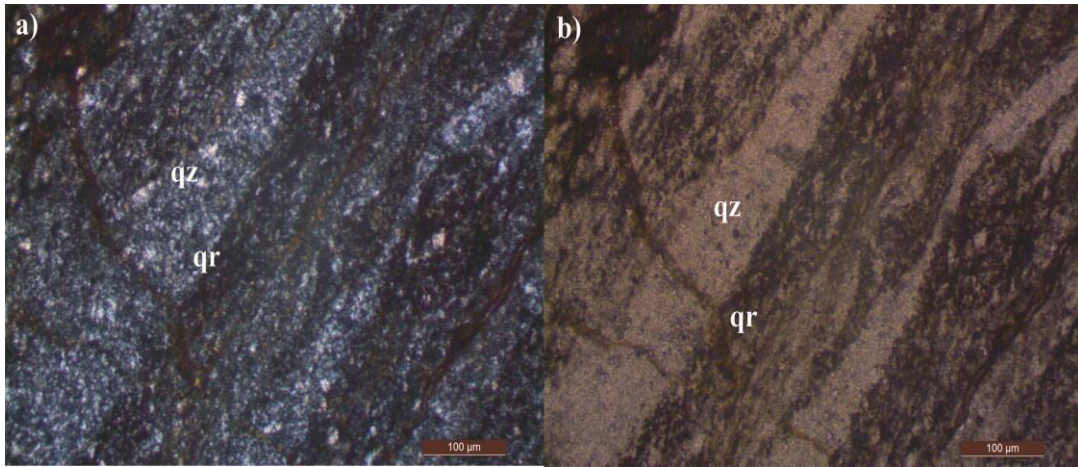
şekil 10. Mika kuvarşist rneğinde mika minerallerinde gzlener lepidoblastik dokunun mikrofotografı (a-ęapraz nikol, b-paralel nikol, ms: muskovit, bt: biyotit, qz: kuvars)

Kalkşistler lepidogranoblastik dokuya sahip olup, ana bileşen olarak orta taneli, rzeşekilsiz yapıda kalsit ve kuvars minerallerini içerir. Bu minerallere paralel olarak gelişmiş muskovit mineralleri de bulunmaktadır. Aralarda az miktarda yer alan biyotitler kahverengi pleokroizması ile tipiktir. Klinoamfibol mineralleri ince taneli, prizmatik yapıdadır (şekil 11.a,b). Epidotlar orta taneli, rzeşekilsiz yapıdadır. Kalsit mineralleri genellikle orta taneli, rzeşekilsiz formlarda ynenmeye paralel bantlar şeklinde bir dizilime sahiptir. Kataklastik deformasyona bağlı olarak kuvarşlarda dalgalı sönme gelişmiştir. Kayada tali bileşen olarak titanit minerallerine rastlanılmaktadır. Ayrıca kayada bol miktarda opak mineral bulunmaktadır. Kayada yer alan mineraller birbirine paralel uzanmaktadır. Ynenme belirgindir. Kaya muhtemelen karbonatca zengin detritik kokenli sedimanter bir kayanın yeşilşist fasiyesi koşullarında metamorfizması sonucu oluşmuştur.



Şekil 11. Kalkıştiste gözlenen lepidoblastik doku ve kalsit minerallerinin mikrofotografı (a-çapraz nikol, b-paralel nikol, cal: kalsit, cam: klinoamfibol, bt: biyotit)

Grafit kuvarşşist örneği granoblastik dokuda gelişmiş olup ana bileşen olarak ince taneli, kuvars ve grafit minerallerinden oluşmaktadır. Kuvarslara paralel orta yer yer ince taneli, yarı özşekilli serizit mineralleri gözlenmektedir. Serizitli seviyelerde yer yer mikrokıvrımlar gelişmiştir (Şekil 12.a,b). Tali bileşen olarak yarı özşekilli turmalin mineralleri yer almaktadır. Yönlenme belirgindir. Kayada yer alan mineraller birbirine paralel uzanmaktadır. Kaya muhtemelen düşük dereceli (yeşilşist fasiyesi) metamorfizma sonucu oluşmuştur.



Şekil 12. Grafit kuvarşşistte gözlenen lepidoblastik doku ve grafit minerallerinin mikrofotografı (a-çapraz nikol, b-paralel nikol, qr: grafit, qz: kuvars)

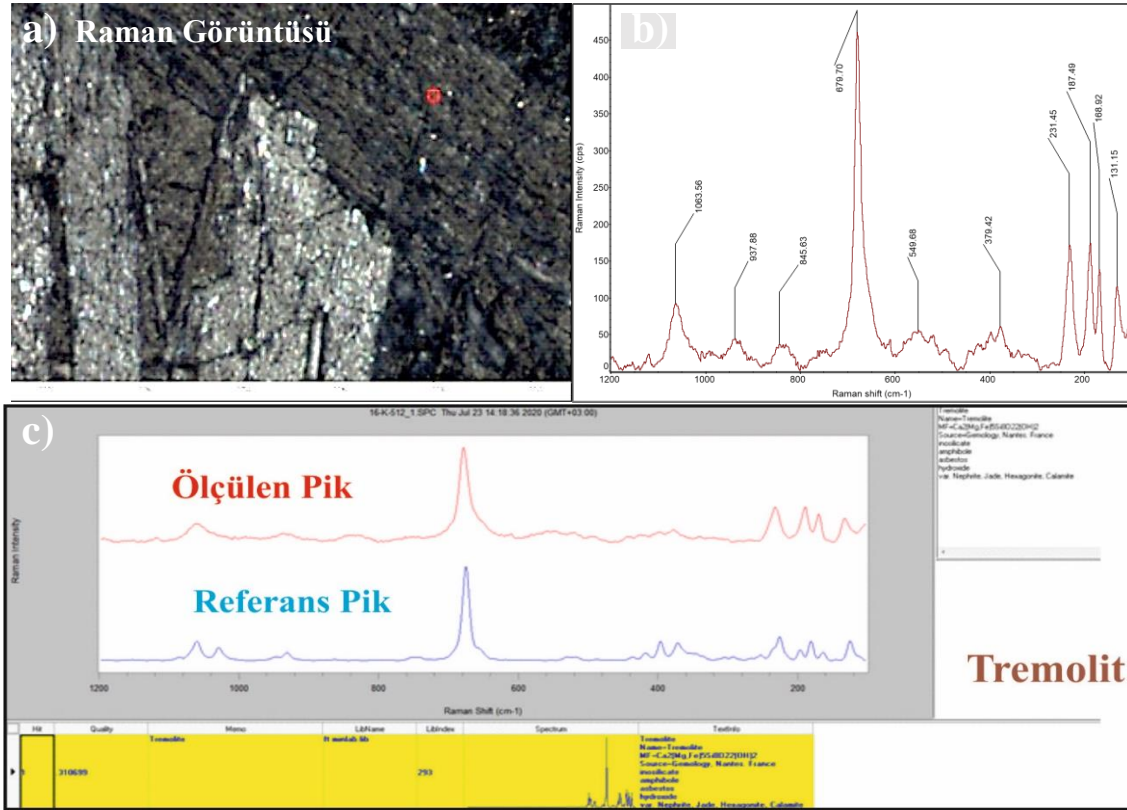
#### 4.2. Konfokal Raman Spektroskopisi

Petrografik örneklerden Konfokal Raman Spektrometre (KRS) çalışmaları yapılmıştır. Radyometrik yaşlandırmalarda taze altere göstermeyen mineraller üzerinde yapılması gerekmektedir. Raman çalışmasının ana amacı özellikle mineral seçimi sırasında taze metamorfik minerallerin belirlenmesi ve mineral parajenezi verilirken spektroskopik olarak belirlenmesi için bu yöntem uygulanmıştır.

Aktinolit tremolitşist örneğinde yapılan Konfokal Raman Spektrometre (KRS) çalışmalarıyla klinoamfibollerin tremolit bileşiminde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 13.a,b,c). Tremolit bileşimindeki klinoamfibol minerallerinin Raman spektrumunda,  $679,70 \text{ cm}^{-1}$ ,  $231,45 \text{ cm}^{-1}$  ve  $187,49 \text{ cm}^{-1}$ 'de güçlü



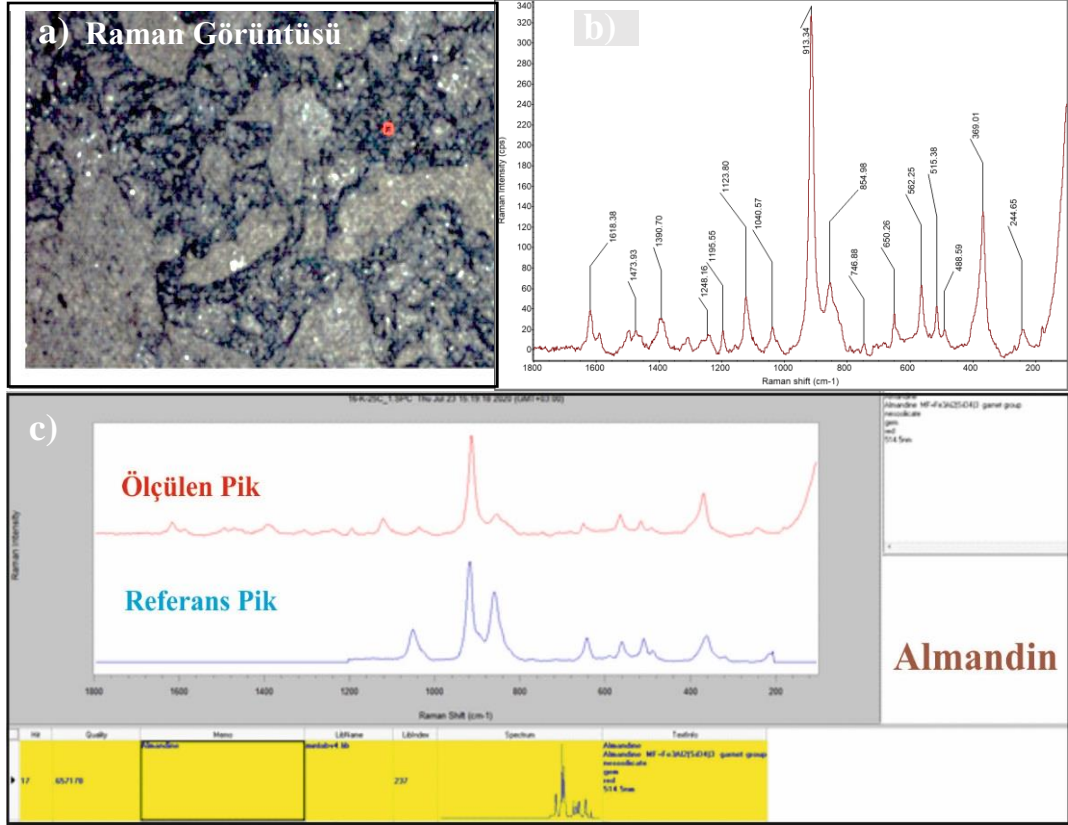
Raman kaymalarına sahip pikler gözlenirken, bu piklerin yanında  $937,88 \text{ cm}^{-1}$ ,  $845,63 \text{ cm}^{-1}$  ve  $379,42 \text{ cm}^{-1}$ 'de zayıf kaymalar da gözlenmektedir.



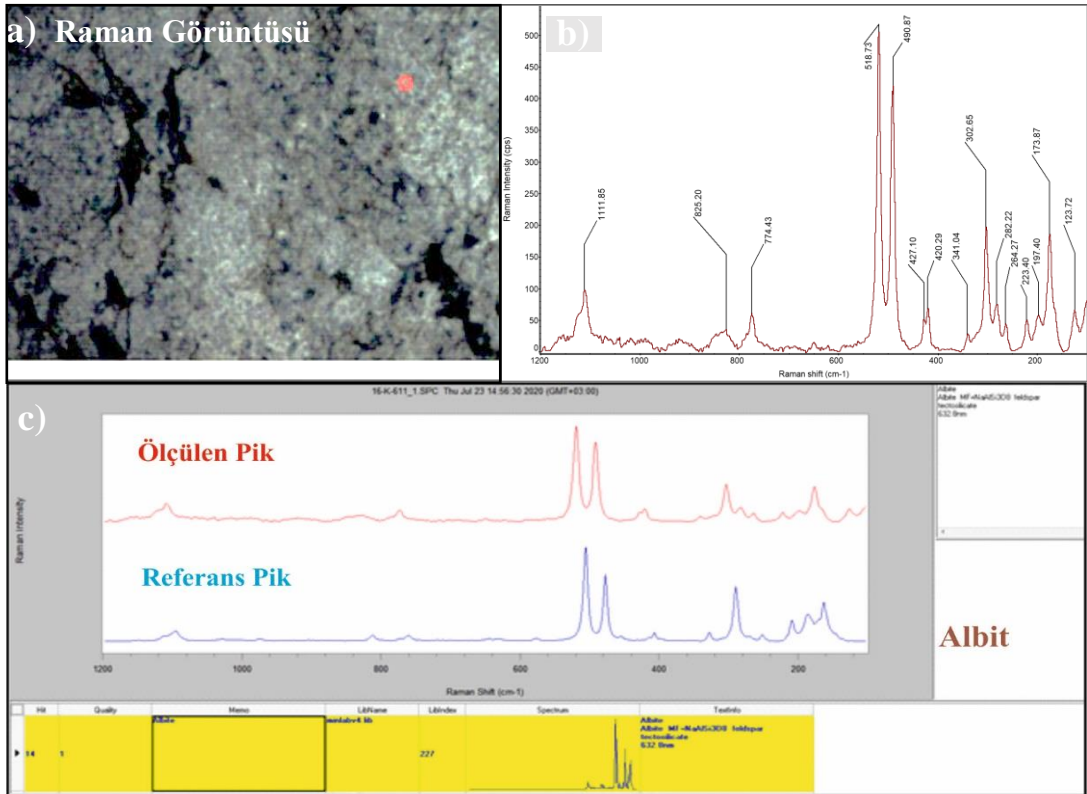
Şekil 13. Aktinolit tremolitişist örneğinde bulunan tremolite bileşimindeki klineamfibol mineralinin a) Raman mikroskop görüntüsü, b) Raman pikleri ve c) Raman piklerinin “Spectral ID” yazılım programındaki standart mineral karşılığı

Granat mikaşist kayacında yapılan KRS çalışmalarıyla granat mineralinin türü almandin bileşiminde olduğu tespit edilmiştir. Almandin mineralinin bileşiminde, güçlü Raman kaymaları  $913,34 \text{ cm}^{-1}$ ,  $562,25 \text{ cm}^{-1}$  ve  $369,01 \text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenirken, daha zayıf kaymalar ise  $1473,93 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1390,70 \text{ cm}^{-1}$  ve  $1248,16 \text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenmektedir (Şekil 14.a,b,c).

Mika kuvarşist kayacında yapılan KRS çalışmalarıyla plajiyoklaz mineralinin albit bileşiminde olduğu tespit edilmiştir. Albit bileşimindeki plajiyoklaz mineralinin yüksek Raman kaymaları  $518,73 \text{ cm}^{-1}$ ,  $490,87 \text{ cm}^{-1}$ ,  $302,65 \text{ cm}^{-1}$  ve  $173,87 \text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenirken,  $825,20 \text{ cm}^{-1}$ ,  $774,43 \text{ cm}^{-1}$ ,  $123,72 \text{ cm}^{-1}$ 'de düşük kaymalar gözlenmektedir. Mika kuvarşist kayacında yer alan albit bileşimindeki plajiyoklaz mineralinin Raman görüntüsü Şekil 15.a,b,c'de verilmiştir.



Şekil 14. Granat mikaşist kayacında gözlenen almandin bileşiminde granat mineralinin a) Raman mikroskop görüntüsü, b) Raman pikleri ve c) Raman piklerinin “Spectral ID” yazılım programındaki standart mineral karşılığı

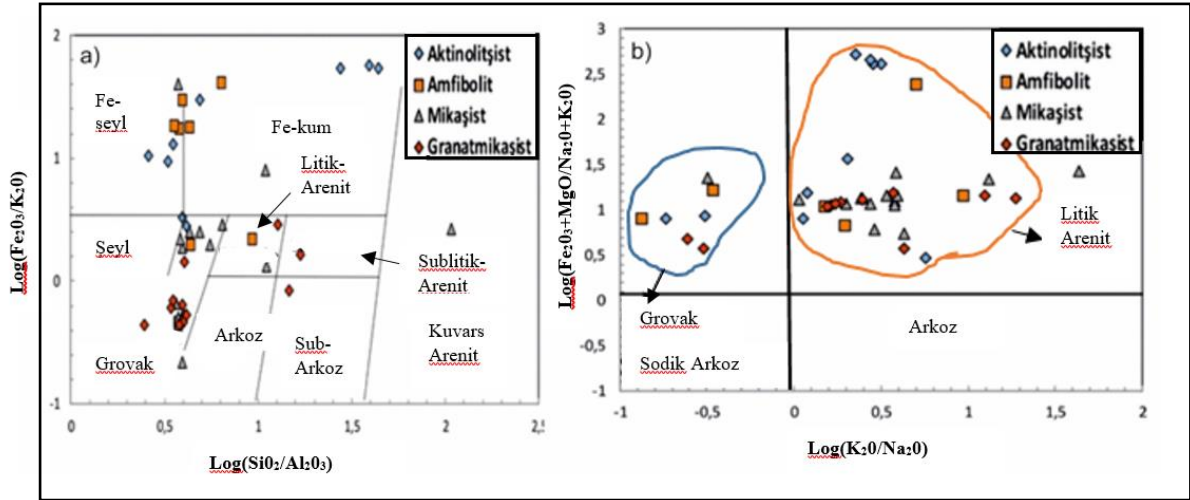


Şekil 15. Mika kuvarşist kayacında yer alan albit mineralinin a) Raman mikroskop görüntüsü, b) Raman pikleri ve c) Raman piklerinin “Spectral ID” yazılım programındaki standart mineral karşılığı



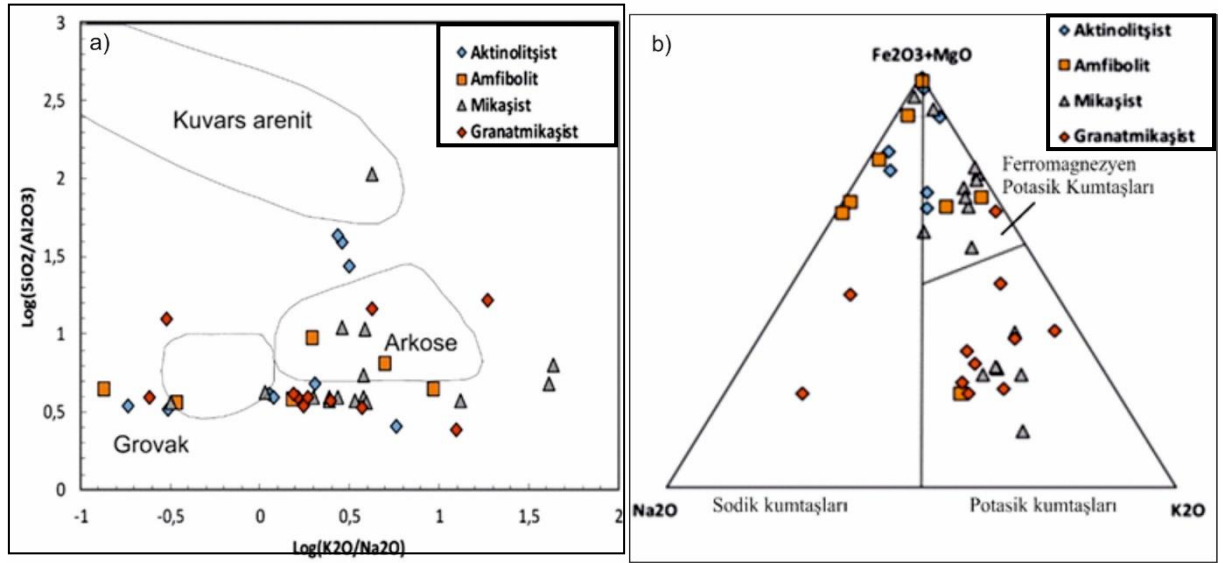
### 4.3. Jeokimya

Kimyasal analizler için aktinolitİst kayalarında 9, amfibolit kayalarında 7, mikaİst kayalarında 13, granat mikaİst kayalarında 9 örnek seçilmiİtir. Analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiİtir. Örneklerin kimyasal bileİşimlerini ve kaynak kaya iliİkilerini belirlemek için yapılan bu analiz sonuçlarının değerlendirmeleri, ilgili kimyasal ayırım diyagramları üzerinde yorumlanarak gerçekleİtirilmiİtir. Çalıİma alanı içerisinde yer alan kayaların detritik kokenli olduğu ve bunların kumtaİı, silttaİı ve kilttaİı olmasından dolayı farklı alanlara dağılımı gozlenmektedir (Şekil 16.a,b). Benzer şekilde kayaların  $\text{Log}(\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O})$ 'ye karİşın  $\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  çizildiğinde kayaların yine detritik kokenli litik arenit ve grovak alanına düştüğü gorülmüştür (Şekil 16.b).



Şekil 16.a,b. Kumtaşlarının alternatif kimyasal sınıflandırmaları (Lindsey, 2005'den değiİtirilerek alınmıİtir)

Kayaların kısmen arkoz, az miktarda kuvars arenit alanına düşmektedir (Şekil 17.a). Ayrıca kayaların potasik olduğu bir kısmının demirli potasik olduğu gorülmektedir (Şekil 17.b). Yapılan kimyasal analiz sonuçlarına gore bolgede yer alan metamorfilerin kırıntılı sedimanter kokenli oldukları belirlenmiİtir. Ancak bu kırıntıların bileİşimlerinin homojen olmadığı, mafik bileİşence zengin olan kırıntılı kayalar amfibolitlerin, kil minerallerince zengin olan kırıntılı kayalar ise mikaİst ve granat mikaİst bileİşimindeki kayaların oluİmasına neden olmuİtir.



Şekil 17.a,b. Kırşehir masifi metamorfik kayaların olası kökeni (Lindsey, 2005'den değiştirilerek alınmıştır)

Tablo 1. Kırşehir metamorfitlerinin ana (%) -iz element (ppm) analiz sonuçları

Kaya Türü	Aktinolitist									
Örnek No	16-K-509	16-K-510	16-K-589	16-K-595	16-K-598	16-K-593	16-K-595	16-K-618	16-K-630	
Na <sub>2</sub> O (%)	0,05	0,05	1,57	0,06	0,04	2,04	0,04	2,20	0,04	
MgO	18,30	17,93	2,08	2,03	19,87	5,81	22,55	3,39	0,01	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,10	1,52	9,67	4,95	1,30	13,82	0,01	14,29	13,63	
SiO <sub>2</sub>	58,05	59,04	40,25	24,19	57,15	48,41	58,62	47,38	35,62	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,01	0,13	0,09	0,02	0,16	0,01	0,20	0,08	
SO <sub>3</sub>	0,12	0,12	0,10	0,10	0,13	0,11	0,11	0,18	0,09	
K <sub>2</sub> O	0,15	0,13	1,78	0,12	0,12	0,37	0,10	0,67	0,23	
CaO	12,21	12,26	19,52	35,23	12,23	16,36	10,39	15,48	22,97	
TiO <sub>2</sub>	0,08	0,12	0,55	0,28	0,04	0,60	0,01	0,62	0,55	
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,03	0,02	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,26	0,21	0,01	0,01	0,15	0,01	0,20	0,01	0,01	
MnO	0,19	0,19	0,04	0,18	0,17	0,21	0,13	0,12	0,09	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,91	7,38	4,98	3,75	6,49	4,89	5,66	6,39	2,38	
LOI	0,43	1,44	19,74	28,73	2,56	7,93	2,66	9,63	24,74	
Toplam	99,86	100,40	100,43	99,73	100,29	100,74	100,49	100,59	100,46	
Cu (ppm)	1,5	1,3	31	38,6	1,1	2	0,5	309,3	33,7	
Zr	4	19,2	124,6	69,6	3,9	173,6	4,2	199,4	120,6	
Co	49,8	78,1	33,6	62,3	37,9	55,7	61,7	52,1	21,7	
Ga	6,9	6,2	15,1	10	5,6	13,4	2,6	24,1	16,7	
Rb	1,1	0,9	71,6	1,7	0,7	8,1	0,3	14,7	7,3	
Sr	19,1	22,9	500,3	817,2	20,6	611,1	18,5	751,2	121,1	
Y	2,7	4,7	21,5	21,8	5,6	30,2	0,8	52,2	20,1	
Nb	2,6	2,9	14,7	3,9	2,9	12,1	3,5	12,1	10,8	
Ba	14,5	8,6	469,8	56,9	17,5	92,3	9,6	332,7	32,7	
Hf	2,7	2,5	5,9	3,7	2,5	2	2,5	8,1	3,6	
Ta	5,6	5	5	4,4	4,9	2,5	4,7	9,8	4,2	
Tl	0,8	0,4	0,9	1	0,8	0,8	0,6	1,1	1	
Pb	2,3	3,4	23,3	18,8	2,3	20	2,4	18	18,9	
Th	0,6	0,6	12,7	4	0,6	14,8	0,5	16	8	
U	8,7	8,3	8,3	9,9	8,2	8,2	7,6	8,2	8,1	
Ce	15,1	10	62,3	35,5	22,3	71,6	9,8	84,2	58	

<b>Br</b>	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
-----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

**Tablo 1.** Kırşehir metamorfitlelerinin ana (%)-iz element (ppm) analiz sonuçları (devamı)

<b>Kaya Türü</b>	<b>Amfiboloşist</b>						<b>Mikaşist</b>		
<b>Örnek No</b>	18-MGN-319	16-K-512	16-KY-513	16-K-591	16-K-592	16-K-594	16-K-631	16-K-521	16-K-522
<b>Na<sub>2</sub>O (%)</b>	1,50	4,65	0,06	0,73	2,31	4,78	0,26	0,88	0,67
<b>MgO</b>	8,93	5,78	12,88	1,48	4,56	0,21	1,69	2,75	2,64
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	14,10	15,32	7,93	7,23	12,89	16,79	10,42	14,39	10,88
<b>SiO<sub>2</sub></b>	50,84	58,67	51,39	67,94	56,15	63,94	45,94	56,99	60,55
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,24	0,14	0,12	0,10	0,17	0,21	0,14	0,14	0,13
<b>SO<sub>3</sub></b>	0,19	0,12	0,11	0,23	0,12	0,14	0,14	0,13	0,12
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,53	0,31	0,29	1,45	0,31	7,35	2,47	3,34	2,53
<b>CaO</b>	12,40	8,38	12,14	11,19	14,06	1,14	20,53	12,05	12,90
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,72	0,69	0,95	0,60	0,59	0,21	0,55	0,62	0,74
<b>V<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,04	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,01	0,01	0,05	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>MnO</b>	0,37	0,10	0,26	0,06	0,17	0,06	0,10	0,15	0,10
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	9,45	5,34	11,85	3,16	5,50	3,34	4,80	6,31	4,99
<b>LOI</b>	0,73	0,34	1,66	5,83	3,28	1,65	12,85	1,98	3,22
<b>Toplam</b>	100,04	99,87	99,72	100,01	100,13	99,83	99,91	99,75	99,49
<b>Cu (ppm)</b>	10,4	0,4	1,6	14,7	54,3	4,2	23	27,7	21,4
<b>Zr</b>	124,6	221	204,9	159,1	161,4	231,4	162,2	221,3	158,8
<b>Co</b>	59,1	61,8	46,2	44,9	41,8	32,8	14,2	50,6	44,6
<b>Ga</b>	17	14,8	17,5	12,4	16,6	20	14,8	21,9	14,5
<b>Rb</b>	8	5,2	4,8	50,3	5,7	198,7	73,9	128,5	90,5
<b>Sr</b>	278,6	638,4	85,9	413,7	450,5	44,1	439,7	299,8	326,5
<b>Y</b>	32,6	35,1	26,9	16,9	28,2	18,3	25,9	33,5	25,3
<b>Nb</b>	6,2	13,9	23,7	11	17,4	22,3	18,6	26,8	9,6
<b>Ba</b>	220,6	32,1	21,2	236,9	244,5	134,3	382,6	641	431,5
<b>Hf</b>	2,8	1,9	2,7	2,3	4,1	1,9	2,8	3,2	3,3
<b>Ta</b>	3,2	4,8	4,2	4,6	4,4	2,3	3,5	3,6	3,2
<b>Tl</b>	1	0,5	1,1	1	0,9	0,9	0,7	1	0,9
<b>Pb</b>	16,2	29,8	5,2	16,9	13,9	14,6	20,2	30,4	19,4
<b>Th</b>	7,1	20	6,6	6	12,3	19,3	10,3	16	11,1
<b>U</b>	8,8	10,7	9,2	12,2	8,4	6,5	9,5	7,9	7,3
<b>Ce</b>	77,4	87,5	36,7	44,3	61,6	67,1	23,3	83,8	45,2
<b>Br</b>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	0,3	0,3	0,7

**Tablo 1.** Kırşehir metamorfitlelerinin ana (%)-iz element (ppm) analiz sonuçları (devamı)

Kaya Türü	Mikajışt										
	Örnek No	16-K-512	16-K-543	16-K-601	16-K-603	16-K-617	16-K-637	16-K-671	16-KY-08	16-KY-10	16-KY-25
<b>Na<sub>2</sub>O (%)</b>	4,65	0,04	3,29	3,84	0,05	0,18	0,65	3,56	2,16	3,53	2,94
<b>MgO</b>	5,78	0,79	2,44	0,20	1,27	0,48	1,09	0,66	0,88	0,02	0,57
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	15,32	12,08	13,24	16,32	2,96	0,86	7,03	15,91	15,31	16,57	16,35
<b>SiO<sub>2</sub></b>	58,67	78,27	56,95	64,85	32,21	92,91	78,45	63,02	55,92	65,23	61,44
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,14	0,10	0,24	0,13	0,07	0,12	0,11	0,14	0,14	0,13	0,16
<b>SO<sub>3</sub></b>	0,12	0,13	0,15	0,14	0,09	0,15	0,13	0,11	0,13	0,12	0,13
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,31	1,69	3,53	7,63	0,20	0,77	1,87	8,73	8,51	9,65	9,93
<b>CaO</b>	8,38	0,47	10,05	0,70	30,34	0,27	3,21	2,88	5,70	0,48	2,40
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,69	1,24	0,59	0,21	0,21	0,07	0,52	0,29	0,30	0,21	0,30
<b>V<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,02	0,03	0,03	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>MnO</b>	0,10	0,04	0,42	0,06	0,05	0,05	0,08	0,08	0,36	0,01	0,15
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	5,34	4,81	8,83	4,16	1,63	2,07	2,47	4,39	5,57	2,12	4,35
<b>LOI</b>	0,34	0,44	0,15	1,46	30,72	2,68	4,73	0,64	4,98	1,75	1,85
<b>Toplam</b>	99,87	100,14	99,92	99,70	99,80	100,60	100,36	100,44	99,96	99,82	100,58
<b>Cu (ppm)</b>	0,4	19,5	22,5	7,3	81	14,2	2,2	7,7	16,7	1,3	4,2
<b>Zr</b>	221	132,1	96,7	214,4	46,5	14,6	164,7	119,4	90,1	255,6	91,9
<b>Co</b>	61,8	38,8	50	36,9	62	106,1	38,5	45,3	40,8	27,7	39,8
<b>Ga</b>	14,8	12,3	14,6	14,9	2,2	4,1	7,9	16,6	14,9	16,5	16,9
<b>Rb</b>	5,2	42,3	202,5	187,3	6,3	17,9	52,2	180,7	194,1	250,7	208
<b>Sr</b>	638,4	12,2	256,8	47,8	613,9	55,4	34,5	126,5	203,5	48	92,4
<b>Y</b>	35,1	17,9	22,3	20,1	17	26,2	16,6	17,1	17,6	38,8	15,8
<b>Nb</b>	13,9	16,9	9,9	20,7	7,1	2,7	13,1	13,7	11,3	29,2	10,8
<b>Ba</b>	32,1	185,1	387	136,7	91	68,2	269,7	482,2	431,5	288,5	511,7
<b>Hf</b>	1,9	2,4	3	4,1	12	2	1,6	1,7	2,8	1,6	2,4
<b>Ta</b>	4,8	2,1	3,7	4,1	13	3,3	6,7	2,5	3	3,9	3,1
<b>Tl</b>	0,5	1,5	0,4	0,6	2,4	2	1,4	0,5	1	2,1	0,8
<b>Pb</b>	29,8	30,1	137,9	18,6	8,9	0,9	14,4	13,3	12,1	13,5	11,8
<b>Th</b>	20	7	7,8	17,5	4,8	1,7	8,4	10,5	9,2	21,3	10,6
<b>U</b>	10,7	6,4	8,5	6,4	14,2	5	7,1	7,9	8,9	6,8	15,6
<b>Ce</b>	87,5	44,6	59,1	86,4	31,7	33	43,5	61	62,1	84,1	65,1
<b>Br</b>	0,2	0,2	0,7	0,2	0,7	1,9	0,2	0,2	0,2	0,7	0,6

**Tablo 1.** Kırşehir metamorfitlelerinin ana (%)-iz element (ppm) analiz sonuçları (devamı)

Kaya Türü	Granat mikaşist								
	Örnek No	16-KY-519	16-K-524	16-K-593	16-K-602	16-K-664	16-KY-02	16-KY-12	16-KY-16
<b>Na<sub>2</sub>O (%)</b>	3,66	2,55	4,65	4,01	0,27	2,99	3,88	4,55	8,09
<b>MgO</b>	0,10	1,13	0,14	0,22	0,45	0,88	0,60	0,22	0,19
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	16,92	17,49	16,56	16,27	5,85	5,98	17,51	15,89	16,66
<b>SiO<sub>2</sub></b>	64,59	60,04	66,22	64,47	85,58	75,85	61,62	66,12	66,95
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,12	0,20	0,14	0,14	0,06	0,06	0,20	0,11	0,12
<b>SO<sub>3</sub></b>	0,13	0,13	0,16	0,16	0,15	0,13	0,13	0,13	0,13
<b>K<sub>2</sub>O</b>	9,06	9,50	7,64	7,41	1,15	0,91	6,75	7,07	1,97
<b>CaO</b>	0,60	1,24	0,67	0,94	0,16	4,71	2,50	0,55	1,09
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,21	0,34	0,21	0,21	0,16	0,25	0,32	0,20	0,20
<b>V<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>MnO</b>	0,05	0,13	0,05	0,07	0,03	0,09	0,15	0,15	0,03
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,98	5,76	3,54	4,71	0,97	2,60	4,74	3,76	2,82
<b>LOI</b>	0,83	1,97	0,12	1,68	5,73	5,84	1,69	1,79	1,85
<b>Toplam</b>	100,28	100,49	100,12	100,30	100,57	100,31	100,11	100,54	100,11
<b>Cu (ppm)</b>	3,1	16,6	2,1	16,2	7,5	15,8	9,2	1,1	15,8
<b>Zr</b>	224,1	90,6	230,9	194,2	63,3	94,4	135,4	212,2	204,7
<b>Co</b>	40,2	34,1	37,2	67,7	44	64,5	34,9	26,2	34,4
<b>Ga</b>	17,9	15,4	18,9	16,8	4,5	10	17	18	18,1
<b>Rb</b>	260,1	247,2	215,8	191,6	28,5	31,3	196,1	170,1	59,5
<b>Sr</b>	68,9	130,9	44,8	52,5	22	131,2	124,5	48,8	99,7
<b>Y</b>	13,1	19,6	18,1	24,9	7,7	30,7	27	22,9	20
<b>Nb</b>	22,1	13,6	23,9	24,8	2,6	16,6	21,4	21,7	20,4
<b>Ba</b>	211,9	507,3	128,4	185,6	166,9	148,7	446,3	157,1	112,4
<b>Hf</b>	5	2,2	4,8	2,4	1,6	2,4	2,3	2,1	2,4
<b>Ta</b>	1,8	2,8	4,7	3,2	2,3	3	2,7	1,7	2,1
<b>Tl</b>	1,7	1,9	1,3	1,1	0,8	0,9	1,6	0,8	0,8
<b>Pb</b>	13,2	24,3	12,4	13	60,9	13,8	6,1	13,9	15,1
<b>Th</b>	19,7	9,8	19,5	19,7	3	16,5	13,3	19,4	19,4
<b>U</b>	11,2	7,8	7,8	8,3	5,2	6,5	7,1	7	6,4
<b>Ce</b>	72,3	58	83,5	96,1	16,8	47,2	92,3	77,4	31,2
<b>Br</b>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8	1	0,2	0,5	0,2

## 5. Tartışma

Çalışmada; metamorfik kayaların yaşları ve metamorfizma süreç ve türlerini ortaya koymak amacı ile jeolojik ve petrografik incelemelerin yanında metamorfik minerallerin oluşum koşulları, süreçleri ve oluşum zamanları analiz edilerek irdelenmiştir. Bu bağlamda bölgede metamorfik kayalarla ilgili yapılan çalışmalarda OAKK içerisindeki metamorfik birimlerin tamamını Paleozoyik yaşlı kaya grubu içerisinde değerlendirilmiştir. Oysa bölgede çok sayıda bu metamorfik kayalara felsik ve mafik magmatik kayalar sokulum yapmıştır. Bu magmatik kayaların yaşları genel olarak Geç Kretase dönemine ait olduğu belirlenmiştir (Şekil 18, Tablo 2). Metamorfik kayalara sokulum yapan felsik magmatik kayalar granitoyid ve siyenitoyid bileşiminde olduğu ve bunların kökensel ilişkilerine bağlı olarak granitoyidler çarpışma ve sıkışma magmatizmasına bağlı olarak oluştukları ve <sup>39</sup>Ar-<sup>40</sup>Ar yaşlandırmalarına göre 77,6±0,3 My (Kadioğlu ve ark., 2003) olduğu buna karşın siyenitoidler ise silikaca doymun olmayan foid içerikli kayalardan oluştukları ve genişlemeye bağlı oluştukları ve <sup>39</sup>Ar-



Zamanlarını gösterir yaş haritası Kadioğlu ve ark. 2016'dan değiştirilerek alınmıştır (Yaş verileriyle ilgili referanslar Tablo 2 içerisinde sunulmuştur)

**Tablo 2.** Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı'na ait granitoidlerin yaş verileri (Tablodaki referans numaraları harita üzerine yerleştirilen yaşları temsil etmektedir)

PLÜTON	YAŞ (My)	METOD	MİNERAL	ARAŞTIRMACILAR	KAYA ADI
1	64,9±0,3	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Boztuğ ve ark., 2009a,c	Siyenit
1	66,6±0,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Boztuğ ve ark., 2009a,c	Siyenit
1	73,6±0,3	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Boztuğ ve ark., 2009c	Lökogranit
1	71,5±0,3	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Boztuğ ve ark., 2009c	Lökogranit
1	67,1±0,3	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Boztuğ ve ark., 2009c	Granitoid
1	65,7±0,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Boztuğ ve ark., 2009c	Granitoid
1	79,9±0,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Boztuğ ve ark.,2009c	Lökogranit
1	79,8±0,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Boztuğ ve ark.,2009c	Lökogranit
1	72,5±0,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Boztuğ ve ark.,2009c	Monzogranit
1	72,5±0,3	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Boztuğ ve ark.,2009c	Monzogranit
1	72,9±0,3	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Boztuğ ve ark.,2009c	Kuvars siyenit
1	68,3±0,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Boztuğ ve ark.,2009b,c	Kuvars siyenit
1	67,1±0,4	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Boztuğ ve ark.,2009c	Kuvars siyenit
1	71,6±0,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Boztuğ ve ark.,2009b,c	Kuvars siyenit
1	73,0 ± 1,2	K/Ar	Hornblend	Boztuğ ve Harlavan 2008	Granitoid
1	62,1 ± 0,3	K/Ar	Hornblend	Boztuğ ve Harlavan 2008	Granitoid
1	77,4±1,5	K/Ar	Hornblend	Boztuğ ve Harlavan 2008	Granitoid
1	76,6±0,6	K/Ar	Biyotit	Boztuğ ve Harlavan 2008	Granitoid
1	72,1±0,6	K/Ar	Biyotit	Boztuğ ve Harlavan 2008	Granitoid
1	75,6 ± 0,1	K/Ar	Biyotit	Boztuğ ve Harlavan 2008	Granitoid
1	67,8 ± 0,4	K/Ar	Biyotit	Boztuğ ve Harlavan 2008	Granitoid
1	72,1±0,6	K/Ar	Biyotit	Boztuğ ve Harlavan 2008	Granitoid
2	72,4±0,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Işık ve ark., 2008	Milonitize granit
2	71,6±0,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	K-feldispat	Işık ve ark., 2008	Milonitize granit

**Tablo 2.** Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı'na ait granitoidlerin yaş verileri (Tablodaki referans numaraları harita üzerine yerleştirilen yaşları temsil etmektedir) (devamı)

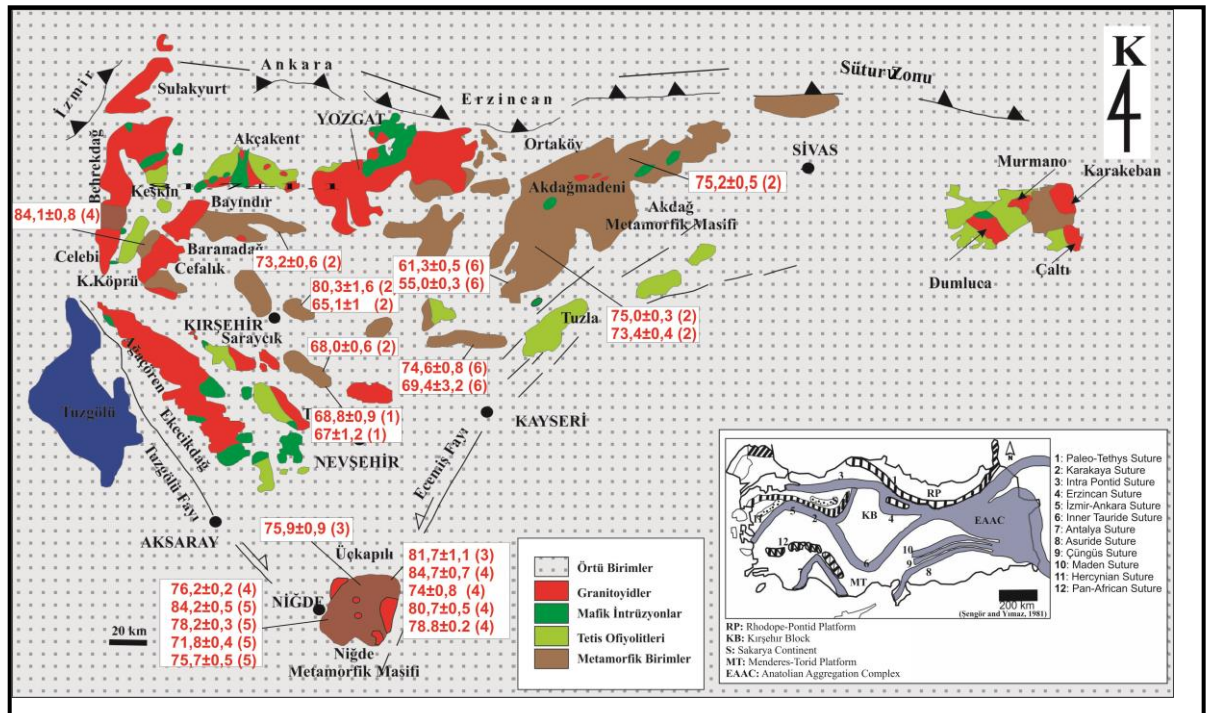
PLÜTON	YAŞ (My)	METOD	MİNERAL	ARAŞTIRMACILAR	KAYA ADI
2	81,2±0,5	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Işık ve ark., 2008	Granit
2	82,4±0,3	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	K-feldispat	Işık ve ark., 2008	Granit
2	71,6±0,3	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Işık ve ark., 2008	Milonitize granit
2	71,1±0,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	K-feldispat	Işık ve ark., 2008	Milonitize granit
2	71,7±0,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Işık ve ark., 2008	Milonitize granit
2	81,3±0,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	K-feldispat	Işık ve ark., 2008	Milonitize granit
3	73,1±2,2	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Delibaş ve ark.,2011	Kuvars monzonit
4	74,1±0,7	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Köksal ve ark.,2004	Kuvars siyenit
4	74±2,8	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Köksal ve ark.,2004	Kuvars monzonit
5	73,6±0,4	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Köksal ve ark.,2012	Monzonit
5	75±1	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Köksal ve ark.,2012	Granit
5	79,1±2,1	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Köksal ve ark.,2012	Granit



5	82,3±0,8	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Köksal ve ark.,2012	Granit
5	84,1±1	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Köksal ve ark.,2012	Granit
6	82,3±0,6	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Amfibol	Kadıoğlu ve ark.,2003	Gabro
6	78±0,9	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Amfibol	Kadıoğlu ve ark.,2003	Gabro
6	78,6±0,9	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Kadıoğlu ve ark.,2003	Granit
7	74,4±0,6	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Köksal ve ark.,2013	Monzonit
8	77,2±0,4	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Titanit	Lefebvre, 2011	Granitoyid
9	78,1±0,8	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Muskovit	Gautier ve ark.,2008	Granit
9	75±0,8	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Gautier ve ark.,2008	Granit
9	75,1±1	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Gautier ve ark.,2008	Granit
9	76±0,8	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Muskovit	Gautier ve ark.,2008	Granit

**Tablo 2.** Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı'na ait granitoyidlerin yaş verileri (Tablodaki referans numaraları harita üzerine yerleştirilen yaşları temsil etmektedir) (devamı)

PLÜTON	YAŞ (My)	METOD	MİNERAL	ARAŞTIRMACILAR	KAYA ADI
10	74,6±0,26	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Whitney ve ark.,2003	Granit
11	84,5±1	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Köksal S.,2019	Granodiyorit
11	80,7±1,6	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Köksal S.,2019	Mikrogranit
11	82,7±1	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Köksal S., 2019	Lökogranit
12	83,5±5,7	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Hinsbergen ve ark.,2016	Gabro
12	90,5±0,2	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Hinsbergen ve ark.,2016	plajiyogranit
12	89,4±0,6	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Hinsbergen ve ark.,2016	plajiyogranit
13	93,6±1,9	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Çörtük R. M, 2021	Gabro
13	72,7±1,9	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Çörtük R. M, 2021	Monzogranit
13	78,3±1,5	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Zirkon	Çörtük R. M, 2021	Granodiyorit



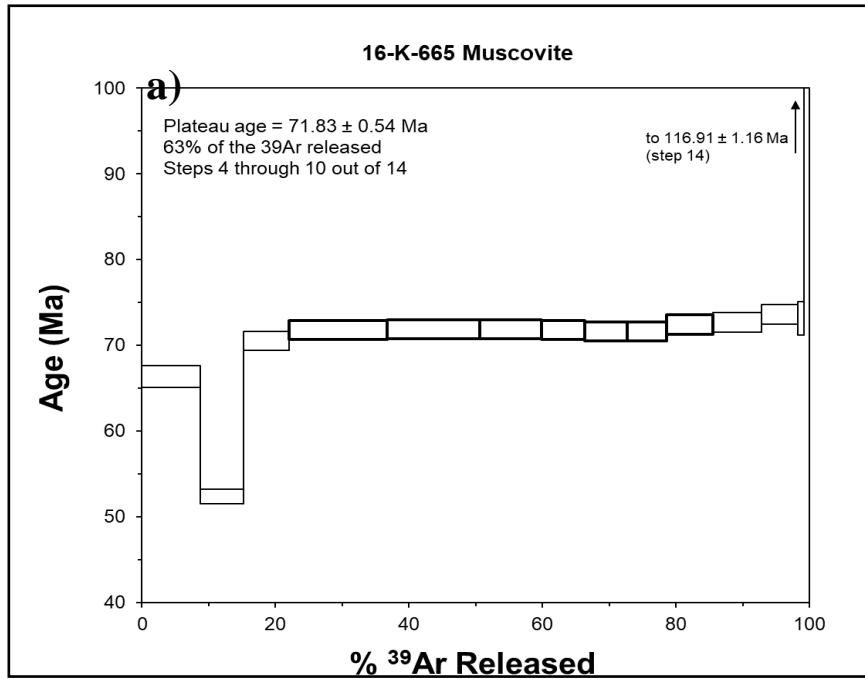
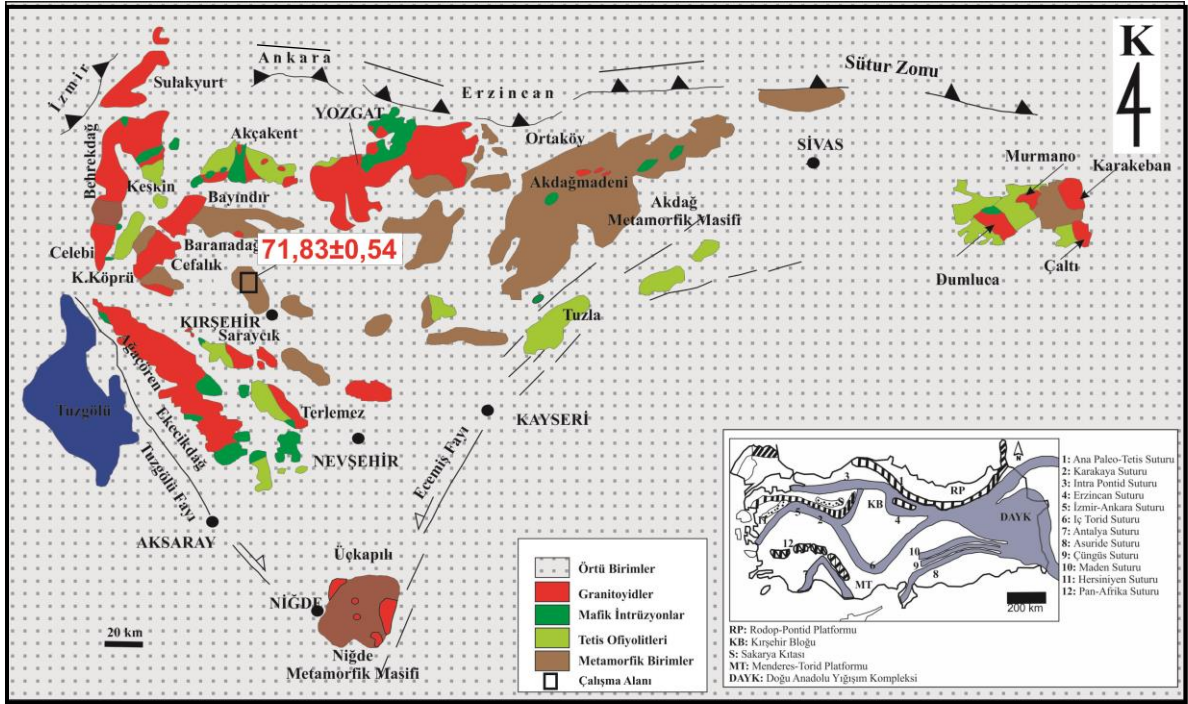


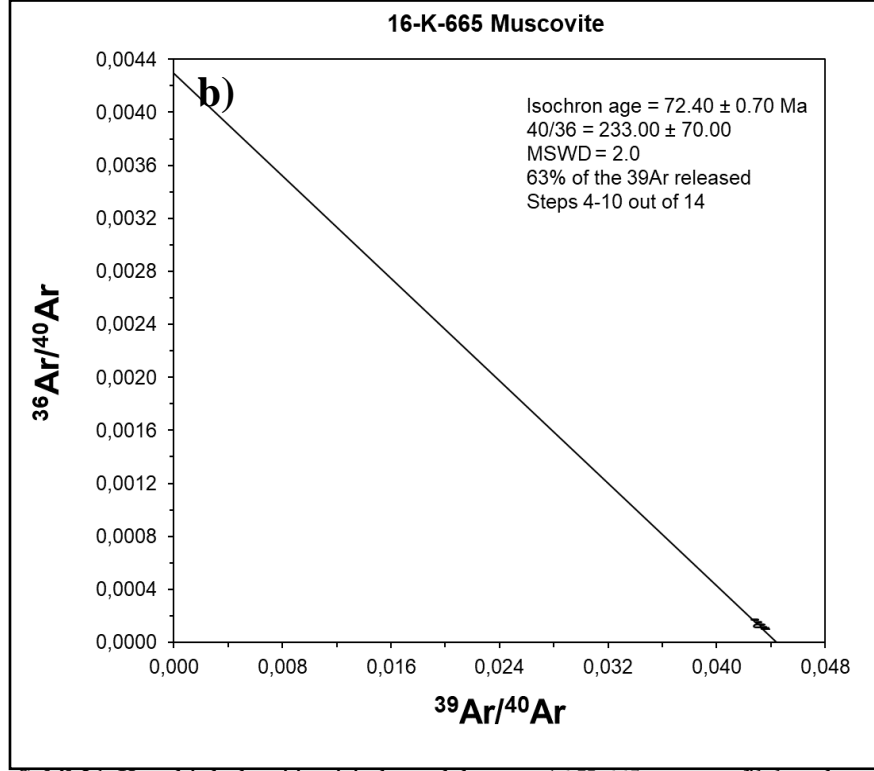
**Şekil 19.** Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı'na ait metamorfik kayaların başkalaşım/soğuma zamanlarını gösterir yaş haritası (Hinsbergen ve ark. 2016'dan değiştirilerek alınmıştır; yaş verileriyle ilgili referanslar Tablo 3 içerisinde sunulmuştur)

**Tablo 3.** Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı'na ait başkalaşım yaş verileri

MASİF	YAŞ (My)	METOD	MİNERAL	ARAŞTIRMACILAR	KAYA ADI
1	68,8±0,9	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Lefebvre ve ark., 2015	Şist
1	67±1,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	K.Feldispat	Lefebvre ve ark., 2015	Şist
2	75,2±0,5	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Hinsbergen ve ark., 2016	Şist
2	75±0,3	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Hinsbergen ve ark., 2016	Şist
2	73,4±0,4	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	K.Feldispat	Hinsbergen ve diğ. 2016	Şist
2	73,2±0,6	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Hinsbergen ve ark., 2016	Şist
2	80,3±1,6	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Hinsbergen ve ark., 2016	Şist
2	65,1±1	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Hinsbergen ve ark., 2016	Şist
2	68±0,6	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Hinsbergen ve ark., 2016	Şist
4	76,2±0,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Whitney ve ark., 2003	Migmatitik gnays
3	75,9±0,9	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Muskovit	Gautier ve ark., 2008	Milonitik gnays
3	81,7±1,1	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Gautier ve ark., 2008	Şist
4	84,1±0,8	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Monozit	Whitney ve Hamilton, 2004	Şist
4	84,7±0,7	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	Monozit	Whitney ve ark., 2003	Şist
4	74±0,8	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Biyotit	Whitney ve ark., 2003	Migmatitik gnays
4	80,7±0,5	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Whitney ve ark., 2003	Şist
4	78,8±0,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Whitney ve ark., 2003	Şist
5	84,2±0,5	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Muskovit	Idleman ve ark., 2014	Gnays
5	78,2±0,3	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Muskovit	Idleman ve ark., 2014	Gnays
5	71,8±0,4	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Muskovit	Idleman ve ark., 2014	Gnays
5	75,7±0,5	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Muskovit	Idleman ve ark., 2014	Gnays
6	74,6±0,8	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Çörtük R. M, 2021	Amfibolit
6	69,4±3,2	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Çörtük R. M, 2021	Meta-gabro
6	61,3±0,5	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Hornblend	Çörtük R. M, 2021	Amfibolit
6	55±0,3	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Muskovit	Çörtük R. M, 2021	Mikaşist
7	71,83±0,54	<sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar	Muskovit	Bu çalışma	Şist

Kırşehir ilinin Karıncalı köyü kuzeydoğusunda yer alan Kırşehir masifine ait metamorfiklerden derlenen 16-K-665 numaralı Kuvarsşist örneği, kuvars, muskovit, grafit ve opak minerallerden oluşan lepidogranoblastik dokulu bir kayadır. Bu kayadan ayıklanan muskovit minerallerinden yapılan <sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar tarihlendirmede plato yaşı 71,83 ± 0,54 My (Kampaniyen) plato yaşı ve 72,40±0,70 My izokron yaşı elde edilmiştir (Şekil 21.a,b).





Şekil 21. Kırşehir bölgesinde yüzlek veren 16-K-665 metamorfik kayalarının muskovit minerallerinden gerçekleştirilen  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  yaş tayini sonuçları (a) plato yaşı, b) izokron yaşı)

## 6. Sonuçlar ve Değerlendirme

Orta Anadolu metamorfikleri üzerine yapılan jeolojik çalışmalar bu kayaların tamamının Paleozoyik yaşlı olduğu ve bölgenin temelini oluşturduğunu belirtmektedir. OAKK bölgesinde çok sayıda farklı bileşim ve büyüklüklerde felsik ve mafik magmatik sokulumların Geç Kretase'den başlayarak Paleosen'e kadar devam ettiği ve bölgenin temel metamorfiklerini etkilediğinden söz edilmemiştir. Metamorfik mineraller üzerinde yapılan Konfokal Raman Spektroskopisi sonuçlarına göre amfibollerin tremolit bileşiminde, granatların almandin bileşiminde ve plajiyoklazların albit bileşiminde olduğu belirlenmiştir. Tüm bu minerallerin doğrudan kayanın metamorfizma süreci içerisinde oluştuğu ortaya konulmuştur.

Bu bağlamda metamorfik kayaların magmatik sokulumlar sonucunda gerek yakın gerekse uzak dokanıklarda kayaların metamorfizma etkileri araştırılmıştır. Kırşehir masifi metamorfik kayalarının metamorfizmaya uğrama dönemlerini belirlemek ve bölge stratigrafisine kronolojik olarak katkıda bulunmak üzere, Kırşehir bölgesinden (Karıncalı mevki) kuvarşist metamorfik kayasından muskovit minerali ayıklanarak  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  radyometrik yaş tayini analizi yapılmıştır. Ayıklanan muskovitler  $71,83 \pm 0,54$  My yaş verisi vermiştir. Yapılan jeokronolojik yaşlandırmaya göre metamorfik mineralden elde edilen bu yaş bulgusunun, bölgedeki intrüzif yaş bulgularından daha genç olduğunu göstermiştir. Bu yaş verisinin doğrudan magmatik sokulumların etkisi sonucu oluşmuş olabileceğini göstermektedir. Bu bağlamda Orta Anadolu Kristalen Kompleksindeki metamorfik kayaların

magmatik sokulumlara bağlı olarak Paleozoyik yaşından çok daha genç yaş verebileceği görülmektedir. Paleozoyik yaş verilerinin daha çok magmatik sokulumlar gerçekleşmeden temel birimlere ait olabileceği söylenebilir. Ancak magmatik sokulumlar Geç Kretase döneminden başlıyarak Paleosen dönemine kadar devam etmesi ve oldukça yaygın bir alan içerisinde dağılım göstermesi bölgenin en yaşlı temelini oluşturan Paleozoyik metamorfik kayalarının yeniden progresif bir metamorfizma etkisi ile yeniden metamorfizma geirirdiği yapılan  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  radyometrik yaş verileri ile ortaya konulmuştur. Magmatik sokulumlara göre daha genç metamorfik kayaların yer alması, bölgenin orojenik etkiler altında kalarak yeni bir metamorfik sürecin geliştiğini ortaya koymuştur. Bu orojenik metamorfik kuşağın içerisinde magmatizmaya bağlı yeni cevher mineralleri oluşmuş olabileceğinden maden yataklarına yönelik yeni araştırmaların yapılmasında yarar görülmektedir.

Sonuç itibariyle bölgedeki metamorfik kuşağın yer alması temel olarak sadece Paleozoyik yaşta oluşmadığı aynı zamanda bu metamorfik kuşakların, Orta Anadolu'da intrüzif kütlelerin egemen olmasından dolayı metamorfik kütleler üzerinde etkin olması bölgesel metamorfizmanın değişmesine neden olmuştur. Bölgede kontakt metamorfizmanında rol oynamasına neden olmuştur. Bu nedenle bölgesel stratigrafik çalışmalar üzerinde etkin olduğu söylenebilir.

### **Teşekkür**

Bu alışma Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı tarafından uygulanmış olan 2018 yılında İç Anadolu Bölgesinde gerçekleştirilen 2018.30.14.13 özel kodlu "Türkiye Yüzey Jeolojisi ile Jeofizik Anomalilerinin Karşılaştırılarak Yorumlanması ve Olası Gömülü Cevherleşmelerin Araştırılması" projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarında görüş ve önerileriyle katkı sağlayan Yüksek Jeoloji Mühendisi Metin Beyazpirinç'e (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) ayrıca petrografi çalışmaları, numunelerin hazırlanması, Raman, XRF ve Elektron Mikropirop alışmaları esnasında yardımlarını ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Doç. Dr. Kıymet DENİZ ve Yüksek Jeoloji Mühendisi Sernur DURSUN'a teşekkür ederim.

### **ıkar atışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar atışması olmadığını beyan eder.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan zeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

### **Kaynakça**

Beyazpirinç M., Akçay, AE. Akdağmadeni Masifi'nin jeolojisi ve jeodinamik evrimi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 2017; Rapor No: 13569 (yayımlanmamış).

- Boztuğ D., Tatar S., Otlu N., Yılmaz S., Kayakıran S., Yücel E., Serdar AM. Orta Anadolu çarpışma plütonizmasının oluşumunda eş yaşlı mafik ve felsik magmaların çeşitli etkileşim tipleri. 51. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri 1998; 29-31.
- Boztuğ D. S-I-A type intrusive associations: geodynamic significance of synchronism between metamorphism and magmatism in Central Anatolia, Turkey. In *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Areas* (eds E. Bozkur, J.A. Winchester and J.A.D. Piper). Geological Society of London Special publication 2000; 173: 441-485.
- Boztuğ D., Tichomirowa M., Bombach K. 207Pb-206Pb single-zircon evaporation ages of some granitoid rocks reveal continent-oceanic island arc collision during the Cretaceous geodynamic evolution of the central Anatolian crust, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* 2007; 31: 71-86.
- Boztuğ D., Harlavan Y. K-Ar ages of granitoids unravel the stages of Neo-Tethyan convergence in the eastern Pontides and Central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 2008; 97: 585-599.
- Boztuğ D., Jonckheere RC., Heizler M., Ratschbacher L., Harlavan Y., Tichomirova M. Timing of post-obduction granitoids from intrusion through cooling to exhumation in central Anatolia, Turkey. *Tectonophysics* 2009; 473(1-2, 20): 223-233.
- Boztuğ D., Turksever E., Heizler M., Jonckheere RC. Tichomirowa M., 207Pb- 206Pb, 40Ar-39Ar and apatite fission-track geothermochronology revealing the emplacement, cooling and exhumation history of the Karacayır Syenite (N Sivas), East-Central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Science* 2009a; 18: 109– 125.
- Boztuğ D., Güney Ö., Heizler M., Jonckheere RC., Tichomirowa M., Otlu N. 207Pb-206Pb, 40Ar-39Ar and fission-track geothermochronology quantifying cooling and exhumation history of the Kaman-Kırşehir region intrusions, central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Science* 2009b; 18: 85–108.
- Boztuğ D., Jonckheere RC., Heizler M., Ratschbacher L., Harlavan Y., Tichomirova M. Timing of post-obduction granitoids from intrusion through cooling to exhumation in central Anatolia, Turkey. *Tectonophysics* 2009c; 473: 223–233.
- Çörtük RM. İç Toros okyanusu sorunu. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no:427, Ankara, Türkiye, 2021.
- Delibaş OY., Genç C. De Campos P., Magma mixing and unmixing related mineralization in the Karacaali Magmatic Complex, central Anatolia, Turkey. *Geol. Soc. London* 2011; 350: 149–173.
- Deniz K., Kadioğlu YK. Assimilation and fractional crystallization of foid-bearing alkaline rocks: Buzlukdağ intrusives, Central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 2016; 25: 341-366.

- Deniz K., Kadioğlu YK. Investigation of feldspar raw material potential of alkali feldspar granites and alkali feldspar syenites within Central Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 2019; 158: 265-289.
- Erkan Y. Orta Anadolu Masifinin gúneybatısında (Kırşehir bölgesinde) etkili rejyonal metamorfizmanın petrolojik incelemesi. Hacettepe Üniversitesi Yer Bilimleri Enstitüsü Doçentlik Tezi, Ankara, Türkiye, 1975 (yayımlanmamış).
- Erkan Y. Kırşehir çevresindeki rejyonal metamorfik bölgede saptanan isogradlar ve bunların petrolojik yorumlanmaları. *Yerbilimleri* 1976a; (2-1): 23-54.
- Erkan Y. Orta Anadolu Masifindeki karbonatlı kayalarda plajiyoklaz bileşimi ile metamorfizma arasındaki ilişkilerin incelenmesi. *Yerbilimleri* 1976b; (2-1):107-111.
- Erkan Y. Orta Anadolu Masifinin gúneybatısında, Kırşehir bölgesinde etkili rejyonal metamorfizma ile amfibol minerallerinin arasındaki ilişkiler. *Yerbilimleri* 1977; 3(1): 41-46.
- Erkan Y. Orta Anadolu masifinin metamorfizması üzerine yapılmış çalışmalarda varılan sonuçlar. İç Anadolu'nun jeolojisi Sempozyumu 1981; 35: 9-11.
- Erkan Y., Ataman G. Orta Anadolu Masifi (Kırşehir yöresi) metamorfizma yaşı üzerine K-Ar yöntemi ile bir inceleme. *Yerbilimleri Dergisi* 1981; 8: 27-30.
- Erlar A., Bayhan H. Orta Anadolu granitoidlerinin genel değerlendirilmesi ve sorunları. *Yerbilimleri Dergisi* 1995; 17: 49-67.
- Fayon AK., Whitney DL., Dilek Y. Constraints on the transition from Alpine crustal thickening to extension in Central Anatolia, Turkey. *EOS (American Geophysical Union Transactions)* 1999; 80: F1065.
- Gautier P., Bozkurt E., Bosse V., Hallot E., Dirik K. Coeval extensional shearing and lateral underflow during Late Cretaceous core complex development in the Niğde Massif, Central Anatolia, Turkey. *Tectonics* 2008; 27.
- Göncüoğlu MC. Geochronological data from the southern part (Niğde area) of the Central Anatolian Massif. *Mineral Research and Technical Institute of Turkey (MTA) Bulletin* 1986; 105/106: 83-96.
- Göncüoğlu MC., Toprak V., Kuşcu İ., Erlar A., Olgun E. Orta Anadolu Masifinin Batı bölümünün jeolojisi. Bölüm 1-Güney Kesim. TPAO, 1991; Rapor No: 2909 (yayımlanmamış).
- Göncüoğlu MC., Erlar A., Toprak V., Olgun E., Yalınz K., Kuşcu İ., Köksal S., Dirik, K. Orta Anadolu Masifi'nin Orta Bölümü'nün Jeolojisi, Bölüm 3: Orta Kızılırmak Tersiyer Baseni'nin Jeolojik Evrimi. TPAO, 1993; Rapor No: 3313.
- Göncüoğlu MC., Köksal S., Floyd PA. Post-collisional A-type magmatism in the Central Anatolian Crystalline Complex: petrology of the İdiş Dağı Intrusives (Avanos, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences* 1997; 6(2): 65-76.
- Görür N. Türkiye'nin Triyas-Miyosen paleocoğrafya atlası. İTÜ ve MTA, Ankara; 1998.

- Görür N., Oktay FY., Seymen İ., Şengör, AMC. Paleotectonic evolution of the Tuzgölü Basin complex, central Anatolia (Turkey): Sedimentary record of Neo-Tethyan closure. In: Dixon J.E., Robertson A.H.F (eds) the geological evolution of the eastern Mediterranean. Geological Society of London, Special publications 1984; 17: 467-482.
- Gürer ÖF., Aldanmaz E. Origin of the Upper Cretaceous–Tertiary sedimentary basins within the Tauride–Anatolide platform in Turkey. Geological Magazine 2002; 139(02): 191-197.
- Hinsbergen VDJ., Maffione M., Plunder A., Kaymakci N., Ganerød M., Hendriks BW., McPhee PJ. Tectonic evolution and paleogeography of the Kbox drawings light down and Kırşehir Block and the Central Anatolian Ophiolites, Turkey. Tectonics 2016; 35(4): 983-1014.
- Idleman L., Cosca MA., Heizler MT., Thomson SN., Teyssier C., Whitney DL. Tectonic burial and exhumation cycles tracked by muscovite and K-feldspar  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  thermochronology in a strike-slip fault zone, central Turkey. Tectonophysics 2014; 612–613, 134–146.
- Işık V., Lo CH., Göncüoğlu C., Demirel S.  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  ages from the Yozgat Batholith: Preliminary data on the timing of Late Cretaceous extension in the Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey. Journal of Geology 2008; 116(5): 510-526.
- İlbeyli N. Mineralogical-geochemical constraints on intrusives in central Anatolia, Turkey: tectono-magmatic evolution and characteristics of mantle source. Geological Magazine 2005; 142: 187-207.
- Kadioğlu YK., Güleç N. Granitoidler içinde anklavların kökeni ve Türkiye’den örnekler. Türkiye Jeoloji Bülteni 1993; 8: 113-118.
- Kadioğlu YK., Güleç N. Mineral kimyası ve petrografik özelliklerinden yararlanarak granitoidlerdeki anklav ve gabroların ilişkilerinin belirlenmesi: Ağaçören (Aksaray). Selçuk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 20. Yıl Sempozyumu 1997; 95.
- Kadioğlu YK., Özsan A. Sulakyurt granitoidindeki gabroların derin yapısının sondajlarla belirlenmesi. Türkiye Jeoloji Bülteni 1998; 41: 2: 177-185.
- Kadioğlu YK., Güleç N. Types and genesis of the enclaves in central Anatolian granitoids. Geological Journal 1999; 34: 243-256.
- Kadioğlu YK., Dilek Y., Güleç N., Foland K.A. Tectonomagmatic evolution of bimodal plutons in the Central Anatolian crystalline complex, Turkey. The Journal of Geology 2003; 111: 671-690.
- Kadioğlu YK., Dilek Y., Foland KA. Slab break-off and syncollisional origin of the Late Cretaceous magmatism in the Central Anatolian crystalline complexes. Geological Society of America 2006; special paper 409: 381-415.
- Kadioğlu YK., Deniz K., Koralay T., Güllü B. Raman characteristics of the mafic minerals of ophiolitic and non ophiolitic gabbros from Central Anatolia, Turkey. The 36th National and 3rd International Geoscience Congress, 2018: 24-31.

- Kadioğlu YK., Deniz K., Koralay T., Güllü B. Nature of the gabbro in Central Anatolia: geological observation and spectroscopic applications, Turkey. 19th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2019; 19(1.1): 377-384.
- Kadioğlu YK., Deniz K., Koralay T., Güllü B., Akçe MA. Orta anadolu'daki gabroyik kayaların jeolojisi ve petrolojisi, Türkiye. Uluslararası Katılımlı 9. Jeokimya Sempozyumu 2022; 147-148.
- Kara H., Dönmez M. 1/100000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Kırşehir-G17 paftası No:34. MTA, Ankara, 1990.
- Köksal S., Göncüoğlu MC., Floyd, PA. Extrusive members of post collisional A-type magmatism in Central Anatolia: Karahıdır Volcanics, İdiş Dağı-Avanos area, Turkey. International Geology Review 2001; 43(8): 683-694.
- Köksal S., Romer RL., Göncüoğlu, MC., Toksoy-Köksal, F. Timing of the transition from the post-collisional to A-type magmatism: titanite U/Pb ages from the alpine Central Anatolian Granitoids, Turkey. International Journal of Earth Science 2004; 93: 974-989.
- Köksal S., Moller A., Göncüoğlu CM., Frei D., Gerdes A. Crustal homogenization revealed by U-Pb zircon ages and Hf isotope evidence from the Late Cretaceous granitoids of the Ağacören intrusive suite (Central Anatolia/Turkey). Contrib Mineral Petrol 2012; 163: 725-743.
- Köksal S., Toksoy-Köksal F., Göncüoğlu MC., Möller A., Gerdes A., Frei D. Crustal source of the Late Cretaceous Satansari monzonite (Central Anatolia/Turkey) and its significance for the Alpine geodynamic evolution. Journal of Geodynamics. 2013.
- Köksal S. The Upper Cretaceous intrusive rocks with extensive crustal contribution in Hacımahmutuşağı Area (Aksaray/Turkey). Geological Carpathica 2019; 70(3): 261-276.
- Lefebvre C. the tectonics of the Central Anatolian crystalline complex: a structural, metamorphic and paleomagnetic study. Utrecht Studies in Earth Science 2011; 3: 147.
- Lefebvre C., Peters MK., Wehrens PC., Brouwer FM., Van Roermund HL. Thermal history and extensional exhumation of a high-temperature crystalline complex (Hırkadağ Massif, Central Anatolia). Lithos 2015; 238: 156-173.
- Lindsey DA. An evaluation of alternative chemical classifications of sandstones: U.S. Department of the interior U.S. Geological Suvey. Denver Colo 2005; 80225, 32.
- Okay AI., Satir M., Maluski H., Siyako M., Monié P., Metzger R., Akyüz S. Paleoand Neo-Tethyan events in northwestern Turkey: Geologic and geochronologic constraints. In The Tectonic Evolution of Asia. Yin A., Harrison TM. (eds). Cambridge University Press 1996; 420-441.
- Oktay FY. Savcılı-Büyükoba (Kaman) çevresinde Orta Anadolu masifi tortul örtüsünün jeolojisi ve sedimentolojisi. İTÜ Maden Fakültesi Doçentlik tezi, İstanbul, Türkiye, 1981 (yayımlanmamış).
- Önen AP., Unan C. Kaman (Kırşehir) Kuzeydoğusunda bulunan Gabroların mineralojisi, petrografisi. Türkiye Jeoloji Bülteni 1988; 31: 23-28.



- Seymen İ. Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir masifinin stratigrafisi ve metamorfizması. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni 1981a; 24 (2): 7-14.
- Seymen İ. Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir masifinin metamorfizması. İç Anadolu'nun Jeoloji Sempozyumu 1981b; Türkiye.
- Seymen İ. Kaman dolayında Kırşehir Masifinin jeolojisi. İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Maden Fakültesi Doçentlik Tezi, sayfa no:164, İstanbul, Türkiye, 1982.
- Staudacher TH., Jessberger EK., Dorfl inger D., Kiko J. A refined ultra-high vacuum furnace for rare gas analysis. Journal of Physics E: Scientific Instruments 1978; 11: 781-784.
- Şengör AMC., Yılmaz Y. Tethyan evolution of Turkey. A Plate Tectonic Approach. Tectonophysics 1981; 75: 181-241.
- Tatar S., Boztuğ D. Fractional crystallization and magma mingling/mixing processes in the monzonitic association in the SW part of the composite Yozgat batholith (Şefaatli-Yerköy, SW Yozgat). Turkish Journal of Earth Sciences 1998; 7: 215-230.
- Tolluoğlu AÜ. Kırşehir Masifini kesen felsik intrüziflerin (Kötüdağ ve Buzlukdağ) petrografik ve jeokimyasal karakterleri. Yer Bilimleri Dergisi 1993; 16: 19-43.
- Whitney DL., Teyssier C., Dilek Y., Fayon AK. Metamorphism of the Central Anatolian crystalline complex, Turkey: influence of orogen-normal collision vs wrench-dominated tectonics on PT-t paths. Journal of Metamorphic Geology 2001; 19: 411-432.
- Whitney DL., Teyssier C., Fayon AK., Hamilton MA., Heizler M. Tectonic controls on metamorphism, partial melting, and intrusion: timing and duration of regional metamorphism and magmatism in the Niğde Massif, Turkey. Tectonophysics 2003; 376 (1–2): 37–60.
- Whitney DL., Hamilton MA. Timing of high-grade metamorphism in central Turkey and the assembly of Anatolia. Journal of the Geological Society 2004; 161: 823–828.
- Whitney DL., Evans BW. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist 2010; 95(1): 185-187.
- Yalınız MK., Aydın NS., Göncüoğlu MC., Parlak O. Terlemez quartz monzonite of Central Anatolia (Aksaray-Sarıkaraman): age, petrogenesis and geotectonic implications for ophiolite emplacement. The Journal of Geology 1999; 34: 233-242.
- Yılmaz S., Boztuğ D. Petrogenesis of the Çiçekdağ igneous complex, north of Kırşehir, Central Anatolia, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences 1998; 7: 185-199.

## Açıklığı Olan Metalik Ekranlama Kutusunun Manyetik Ekranlama Parametreleri Üzerine Bir Çalışma

Sunay GÜLER<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>FEV Türkiye, Elektronik ve Elektrifikasyon Direktörlüğü, 34469 Sarıyer, İstanbul

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3851-3357>

\*Sorumlu yazar: [guler\\_s@fev.com](mailto:guler_s@fev.com)

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 27.05.2023

Kabul tarihi: 18.09.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Manyetik ekranlama  
Elektromanyetik uyumluluk  
Ekranlama kutusu  
Ekranlama etkinliği  
Açıklık pozisyonu

### ÖZ

Elektromanyetik ekranlama, elektronik cihazların elektromanyetik yayınımlarını azaltarak ve harici elektromanyetik girişime (EMI) karşı bağışıklıklarını artırarak elektromanyetik uyumluluk (EMC) performanslarını iyileştirmeyi amaçlar. Ekranlama performansı, ekranlama kutusu yokken ve varken ölçülen alan büyüklüklerinin (elektrik veya manyetik) oranıyla ifade edilen ekranlama etkinliği ile belirlenir. Bu çalışmada, ön panelinde açıklığı olan metalik ekranlama kutusunun manyetik ekranlama etkinliği (MSE) analizi 0-2 GHz aralığında gerçekleştirilmiştir. Açıklığın, ekranlama kutusunun ön panelinin merkezinden üst köşesine taşındığı durumda MSE’de iyileşme elde edilmiştir. Açıklığın, ön panelin üst köşesinde olduğu durumda ekranlama kutusu boyutları, açıklık boyutları ve gözlem noktasındaki değişimlere göre MSE analizleri gerçekleştirilmiştir. Ekranlama kutusu boyutlarındaki artış MSE üzerinde iyileşme sağlarken, açıklık boyutlarındaki artış MSE’yi zayıflatmıştır. Gözlem noktası, açıklıktan uzağa taşındığında ise MSE’nin arttığı elde edilmiştir.

## A Study on Magnetic Shielding Parameters of Metallic Shielding Enclosure with Aperture

### Research Article

#### Article History:

Received: 27.05.2023

Accepted: 18.09.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Magnetic shielding  
Electromagnetic compatibility  
Rectangular enclosure  
Shielding effectiveness  
Aperture position

### ABSTRACT

Electromagnetic shielding aims to improve electromagnetic compatibility (EMC) performance of electronic devices by reducing electromagnetic emissions and increasing their immunity against external electromagnetic interference (EMI). Shielding performance is determined by shielding effectiveness, expressed as the ratio of measuring field magnitudes (electric or magnetic) with and without the shielding enclosure. In this study, magnetic shielding effectiveness (MSE) analysis of metallic shielding enclosure with an aperture on the front panel was performed in 0-2 GHz range. Improvement on MSE was obtained when the aperture was moved from the center to the top corner of the front panel of the shielding enclosure. In case of locating the aperture at the top corner of the front panel, MSE analyzes were carried out according to the changes on shielding enclosure dimensions, aperture dimensions and observation point. While the increase on shielding enclosure dimensions improves MSE, the increase on aperture dimensions attenuates MSE. It was obtained that MSE increased when the observation point was moved away from the aperture.

**To Cite:** Güler S. Açıklığı Olan Metalik Ekranlama Kutusunun Manyetik Ekranlama Parametreleri Üzerine Bir Çalışma. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 353-366.

## 1. Giriş

Elektromanyetik ekranlama, belirli bir bölgedeki elektromanyetik alanın azaltılması olarak tanımlanabilir. Elektromanyetik ekranlama, elektronik cihazların elektromanyetik yayınımlarını azaltarak ve harici elektromanyetik girişime (EMI) karşı bağımsızlıklarını artırarak elektromanyetik uyumluluk (EMC) performanslarını iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Robinson ve ark., 1998; Yin ve Du, 2016; Gong ve ark., 2018; Chen ve ark. 2022). Yüksek iletkenlikleri ve yeterli duvar kalınlıklarına sahip olmalarından dolayı metalik ekranlama kutuları, elektromanyetik ekranlama için yaygın olarak kullanılır. Ekranlama kutuları içinde yer alan elektronik devrelerden meydana gelen ısının dağıtımı, havalandırma, güç ve sinyal kablolarının girişi vb. sebeplerden dolayı ekranlama kutuları üzerinde açıklıklara ihtiyaç bulunmaktadır. Bu açıklıklar, elektromanyetik girişimin ekranlama kutusu içerisine sızmasına izin vererek ekranlama performansını düşürmektedir (Karami ve ark., 2014; Ilgar ve ark. 2015). Ekranlama performansı, IEEE 299 standardına göre ortamda ekranlama kutusu yokken ve varken ölçülen alan büyüklüklerinin (elektrik veya manyetik) oranıyla ifade edilen ekranlama etkinliği ile belirlenir (IEEE, 2006).

Ekranlama etkinliği (SE) analizi ile ilgili analitik, nümerik ve hibrit yöntemler olmak üzere birçok farklı yöntem literatürde bulunmaktadır. Analitik yöntemler, genellikle basit yapılar için hızlı sonuç elde etmede avantaj sağlar; fakat fiziksel denklemleri basitleştirmek için birçok kabul yapılması gerekmektedir. Bu kabuller, probleme ve koşullara göre değişkenlik gösterebileceğinden fiziksel olgu detaylı bir şekilde ele alınmadıkça sağlıklı bir analizin gerçekleştirilmesi zorlaşır. Problemden ele alınan yapı karmaşıklıktıkça, nümerik yöntemlere olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Nümerik yöntemler, analitik yöntemlere göre daha kesin sonuç elde edilmesini sağlar. Bununla birlikte, analizler sırasında daha fazla veri işlenmesi gerektiğinden daha büyük bellek tüketimi ve uzun hesaplama süreleri gerekmektedir (Güler, 2022). Bir çalışmada, açıklığı olan ekranlama kutusu için iletim hattı modeline dayalı basit bir ekranlama etkinliği analitik formülasyonu geliştirilmiştir (Robinson ve ark., 1998). Birçok çalışmada ise problemin yapısına ve koşullara bağlı olarak geliştirilen analitik yöntemler sunulmuştur (Po'ad ve ark., 2006; Liu ve ark., 2014; Gong ve Chen, 2022). Ekranlama etkinliği analizlerinde yaygın olarak kullanılan nümerik yöntemler ise, zaman domeni sonlu farklar yöntemi (FDTD) (Yan ve ark., 2018; Liu ve Wang, 2020), sonlu elemanlar yöntemi (FEM) (Zhang ve ark., 2002; Ilgar ve ark. 2015), moment yöntemi (MoM) (Ceri ve ark., 1992; Rajamani ve ark., 2006) ve iletim hattı matris yöntemidir (TLM) (Kraft, 1994; McFeetors, 2002). Ayrıca, hibrit yöntemler de literatürde sunulmuştur (Ceri ve ark., 2000; Feng ve Shen, 2005; Chen ve ark., 2018).

Manyetik ekranlama etkinliği (MSE) ile ilgili bir çalışmada, açıklığı olan iletken ekranlama kutuları için MSE'nin elde edilmesini sağlayan bir yöntem geliştirilmiştir (Edrisi ve Khodabakhshian, 2006). Başka bir çalışmada, yakın manyetik alan için düşük frekanslarda MSE'yi hesaplayan bir yöntem sunulmuştur (Frikha ve ark., 2015). Farklı bir çalışmada, çeşitli açıklık şekli ve boyutlarının MSE'nin üzerindeki etkisi incelenmiştir (D'amore ve ark., 2010). Bir ekranlama kutusu üzerindeki yüzey akımının yaklaşık değerleri, ölçülen yakın manyetik alan dağılımlarından elde edilmiştir (Hayashi ve

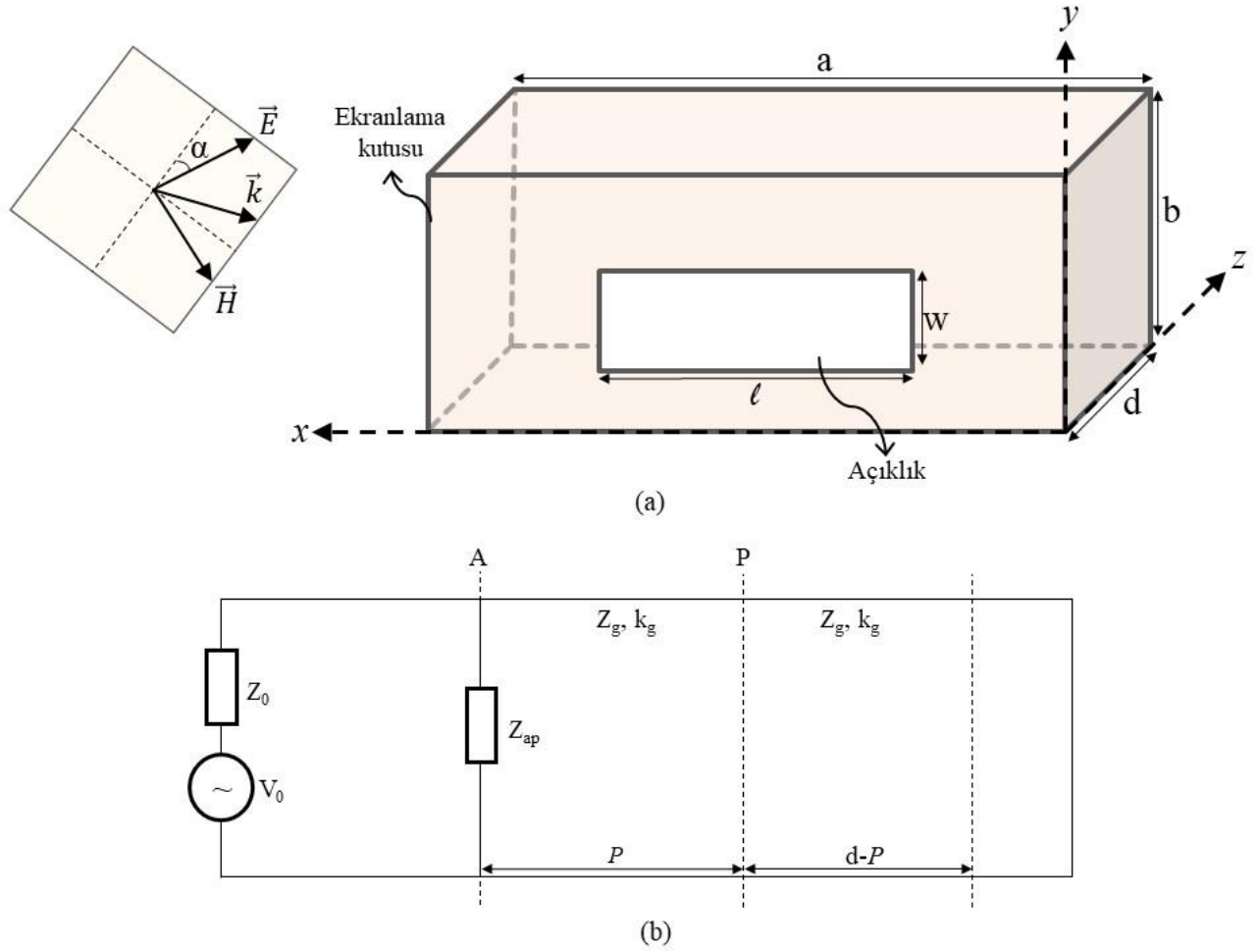
ark., 2000). Başka bir çalışmada, FEM yöntemiyle MSE analizi gerçekleştirilmiştir (Yang ve ark., 2014). Bir çalışmada, MoM yönteminin düşük frekanslardaki MSE tahminlerini iyileştiren bir yöntem sunulmuştur (Nobakhti ve Dehkoda, 2014). Farklı bir çalışmada, ekranlama kutusunun boyutlarının ve açıklık sayılarının MSE üzerindeki etkisi analiz edilmiştir (Basyigit ve ark., 2015). Başka bir çalışmada, harici manyetik alanın yönüne bağlı olarak MSE analizi gerçekleştirilmiştir (Yamada, 2017). Bir çalışmada, iletken plakanın MSE analizi gerçekleştirilmiştir (Park ve ark., 2014). Farklı bir çalışmada, MSE analizi için geliştirilmiş manyetik devre modeli sunulmuştur (Ayhan ve Uçak, 2020). Cep telefonları ve kablosuz sistemlerin sayısının gün geçtikçe artması, literatürde sıklıkla incelenen 0-1 GHz aralığından daha büyük frekans bantlarını inceleme ihtiyacı doğurmuştur. Bu çalışmada, açıklığı olan metalik ekranlama kutusunun MSE analizi 0-2 GHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen literatür araştırmalarında, ekranlama kutusunun ön panelinin merkezinde konumlandırılmış bir açıklık olması durumundaki MSE analizleri görülmektedir. Literatürdeki bir çalışmada, ekranlama kutusunun ön panelindeki açıklık konumunun elektriksel ekranlama etkinliği üzerine etkisi analiz edilmiştir (Güler, 2023). Açıklığın ön panelin köşelerine doğru yakınlığı olduğu durumlarda elektriksel ekranlama etkinliğindeki değişimler raporlanmıştır. Bu çalışmada, MSE ile ilgili literatür çalışmalarından farklı olarak, ekranlama kutusunun ön panelinde yer alan açıklığın üst köşeye yakın olması durumundaki MSE analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde manyetik ekranlama etkinliği ile ilgili analitik formülasyon ve tasarlanan nümerik model verilmiştir. Üçüncü bölümde MSE'ye etki eden parametrelerin analizi gerçekleştirilmiştir. Son olarak yapılan analizlere ilişkin genel değerlendirme ve sonuçlar dördüncü bölümde verilmiştir.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1. Manyetik Ekranlama Etkinliği**

Açıklığı olan metalik ekranlama kutusu ve eşdeğer devresi Şekil 1'de verilmiştir. Metalik ekranlama kutusu mükemmel iletken (PEC) olarak ele alınmıştır. Harici elektromanyetik girişim ise bir düzlem dalga uyarımı ile tanımlanmıştır. Ekranlama kutusuna ait eşdeğer devre modeli için Robinson ve ark. (1998) tarafından önerilen model alınmıştır. Buna göre  $P$  gözlem noktasındaki manyetik ekranlama etkinliği, o noktadaki  $i_p$  akım değerinden faydalanılarak elde edilir.



**Şekil 1.** (a) Açıklığı olan metalik ekranlama kutusu, (b) Eşdeğer devre modeli (Robinson ve ark., 1998)

Harici elektromanyetik kaynağın modellenmesinde ise kaynak gerilimi  $V_0$ , kaynak empedansı  $Z_0 = 377 \Omega$  ve yayılma sabiti  $k_0 = 2\pi/\lambda$  parametreleri kullanılır. A noktasındaki açıklık empedansı  $Z_{ap}$

$$Z_{ap} = \frac{1}{2} \frac{l}{a} j Z_0 \tan \frac{k_0 l}{2} \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır (Robinson ve ark., 1998).

Thevenin teoreminden faydalanarak eşdeğer gerilim  $V_1$  ve kaynak empedansı  $Z_1$  ise sırasıyla aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V_1 = V_0 Z_{ap} / (Z_{ap} + Z_0) \quad (2)$$

$$Z_1 = Z_0 Z_{ap} / (Z_{ap} + Z_0) \quad (3)$$

$P$  noktasına kısa devre uygulandığında ise eşdeğer gerilim  $V_2$ , kaynak empedansı  $Z_2$  ve yük empedansı  $Z_3$

$$V_2 = \frac{V_1}{\cos k_g p + j \left(\frac{Z_1}{Z_g}\right) \sin k_g p} \quad (4)$$

$$Z_2 = \frac{Z_1 + j Z_g \tan k_g p}{1 + j \left(\frac{Z_1}{Z_g}\right) \tan k_g p} \quad (5)$$

$$Z_3 = j Z_g \tan k_g (d - p) \quad (6)$$

elde edilir. Burada rezonatör karakteristik empedansı  $Z_g = Z_0 / \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}$  ve yayılma sabiti  $k_g = k_0 / \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}$  olarak ifade edilir (Robinson ve ark., 1998).

$P$  noktasındaki gerilim ise aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V_p = V_2 Z_3 / (Z_2 + Z_3) \quad (7)$$

MSE ise,

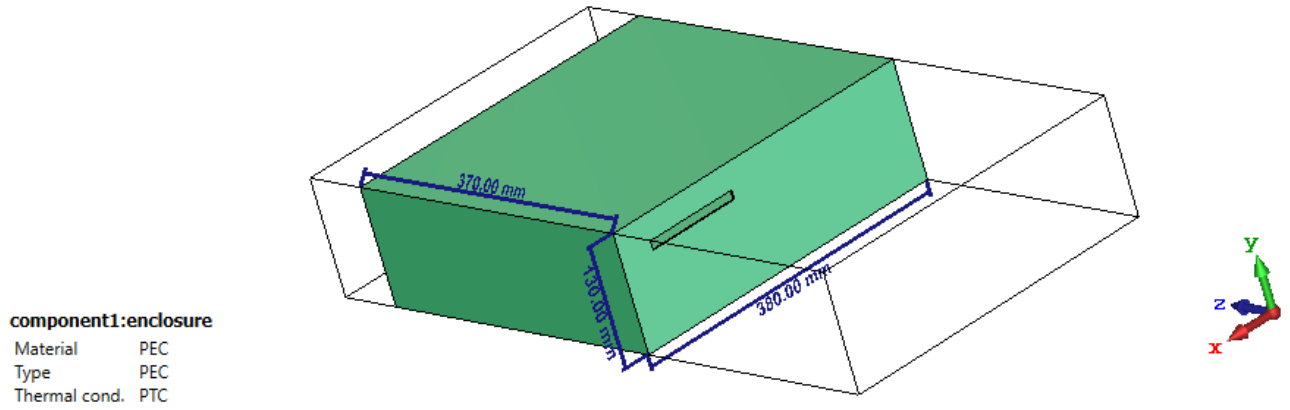
$$\text{MSE} = -20 \log_{10} \left| \frac{i_p}{i'_p} \right| = -20 \log_{10} \left| \frac{2i_p Z_0}{v_0} \right| = 20 \log_{10} \left| \frac{H_a(p)}{H_b(p)} \right| \quad (8)$$

olarak elde edilir. Burada  $H_a(p)$  ve  $H_b(p)$  sırasıyla  $P$  gözlem noktasında ekranlama kutusu yokken ve varken hesaplanan manyetik alan değerleridir.

## 2.2. Ekranlama Kutusu CST Modeli

CST Studio Suite programında, 5306 adet hücreden (tetrahedron) oluşan bir nümerik model tasarlanmıştır. Ekranlama kutusunun boyutları  $a = 380$  mm,  $b = 130$  mm,  $d = 370$  mm, ön yüzeyinin üst köşesine yakın (95, 32,5, 0) noktasında konumlandırılmış açıklığın boyutları ise  $l = 110$  mm,  $w = 10$  mm olarak tasarlanmıştır. Kutunun duvar kalınlığı  $t = 2$  mm, kutu malzemesi ise PEC olarak tanımlanmıştır. Ekranlama kutusunun merkez noktasında konumlandırılmış  $P$  gözlem noktasına, manyetik ekranlama etkinliğinin hesaplanabilmesi için manyetik alan probu yerleştirilmiştir.

Ekranlama kutusu TE uyarımda Gauss düzlem dalgası ile uyarılmıştır. Düzlemsel dalgaya ait elektrik alan bileşeninin genliği pozitif dikey eksen boyunca basamak fonksiyonu olarak değişmektedir. Ekranlama kutusu içi ve dışındaki ortamlar  $\sigma = 0$  S/m serbest uzay olarak tanımlanmıştır. Şekil 2'de tasarlanan ekranlama kutusu CST modeli gösterilmiştir.



Şekil 2. Ekranlama kutusu CST modeli

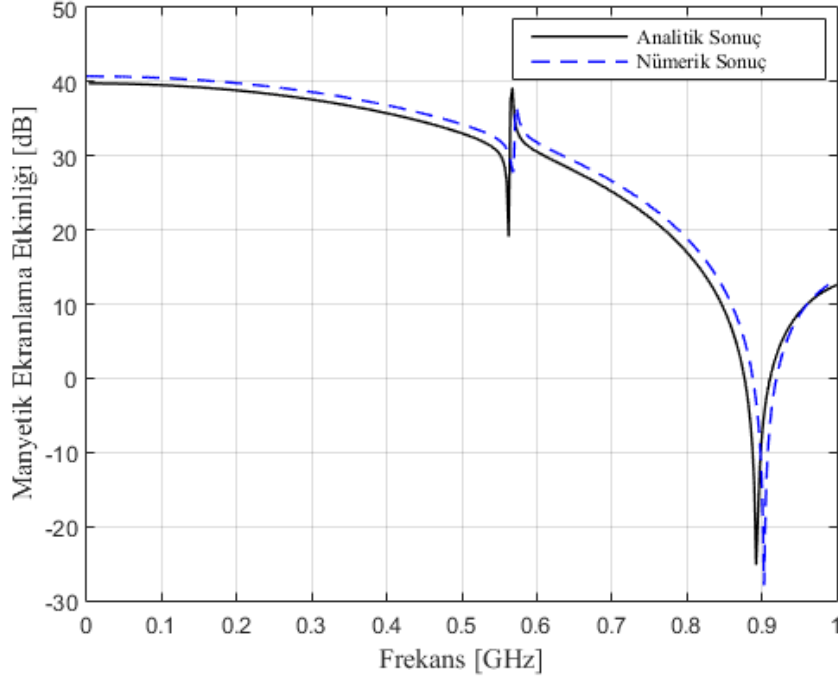
### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde, manyetik ekranlamaya etki eden açıklık pozisyonu, kutu boyutu, açıklık boyutu, gözlem noktası konumu gibi parametrelerin etkisi analiz edilmiştir. Tablo 1’de MSE analizinde kullanılan parametreler verilmiştir.

Tablo 1. MSE analizinde kullanılan parametreler

No:	Kutu Boyutları (mm) (a, b, d)	Açıklık Boyutları (mm) (l, w)	Gözlem Noktası (mm) (x <sub>p</sub> , y <sub>p</sub> , z <sub>p</sub> )	Açıklık Pozisyonu (mm) (x <sub>a</sub> , y <sub>a</sub> )
1	(380, 130, 370)	(110, 10)	(190, 65, 185)	(190, 65)
2	(380, 130, 370)	(110, 10)	(190, 65, 185)	(95, 32,5)
3	(400, 150, 390)	(110, 10)	(200, 75, 195)	(95, 32,5)
4	(420, 170, 410)	(110, 10)	(210, 85, 205)	(95, 32,5)
5	(380, 130, 370)	(100, 10)	(190, 65, 185)	(95, 32,5)
6	(380, 130, 370)	(120, 10)	(190, 65, 185)	(95, 32,5)
7	(380, 130, 370)	(110, 10)	(190, 65, 90)	(95, 32,5)
8	(380, 130, 370)	(110, 10)	(190, 65, 270)	(95, 32,5)

Şekil 3’te ekranlama kutusundaki açıklığın, ön panelin merkezinde olması durumunda (No:1) analitik ve nümerik MSE sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre CST nümerik modelin MSE analitik formülasyonu ile uyumlu olduğu görülmektedir.



**Şekil 3.** 380 x 130 x 370 mm boyutlarındaki kutu için 110 x 10 mm boyutlarındaki açıklığın ön panelin merkezinde olduğu durumda elde edilen MSE analitik ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması

TE modunda kutu rezonans frekansı aşağıdaki formül ile elde edilir (Basyigit ve Caglar, 2016).

$$f_{mnp} = \frac{1}{2\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{d}\right)^2} \quad (9)$$

Burada  $m$ ,  $n$  ve  $p$  birer tam sayıdır ve  $m = n \neq 0$  koşulunu sağlamaktadır.  $a$ ,  $b$  ve  $d$  ekranlama kutusu boyutlarıdır.  $\mu_0$  ve  $\epsilon_0$  ise sırasıyla serbest uzayın manyetik ve elektrik geçirgenlikleridir.

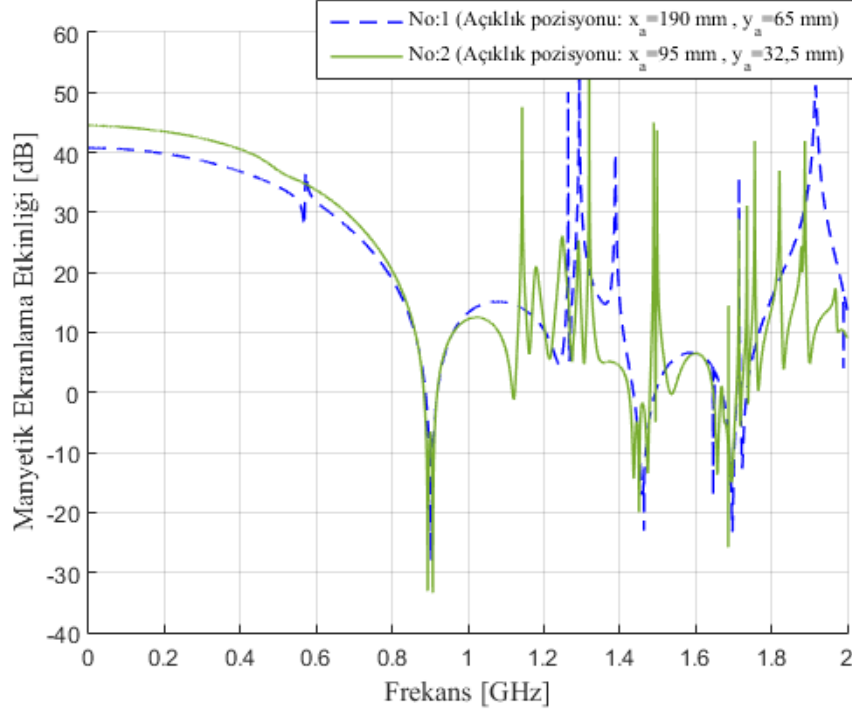
Şekil 3'te 900 MHz'te kutu rezonansı meydana geldiğinden negatif yönde ani bir yükselme meydana gelmiştir. Ekranlama kutularının içinde yer alan elektronik devreler için kutu rezonansları oldukça kritik olup devre tasarımı sırasında göz önünde bulundurulması gereken bir konudur. 500 – 600 MHz aralığındaki negatif ve pozitif yönde ani yükselmeler ise ekranlama kutusu ve açıklık arasındaki kuplajdan kaynaklanmaktadır.

### 3.1. Açıklık Pozisyonunun MSE'ye Etkisi

Şekil 4'te 380 x 130 x 370 mm boyutlarındaki kutu için No:1 (Açıklık pozisyonu:  $x_a = 190$  mm ,  $y_a = 65$  mm) ve No:2'de (Açıklık pozisyonu:  $x_a = 95$  mm ,  $y_a = 32,5$  mm) belirtilen parametreler ile gerçekleştirilen MSE analizlerinin sonuçları verilmiştir. Açıklık pozisyonlarının farklı olup diğer parametrelerin aynı olduğu bu kıyaslama çalışmasında, açıklığın ön panelin üst köşesine konumlandırıldığı durumda (No:2) MSE'nin 400 MHz örnekleme frekansında 3,69 dB iyileştiği elde edilmiştir. Bununla birlikte, 900 MHz'te kutu rezonansı meydana geldiğinden her iki MSE sonucunun kutu rezonansında birbiriyle örtüştüğü görülmektedir.



Ekranlama kutusu rezonansları Şekil 4'te görüldüğü gibi sanki ekranlama kutusu içerisinde bir EMI kaynağı varmış gibi negatif yönde MSE'ye etki eder. Özellikle 1 GHz'den sonra görülen ani yükselmeler ise ekranlama kutusu ve açıklık arasındaki kuplajdan kaynaklanmaktadır.

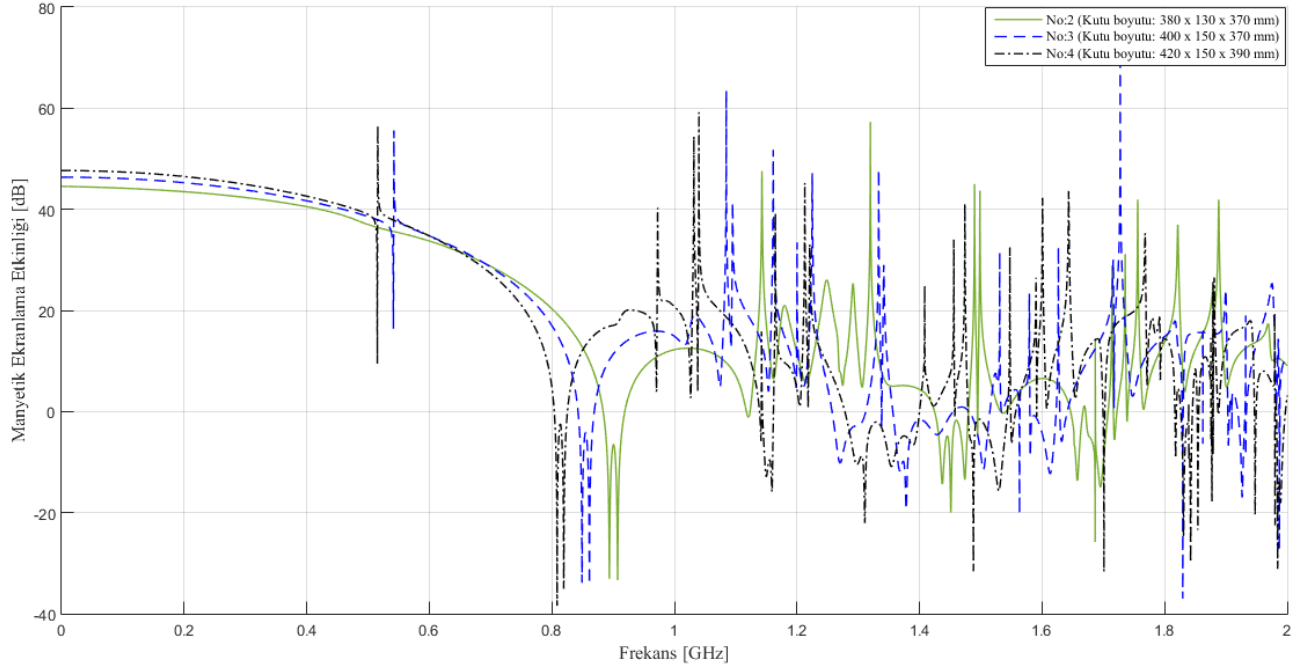


Şekil 4. 380 x 130 x 370 mm boyutlarındaki kutu için 110 x 10 mm boyutlarındaki açıklığın ön panelin merkezinde (No:1) ve üst köşesinde (No:2) olduğu durumlarda elde edilen MSE sonuçlarının karşılaştırılması

### 3.2. Ekranlama Kutusu Boyutlarının MSE'ye Etkisi

Şekil 5'te No:2 (Kutu boyutu: 380 x 130 x 370 mm), No:3 (Kutu boyutu: 400 x 150 x 370 mm), ve No:4'te (Kutu boyutu: 420 x 150 x 390 mm) belirtilen parametreler ile kutu merkezlerindeki gözlem noktalarında gerçekleştirilen MSE analizlerinin sonuçları verilmiştir. Kutu boyutlarının farklı olup diğer parametrelerin aynı olduğu ve açıklığın ön panelin üst köşesinde konumlandırıldığı bu kıyaslama çalışmasında kutu boyutlarının artmasına bağlı olarak MSE üzerinde iyileşmeler görülmektedir. 400 MHz örnekleme frekansında kutu boyutlarındaki artışa bağlı olarak MSE sonuçları arasında 1 dB iyileşme elde edilmiştir. Bununla birlikte, kutu boyutlarındaki değişime bağlı olarak kutu rezonans frekansında değişimler gözlenmiştir. Kutu boyutları arttıkça kutu rezonans frekansının düşük frekanslara doğru kaydığı görülmektedir.

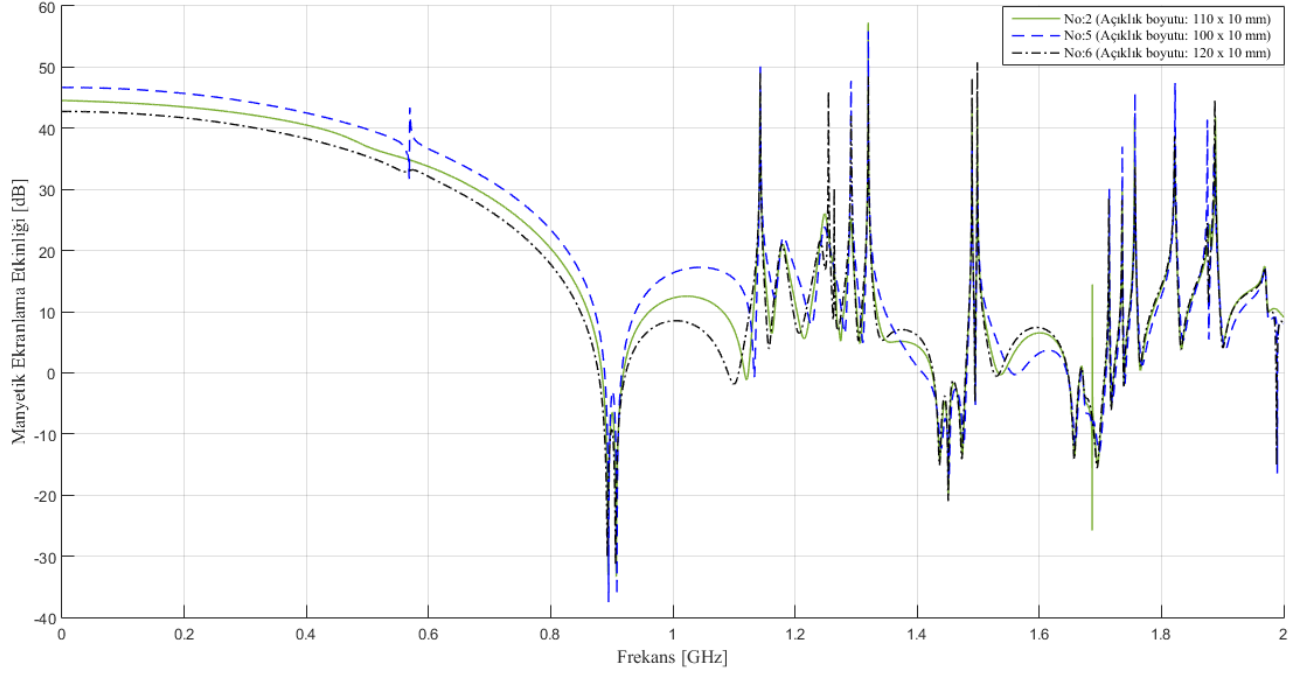
MSE değerlerini artırmak için ekranlama kutusu boyutları artırılırken elektronik devrelere etki eden kutu rezonanslarının düşük frekanslarda meydana geldiğine dikkat edilmeli ve elektronik devrelerin çalışma frekans bandının mümkün olduğunca bu rezonanslardan uzakta olması sağlanmalıdır.



**Şekil 5.** 380 x 130 x 370 mm (No:2), 400 x 150 x 370 mm (No:3) ve 420 x 150 x 390 mm (No:4) boyutlarındaki kutular için açıklığın ön panelin üst köşesinde olduğu durumdaki MSE sonuçlarının karşılaştırılması

### 3.3. Açıklık Boyutlarının MSE'ye Etkisi

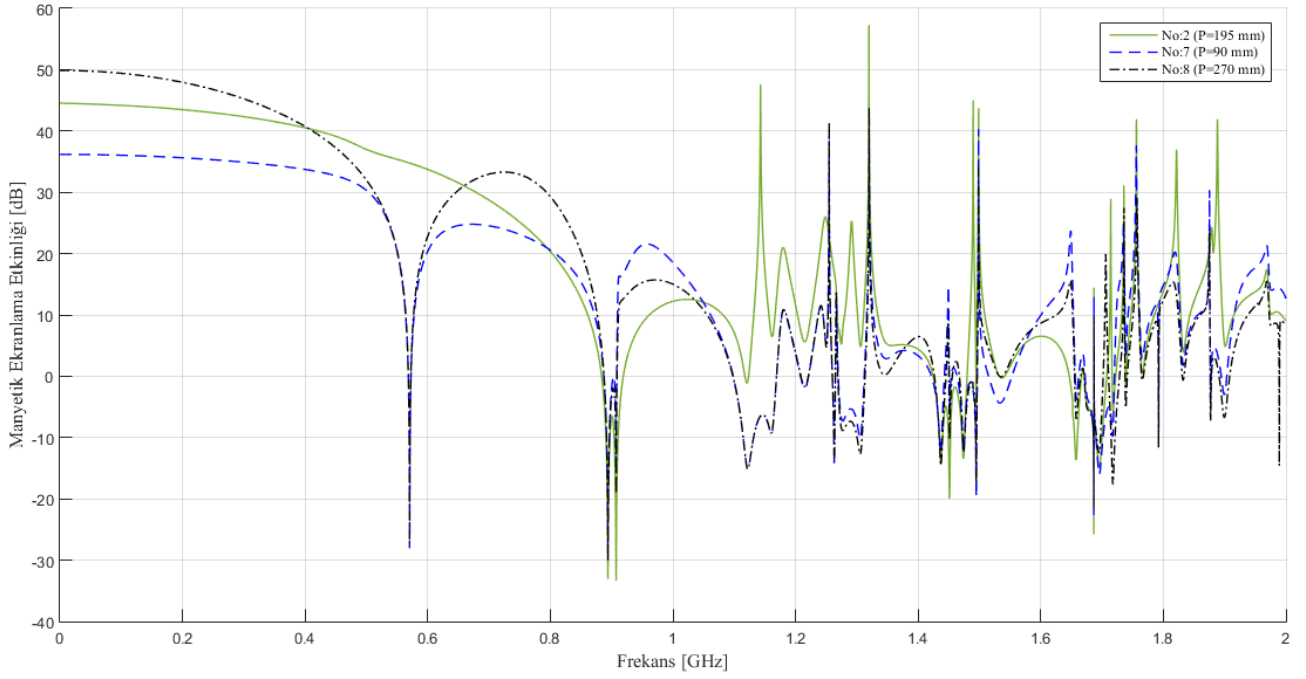
Şekil 6'da No:2 (Açıklık boyutu: 110 x 10 mm), No:5 (Açıklık boyutu: 100 x 10 mm) ve No:6'da (Açıklık boyutu: 120 x 10 mm) belirtilen parametreler ile gerçekleştirilen MSE analizlerinin sonuçları verilmiştir. Açıklık boyutlarının farklı olup diğer parametrelerin aynı olduğu ve açıklığın ön panelin üst köşesinde konumlandırıldığı bu kıyaslama çalışmasında açıklık boyutlarının azalmasına bağlı olarak MSE üzerinde iyileşmeler görülmektedir. 400 MHz örnekleme frekansında açıklık boyutlarındaki azalmaya bağlı olarak MSE sonuçları arasında >2 dB iyileşme elde edilmiştir. Kutu boyutları sabit kaldığından, kutu rezonans frekansları tüm sonuçlar için örtüşmektedir. Bununla birlikte, açıklık boyutlarındaki değişime bağlı olarak ekranlama kutusu ile açıklık arasındaki kuplaj değiştiğinden 1 GHz'in üzerindeki farklı frekans noktalarında ani yükselmeler görülmektedir. MSE değerlerini artırmak için açıklık boyutları mümkün olduğunca küçük ve elektromanyetik girişime doğrudan maruz kalmayacakları konumlarda tasarlanmalıdır.



**Şekil 6.** 380 x 130 x 370 mm boyutlarındaki kutu için ön panelin üst köşesinde 110 x 10 mm (No:2), 100 x 10 mm (No:5) ve 120 x 10 mm (No:6) boyutlarında açıklığın olması durumundaki MSE sonuçlarının karşılaştırılması

### 3.4. Gözlem Noktasının MSE'ye Etkisi

Şekil 7'de No:2 ( $P = 195$  mm), No:7 ( $P = 90$  mm), ve No:8 ( $P = 270$  mm)'de belirtilen parametreler ile gerçekleştirilen MSE analizlerinin sonuçları verilmiştir. Ekranlama kutusu boyutlarının 380 x 130 x 370 mm olduğu bu analizde  $d = 370$  mm kutu derinliğini ifade etmektedir.  $P$  gözlem noktasının z eksenini boyunca açıklığa olan uzaklığı No:2, No:7 ve No:8 için sırasıyla 195 mm, 90 mm ve 270 mm olarak tanımlanmıştır. Gözlem noktası konumları farklı olup diğer parametrelerin aynı olduğu ve açıklığın ön panelin üst köşesinde konumlandırıldığı bu kıyaslama çalışmasında gözlem noktası açıklıktan uzaklaştırıldıkça MSE sonuçlarının iyileştiği görülmektedir. No:2 ile No:7 yani gözlem noktasının açıklığa daha yakın olduğu durum arasında 7 dB fark elde edilmiştir. Bu durum, kutu içerisinde yayılan elektromanyetik gücün mesafeyle orantılı olarak azalmasından kaynaklanmaktadır. Açıklığa daha yakın konumda olan gözlem noktasında daha büyük manyetik alan elde edileceğinden MSE değeri azalmaktadır. Ekranlama kutusu içerisinde yer alacak olan elektronik devreler tasarlanırken, EMI açısından hassas olan elektronik devre elemanları mümkün olduğunca açıklıklardan uzakta konumlandırılmalıdır.



**Şekil 7.** 380 x 130 x 370 mm boyutlarındaki kutu için gözlem noktasının P=195 mm (No:2), P=90 mm (No:7) ve P=270 mm (No:8) olması durumundaki MSE sonuçlarının karşılaştırılması

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, ön panelinde açıklığı olan metalik ekranlama kutusunun manyetik ekranlama analizi 0-2 GHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, açıklığının ön panelin üst köşesinde olması ve merkezinde olması durumları analiz edilmiştir. Açıklığın üst köşe noktasına taşındığı durumda MSE üzerinde iyileşmeler elde edilmiştir.

Açıklığın ön panelin üst köşesinde yer aldığı durum için ekranlama kutusu boyutları, açıklık boyutları ve gözlem noktası konumu gibi MSE'ye etki eden diğer parametrelerin analizi gerçekleştirilmiştir. Kutu boyutlarının artması ile kutuların merkez noktasında ölçülen MSE değerlerinin iyileştiği elde edilmiştir; fakat kutu rezonanslarının daha düşük frekanslarda meydana geldiği görülmüştür. Tasarımcılar yüksek MSE değerlerini elde edebilmek için ekranlama kutusu boyutlarını artırırken elektronik devrelere etki eden kutu rezonanslarının düşük frekanslara doğru kaydığını göz önünde bulundurmalı ve elektronik devrelerin çalışma frekans bandının kutu rezonanslarından uzakta olmasını sağlayacak önlemleri almalıdırlar. Açıklık boyutlarının arttığı durumda ise açıklıktan kutu içerisine sızan manyetik alan arttığından MSE'nin azaldığı elde edilmiştir. Tasarımcılar daha iyi MSE değerlerini elde edebilmek için açıklık boyutlarını optimize etmeli, fazla açıklıklardan kaçınmalıdırlar. Farklı gözlem noktalarıyla gerçekleştirilen analizde ise, gözlem noktasının açıklıktan uzağa konumlandırıldığında MSE'nin belirgin bir şekilde arttığı elde edilmiştir. Bu durum, kutu içerisinde yayılan elektromanyetik gücün mesafeyle orantılı olarak azalmasından kaynaklanmaktadır. Tasarımcılar, EMI açısından hassas elektronik devre elemanlarını mümkün olduğunca açıklıklardan uzakta olacak şekilde konumlandırmalıdırlar.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

## **Kaynakça:**

- Ayhan B., Uçak C. Improved magnetic circuit model for magnetic shielding effectiveness in rogowski coil. *IEEE Transactions on Magnetics* 2020; 56(3): 1-10.
- Basyigit IB., Caglar MF. Investigation of the magnetic shielding parameters of rectangular enclosures with apertures at 0 to 3 GHz. *Electromagnetics* 2016; 36(7): 434-446.
- Basyigit IB., Caglar MF., Helhel S. Magnetic shielding effectiveness and simulation analysis of metallic enclosures with apertures. 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO); 26-28 November 2015, Bursa, Turkey.
- Chen K., Gao M., Zhou X. A model for the prediction of the shielding effectiveness of cylindrical enclosure. *AIP Advances*. 2022; 12(8): 1-10.
- Chen J., Guo J., Tian C. Analyzing the shielding effectiveness of a graphene-coated shielding sheet by using the HIE-FDTD method. *IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility* 2018; 60(2): 362-367.
- Cerri G., Chiarandini S., Russo P., Schiavoni A. Electromagnetic coupling between arbitrarily bent wires and scatters analysed by a hybrid MoMTD/FDTD approach. *IEE Proceedings – Microwave, Antennas and Propagation* 2000; 147(4): 261-266.
- Cerri G., Deleo R., Primiani VM. Theoretical and experimental evaluation of the electromagnetic radiation from apertures in shielded enclosure. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 1992; 34(4): 423-432.
- D'Amore M., De Santis V., Feliziani M. Magnetic shielding of apertures loaded by resistive coating. *IEEE Transactions on Magnetics* 2010; 46(8): 3341-3344.
- Edrisi M., Khodabakhshian A. Simple methodology for electric and magnetic shielding effectiveness computation of enclosures for electromagnetic compatibility use. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* 2006; 20(8): 1051-1060.
- Feng C., Shen Z. A hybrid FD-MoM technique for predicting shielding effectiveness of metallic enclosures with apertures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 2005; 47(3): 456-462.
- Frikha A., Bensetti M., Duval F., Benjelloun N., Lafon F., Pichon L. A new methodology to predict the magnetic shielding effectiveness of enclosures at low frequency in the near field. *IEEE Transactions on Magnetics* 2015; 51(3): 8000404.

- Gong Y., Chen X. An analytical model for predicting the shielding effectiveness and resonances of a lossy enclosure with apertures. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* 2022; 36(4): 488-504.
- Gong YF., Hao JH., Jiang LH. Efficient analytical method for the coupling to penetrated transmission line in multiple enclosures based on electromagnetic topology. *IET Science, Measurement & Technology* 2018; 12(3): 335-342.
- Güler S. Analysing the shielding effectiveness of rectangular enclosure by determining aperture dimensions with particle swarm optimization. *Journal of Electrical Engineering* 2022; 73(3): 182-189.
- Güler S. An investigation on electromagnetic shielding effectiveness of metallic enclosure depending on aperture position. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 2023; 57(2): 129-145.
- Hayashi S., Masuda K., Hatakeyama K., Shu E. Electromagnetic fields and its error distribution predicted from magnetic field measured around metallic enclosure by using inverse-forward analysis. *Electronics and Communications in Japan* 2000; 83(3): 39-52.
- IEEE. IEEE standard method for measuring the effectiveness of electromagnetic shielding enclosures. IEEE Std. 299 2006.
- Ilgar TM., Bulut M., Saka B. Shielding effectiveness for metallic enclosures with various aperture shapes. *Atlantic Radio Science Conference (URSI)*; 16-24 May 2015, Las Palmas, Spain.
- Karami H., Moini R., Sadeghi SHH., Maftooli H., Mattes M., Mosig JR. Efficient analysis of shielding effectiveness of metallic rectangular enclosures using unconditionally stable time-domain integral equations. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 2014; 56(6): 1412–1419.
- Kraft CH. Modeling leakage through finite apertures with TLM. *Proceedings of IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility*; 22-26 August 1994, pp. 73-76, Chicago, IL, USA.
- Liu E., Du P., Nie B. An extended analytical formulation for fast prediction of shielding effectiveness of an enclosure at different observation points with an off-axis aperture. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 2014; 56(3): 589-598.
- Liu Z., Wang X. FDTD numerical calculation of shielding effectiveness of electromagnetic shielding fabric based on warp and weft weave points. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 2020; 62(5): 1693-1702.
- McFeetors G. Shielding effectiveness of vent holes-TLM modeling validation. *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*; 19-23 August 2002, Minneapolis, MN, USA.
- Nobakhti M., Dehkhoda P., Tavakoli A. Improved modal method of moments technique to compensate the effect of wall dimension in shielding effectiveness evaluation. *IET Science, Measurement & Technology* 2014; 8: 17-22.

- Park HH., Kwon JH., Ahn S. Magnetic shielding analysis of a slit on a conducting plate coated with a ferrite sheet: Transverse Incidence. *IEEE Transactions on Magnetics* 2014; 50(9): 5000506.
- Po'ad FA., Jenu MZM., Christopoulos C., Thomas DWP. Analytical and experimental study of the shielding effectiveness of a metallic enclosure with off-centered apertures. 17th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility; 27 February-03 March 2006, Singapore, Singapore.
- Rajamani V., Bunting CF., Deshpande MD., Khan ZA. Validation of modal/MoM in shielding effectiveness studies of rectangular enclosures with apertures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 2006; 48(2): 348-353.
- Robinson MP., Benson TM., Christopoulos C., Dawson JF., Ganley MD., Marvin AC., Porter SJ., Thomas DWP. Analytical formulation for the shielding effectiveness of enclosures with apertures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 1998;40(3): 240-248.
- Yamada K. Anisotropic magnetic shielding effectiveness of magnetic shielded package. *IEEE Transactions on Magnetics* 2017; 53(11): 8500104.
- Yan L., Fang M., Zhao X., Liu Q., Zhou H. Shielding effectiveness prediction of metallic structures with thin slots using FDTD. *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and 2018 IEEE Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC)*; 14-18 May 2018, Singapore, Singapore.
- Yang X., Xie C., Wang Y., Wang Y., Yang W., Dong G. Optimization design of a giant magneto resistive effect based current sensor with a magnetic shielding. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* 2014; 24(3): 9500304.
- Yin M., Du P. An improved circuit model for the prediction of the shielding effectiveness and resonances of an enclosure with apertures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 2016; 58(2): 448-456.
- Zhang Z., Ren S., Zhou X. FEM analysis of shielding effectiveness of magnetic shield of comparator by ANSYS program. *Conference Digest Conference on Precision Electromagnetic Measurements*; 16-21 June 2002, Ottawa, ON, Canada.

## A Comparison of Home Purchase and Liquid Lazy Portfolio Returns in Turkey

Özlem TÜZ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Mersin University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, 33110, Mersin

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-2093-8448>

\*Corresponding author: ozlemtuz@mersin.edu.tr

### Research Article

#### Article History:

Received: 04.09.2023

Accepted: 22.10.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Lazy portfolio  
Residential property price index  
Residential property investing  
Construction management

### ABSTRACT

This study presents a comprehensive comparison between the effectiveness of home purchase and liquid Lazy portfolio strategies for generating historical returns in the Turkish market. The primary aim is to develop a liquid Lazy portfolio that outperforms residential property investments. The study covers the period from January 2010 to June 2023, focusing on high-liquidity assets including the Borsa İstanbul 100 Index, currency exchange rates, gold prices, real estate investment trusts, and major stock market indices. Methodologically, the research involves data pre-processing, logarithmic transformations, and cumulative time series creation. Portfolio optimization centers around maximizing the Sharpe ratio with three test portfolios developed. Findings indicate that all portfolios consistently outperform the benchmark Residential Property Price Index, displaying higher returns and Sharpe ratios despite increased volatility. These insights are relevant for both academic researchers and investors seeking practical applications for portfolio management. It's important to note that historical performance offers insights but not future guarantees. In conclusion, the study highlights the potential benefits of constructing scalable, liquid, and high-return Lazy portfolios as alternatives to traditional home purchases.

## Türkiye'de Konut Satın Alma ve Likit Lazy Portföy Getirilerinin Karşılaştırılması

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 04.09.2023

Kabul tarihi: 22.10.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar kelimeler:

Lazy portföy  
Konut fiyat endeksi  
Konut yatırımı  
Yapım yönetimi

### ÖZ

Bu çalışma, Türkiye piyasasında tarihsel veriler kullanılarak, getiri elde etmede ev satın alma ve likit Lazy portföy stratejilerinin etkinliği arasında kapsamlı bir karşılaştırma sunmaktadır. Temel amaç, konut yatırımlarından daha iyi performans gösteren likit bir Lazy portföy geliştirmektir. Ocak 2010-Haziran 2023 dönemini kapsayan çalışma, Borsa İstanbul 100 Endeksi, döviz kurları, altın fiyatları, gayrimenkul yatırım ortaklıkları ve önemli borsa endeksleri gibi yüksek likiditeye sahip varlıklara odaklanmaktadır. Metodolojik olarak araştırma, veri ön işleme, logaritmik dönüşümleri ve kümülatif zaman serisi oluşturmayı içerir. Portföy optimizasyonu, geliştirilen üç test portföyüyle Sharpe oranının maksimuma çıkarılması etrafında yoğunlaşmaktadır. Bulgular, tüm örnek portföylerin sürekli olarak Karşılaştırmalı Konut Emlak Fiyat Endeksi'nden daha iyi performans gösterdiğini, artan oynaklığa rağmen daha yüksek getiri ve Sharpe oranları sergilediğini göstermektedir. Bu bilgilerin hem akademik araştırmacılar hem de portföy yönetimi için pratik uygulamalar arayan yatırımcılar için faydalı olacağı düşünülmektedir. Çalışmayı değerlendirirken, geçmiş performansın



öngörüler sunduğunu ancak gelecek garantisi vermediğini unutmamak önemlidir. Sonuç olarak çalışma, geleneksel ev satın alımlarına alternatif olarak ölçülenebilir, likit ve yüksek getirili Lazy portföyleri oluşturmanın potansiyel faydalarını vurgulamayı amaçlamaktadır.

---

**To Cite:** Tüz Ö. A Comparison of Home Purchase and Liquid Lazy Portfolio Returns in Turkey. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(1): 367-377.

## 1. Introduction

The aim of this study is to construct a liquid Lazy portfolio demonstrating superior performance compared to investments in residential property. The key components integral to our research are: Home Purchase, the Residential Property Price Index, Lazy Portfolio and the Sharpe Ratio.

Home Purchase entails the acquisition of residential properties as a form of investment. This conventional approach has garnered considerable attention over the years, primarily due to its historical stability and potential for capital appreciation. Residential properties are tangible assets, providing the investor with both the prospect of rental income and the possibility of long-term capital gains. In Turkey, the demand for real estate has consistently exhibited dynamism, serving both as a means of accommodation and investment. The housing industry in Turkey holds a prominent position among traditional investment options and retains its enduring significance (Korkmaz et al., 2016).

The Residential Property Price Index serves as a critical benchmark within the realm of real estate investments. It measures the relative performance of residential property investments over time, encapsulating fluctuations in property values. Investors and analysts often rely on this index to gauge the overall performance of the residential property market (Wong et al., 2023).

Lazy Portfolio represents an investment strategy characterized by its simplicity and low maintenance requirements. Typically composed of a diversified mix of assets, a Lazy portfolio is designed to provide a balance between risk and return. The allure of Lazy portfolios lies in their hands-off nature, making them an attractive option for investors seeking a hassle-free approach to wealth accumulation (Amadini et al., 2014).

The Liquid Lazy Portfolio strategy offers simplicity, diversification, and liquidity as its primary advantages. Nevertheless, it may fall short in harnessing the full potential for capital appreciation in the real estate market.

The Sharpe Ratio, a fundamental metric in finance, quantifies the risk-adjusted return of an investment. It considers both the investment's return and the risk associated with that return. A higher Sharpe Ratio signifies a more favorable risk-return profile, indicating a potentially superior investment (Knight and Satchell, 2005).

Proceeding to analyse the pros and cons of Home Purchase as an investment strategy, one finds that on one hand residential properties offer stability and the potential for consistent rental income. However residential properties may necessitate substantial upfront capital involve ongoing management responsibilities and can exhibit illiquidity (Engelhardt et al., 2010).

Gebeşoğlu, conducted comprehensive research in Turkey between 2010 and 2018, delving deeply into the intricate relationship between the house price index and various macroeconomic variables. Utilizing the ARDL Model, the study pinpoints a persistent co-integration between house prices and these economic indicators. Notably, the research highlights a negative correlation between heightened returns within Borsa İstanbul and house prices, underscoring the enduring appeal of housing as an investment avenue in the Turkish context. Furthermore, the study accentuates the significant influence of lagged exchange rates on house prices, indicating potential macroeconomic vulnerabilities stemming from fluctuations in exchange rates. Consequently, it posits that policies aimed at stabilizing exchange rates may offer a means to address long-term disparities in house prices (Gebeşoğlu, 2019).

The research conducted by Hatipoğlu in 2021 investigates the relationship between house prices and inflation, focusing on the specific regions of Çankırı, Kastamonu and Sinop in Turkey. The study's findings challenge the conventional wisdom regarding the causal link between house prices and inflation. It is evident from this research that inflation does not exert a substantial influence on the housing market in these regions. Furthermore, the study reveals that fluctuations in housing prices do not significantly impact inflation and utilizing capital market instruments as an alternative to real estate investments is suggested (Hatipoğlu, 2021).

The study titled "A Study on the Determinants of the Housing Price Index: Asymmetric Co-Integration Analysis" by Akyol Özcan (2023) presents a comprehensive investigation into the factors influencing the Housing Price Index (HPI). The research addresses a significant area of interest, namely, the relationship between Mortgage Interest Rates (MIR), the Consumer Price Index (CPI), the US Dollar and their impact on the HPI. The research demonstrates that positive shocks in MIR positively correlate with the CPI, while negative MIR shocks have adverse effects on the HPI, particularly in the long term. Furthermore, the study reveals that positive shocks in CPI exert a negative influence on the housing price index, while negative CPI shocks surprisingly have a positive effect, especially in the short term. It is noteworthy that both positive and negative shocks in the US Dollar do not exhibit statistically significant impacts on the HPI. These findings shed light on the complex dynamics at play within the housing market and underline the importance of considering multiple variables when assessing housing price trends. As such, the study underscores the significance of monitoring CPI and housing loan interest rates for individuals interested in housing investments, offering valuable guidance for both investors and policymakers in the field of real estate economics.

The research by Şanlı and Peker (2023) delves into a comprehensive analysis of the factors influencing house sales in Turkey, with a particular focus on the producer price index (PPI), exchange rates, interest rates and income. Employing the robust ARDL methodology and covering the extensive timeframe from January 2013 to October 2021, the study reveals intriguing empirical findings. Specifically, the research demonstrates that both PPI and exchange rates have a positive impact on house sales, contrary to conventional demand theories. Notably, a 10% increase in PPI corresponds to a substantial 7% rise in house sales, while a similar increase in exchange rates leads to a 4% increase in house sales. In contrast,

mortgage interest rates exhibit the expected negative influence, with a 10% hike resulting in a marginal 0,1% decrease in house sales. These findings challenge conventional economic wisdom by suggesting that the purchase of houses in Turkey serves as both a significant investment and a means to combat inflation. The study also highlights the paradoxical role of foreigners in sustaining housing sales and prices in the face of inflationary pressures driven by exchange rates, shedding light on the unique dynamics of the Turkish housing market.

The study by Yilmaz (2022) investigates the causal links among stock prices, exchange rates and housing prices in the context of Turkey. Utilizing monthly data spanning from March 2013 to January 2022, the research employs Granger Causality analysis to explore the relationships between the House Price index, USD/TL rate, the BIST Construction index and the BIST100 index. The empirical findings yield indicating bidirectional causality between the dollar exchange rate and housing price index, between the BIST Construction index and housing price index and between the BIST100 index and housing price index. However, no causal relationship is detected between the BIST100 index and the Construction index, between the USD/TL rate and the Construction index and between the USD/TL rate and the BIST100 index.

In the study titled "Risk and Return in the Real Estate, Bond and Stock Markets," an exhaustive analysis of risk and return across various investment options is conducted. The outcomes of this analysis highlight the money market as the most advantageous selection for investors in terms of both risk and return. Stocks and real estate emerge as the second and third preferences, respectively, within this assessment (Wolski, 2017).

A comprehensive foundation has been established while transitioning from the introductory and literature review section to the methodology section. Diverse aspects of real estate investments, including inflation, housing price dynamics, causal relationships and risk-return evaluations, have been explored, drawing insights from various studies. Subsequently, in the methodology section, a liquid Lazy portfolio will be constructed and assessed as an alternative to conventional residential property investments. A comparative analysis between Home Purchase and the Liquid Lazy Portfolio reveals performance differentials and risk profiles characteristics of these investment strategies.

## **2. Methodology**

The methodology section follows a quantitative research approach by utilizing numerical data, statistical tools, and objective measurements to analyse and optimize financial assets' performance.

The methodology encompasses sourcing data from "Investing.com" and the "Central Bank of the Republic of Türkiye. Pre-processing involves data cleansing, logarithmic transformations, and the creation of cumulative time series. Visual representation and tabular metrics provide insights. The study shifts to optimize Sharpe ratios using portfolio strategies, underpinned by Microsoft Excel and Solver, resulting in three test portfolios.

The data sources include "Investing.com" for portfolio assets and the "Central Bank of the Republic of Türkiye" for the benchmark "Residential Property Price Index." The dataset covers the time period from January 1, 2010, to June 1, 2023, spanning 162 months. Seven preselected assets are chosen for the study, encompassing diverse financial instruments. These assets are:

- XU100: The Borsa Istanbul 100 Index
- USDTRY: US dollar to Turkish lira exchange rate
- EURTRY: Euro to Turkish lira exchange rate
- GOLD TRY: Gold Prices in Turkish Lira
- XGMYO: BIST Real Estate Investment Trusts
- NDX TRY: The NASDAQ 100 Index in Turkish Lira
- SP500 TRY: Standard & Poor's 500 Index in Turkish Lira
- TP HKFE01: Residential Property Price Index

Data pre-processing steps include cleaning the data from the sources and converting USD prices to TRY. Monthly logarithmic returns for the assets are calculated, and time series reconstruction is performed using cumulative logarithmic returns.

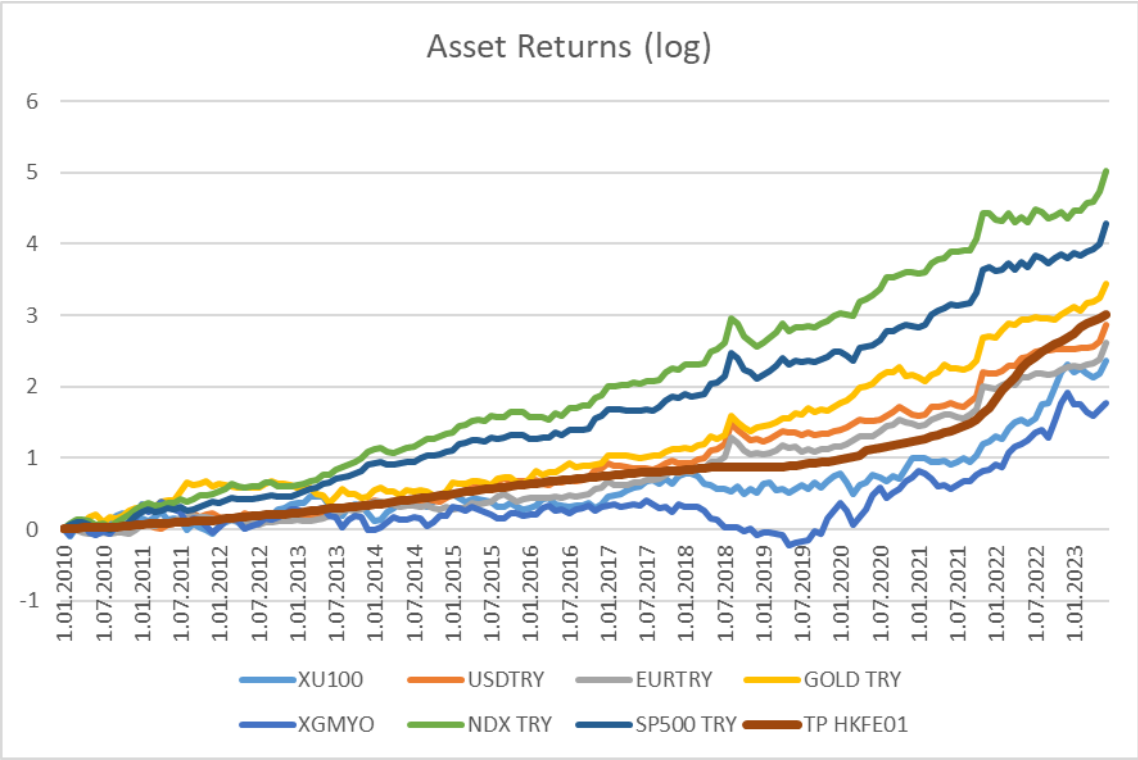


Figure 1. Asset Returns (log)

The visualization in Figure 1 provides a comprehensive overview of the log-transformed returns of the assets under examination. To further delve into the quantitative aspects of these assets, Table 1 presents

the key metrics associated with the preselected assets. This transition allows us to transition from a graphical representation of returns to a more detailed tabular presentation of important asset metrics.

**Table 1.** Preselected Asset Metrics

ASSET METRICS	XU100	USD TRY	EUR TRY	GOLD TRY	XGMYO	NDX TRY	SP500 TRY	TP HKFE01
MEAN RETURN	0,0145	0,0176	0,0162	0,0212	0,0109	0,0310	0,0264	0,0186
STANDARD DEVIATION	0,0727	0,0519	0,0504	0,0615	0,0821	0,0707	0,0629	0,0245
SHARPE RATIO	0,1999	0,3400	0,3205	0,3446	0,1333	0,4385	0,4197	0,7569
LAST VALUE	10,5380	17,4022	13,6920	30,9797	5,8887	151,7206	72,1190	20,2753

Lazy portfolio optimization is employed to maximize the Sharpe ratio while adhering to specified weight boundaries for the assets. The Sharpe ratio is a measure of risk-adjusted return. The Sharpe ratio is derived through the division of the investment's return by the standard deviation of its returns. .

Three test portfolios are created for evaluation:

Portfolio-1 as Equal-weighted portfolio,

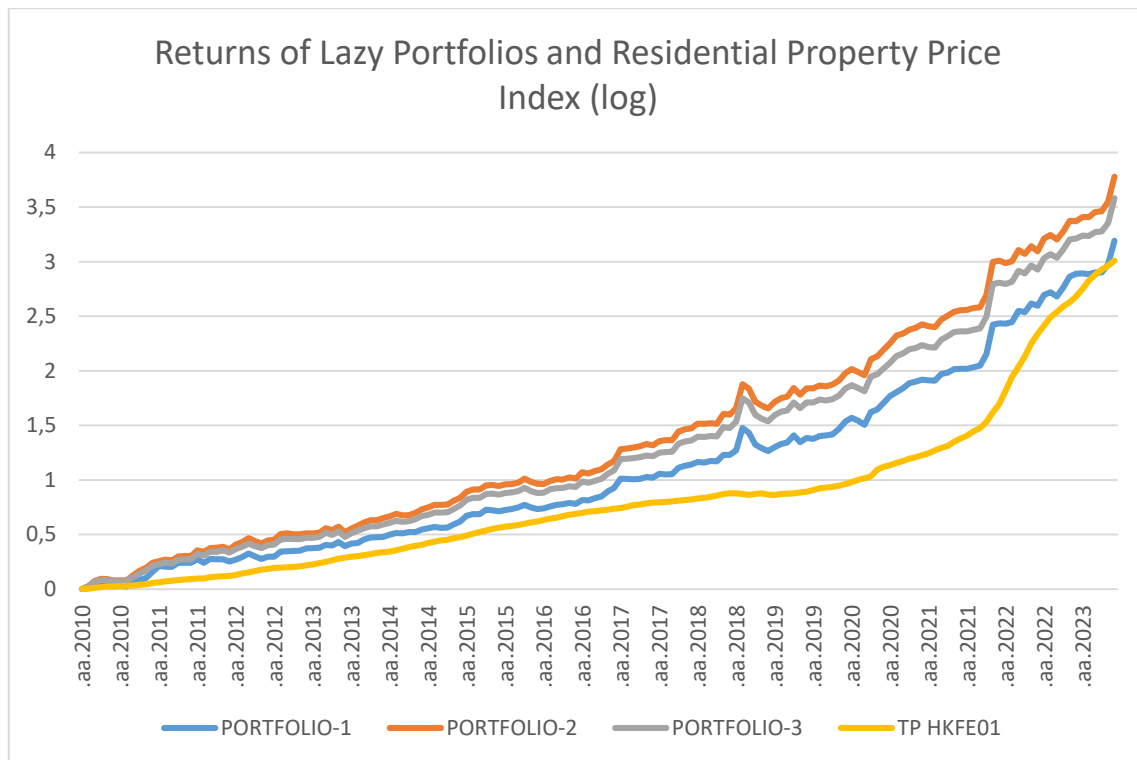
Portfolio-2 for maximum Sharpe ratio optimization without upper boundary restrictions and

Portfolio-3 for maximum Sharpe ratio optimization with a 25% upper boundary restriction to effectively balance risk and returns, particularly relevant when the portfolio includes at least four assets.

### 3. Results and Discussion

This section shows that the study's findings through visualizations and tabulated metrics, reflecting the returns of various portfolios and assets. These initial presentations provide context for an in-depth discussion of significant observations. Notably, the study attains its aim as portfolios outperform both the benchmark index and individual assets in Türkiye, exhibiting higher Sharpe ratios. However, this outperformance is coupled with heightened volatility compared to the benchmark index. The ensuing discussion section delves into these implications, offering insights into the finer details. Lastly, the section concludes by suggesting potential directions for future research, considering various aspects for refining the approach.

Returns of lazy portfolios and the Residential Property Price Index are visualized in Figure 2. Optimized portfolio metrics are tabulated in Table 2. 12-month returns of lazy portfolios and the Residential Property Price Index are depicted in Figure 3.



**Figure 2.** Returns of Lazy portfolios and Residential Property Price Index (log)

Table 2 provides an in-depth overview of the optimized portfolio metrics. This table showcases the composition and performance of three sample portfolios (Portfolio-1, Portfolio-2, and Portfolio-3). Each portfolio reflects unique weight distributions across various assets, contributing to the study's broader exploration of investment strategies. The metrics encapsulated in this table offer quantitative insights into asset allocations, mean returns, standard deviations, Sharpe ratios, and last values.

**Table 2.** Optimized Portfolio Metrics

<b>PORTFOLIO METRICS</b>	<b>PORTFOLIO-1</b>	<b>PORTFOLIO-2</b>	<b>PORTFOLIO-3</b>
<b>XU100</b>	14,28%	25,00%	25,00%
<b>USDTRY</b>	14,28%	7,00%	13,00%
<b>EURTRY</b>	14,28%	0,00%	0,00%
<b>GOLD TRY</b>	14,28%	26,00%	25,00%
<b>XGMYO</b>	14,28%	0,00%	0,00%
<b>NDX TRY</b>	14,28%	42,00%	25,00%
<b>SP500 TRY</b>	14,28%	0,00%	12,00%
<b>TOTAL WEIGHTS</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>MEAN RETURN</b>	0,0197	0,0233	0,0221
<b>STANDARD DEVIATION</b>	0,0429	0,0476	0,0455
<b>SHARPE RATIO</b>	0,4587	0,4903	0,4862
<b>LAST VALUE</b>	24,3062	43,7939	35,9371

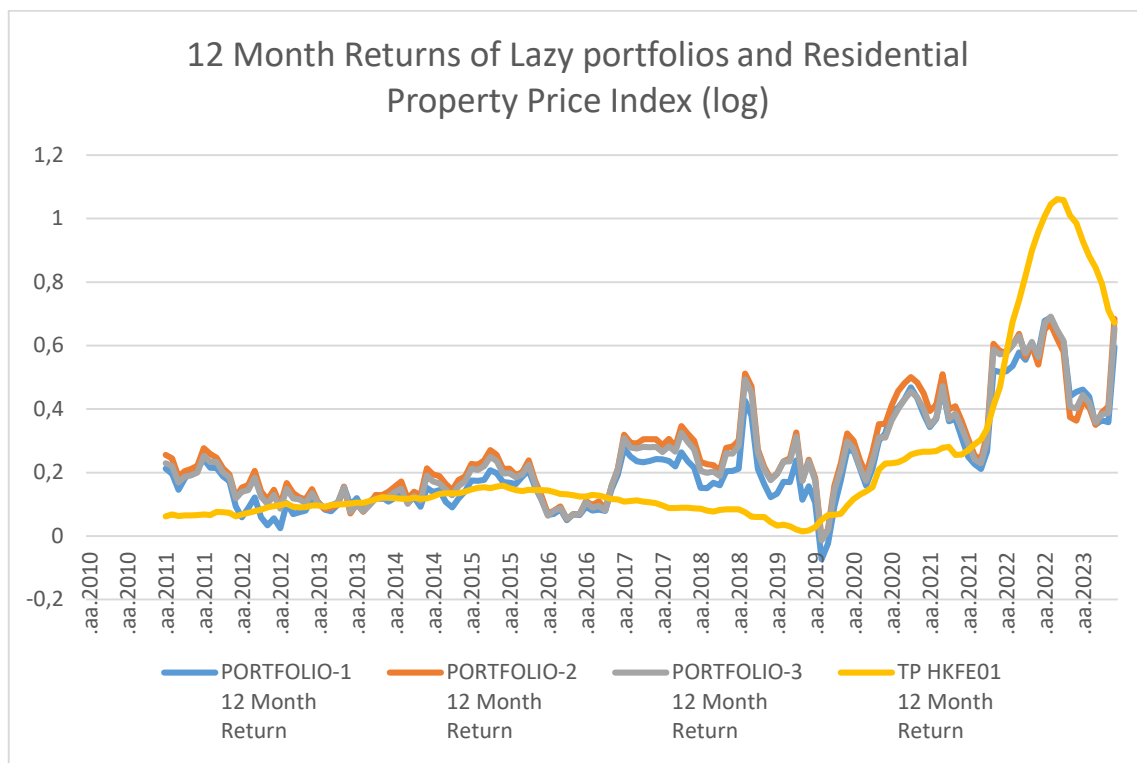
Figure 3 shows the 12-month returns of both lazy portfolios and the Residential Property Price Index, providing a comparative view of their performance in relation to the benchmark index. Additionally, three test portfolios are crafted:

Portfolio-1 featuring an equal-weighted distribution,

Portfolio-2 optimized for the highest Sharpe ratio without upper boundary limitations and

Portfolio-3 calibrated for maximum Sharpe ratio while maintaining a 25% upper boundary.

These portfolios provide detailed insights into various performance scenarios, contributing to a more comprehensive understanding of their potential historical returns.



**Figure 3.** 12-month returns of lazy portfolios and the Residential Property Price Index

The findings emphasize several key observations: The study's aim which is to develop a liquid Lazy portfolio that outperforms residential property investments is achieved. All portfolios outperform the benchmark index in terms of returns. The portfolios also exceed the returns of individual assets in Türkiye. Portfolios exhibit higher Sharpe ratios compared to preselected assets. All portfolios show greater volatility than the benchmark index. Furthermore, it's worth noting that payback periods for major U.S. stock market indexes are typically shorter than those for residential properties in Turkey. The discussions delves into the implications of the findings are: The benchmark index may exhibit lower volatility when compared to the returns of home investors within the provided range in Turkey. Benchmark index returns exhibit monthly fluctuations, whereas home investor returns have more

significant annual changes. Investor returns are subject to discontinuities due to factors like new rentals and non-payment risks. Short-term portfolio volatility might be less significant for long-term investors. Comparison with Past Studies; despite an extensive literature review, no previous study has been found to introduce the concept of “to develop a liquid lazy portfolio that outperforms residential property investments”. In contrast to prior studies that primarily explored the interactions between assets and economic variables, this study focuses on providing portfolio recommendations aimed at maximizing Sharpe ratios for investors. This represents a shift from theoretical analysis to practical investment guidance.

Wolski's study (2017) highlighted the priority of stocks comparing real estate in terms of risk and return. In this study, portfolios optimized for Sharpe ratios do not include XGMYO. Hatipoğlu's study (2021) challenges the conventional wisdom by suggesting that inflation does not significantly affect the housing market in certain Turkish regions. This contradicts the findings of other studies that emphasize the importance of monitoring inflation in housing investments. Study reveals that fluctuations in housing prices do not significantly impact inflation and utilizing capital market instruments as an alternative to real estate investments is suggested. The absence of XGMYO in portfolios created by maximizing the Sharpe ratio in this study supports Hatipoğlu's finding. While Gebeşoğlu's research (2019) indicates a negative correlation between stock market returns and house prices, Yilmaz's study (2022) identifies bidirectional causality between stock prices and housing prices. The portfolio approach in this study offers a robust strategy for effectively managing and resolving these conflicts.

This study has some limitations: First, it relies on historical data from January 2010 to June 2023, which may not be indicative of future market behavior. Second, the study's examination is confined to a specific subset of assets, potentially restricting the applicability of its findings to the broader investment landscape. Third, the analysis does not incorporate transaction costs, tax implications, or fees, which can significantly affect real-world investment performance. Lastly, the study does not consider the potential impact of varying market conditions or external factors, thereby underscoring the need for caution when extrapolating its conclusions to real-world investment scenarios.

While previous studies have contributed to our understanding of the dynamics between economic variables and the housing market, the current study seeks to bridge the gap by offering tangible portfolio recommendations that align with investor objectives. The existence of contradictory findings in the literature underscores the complexity of the subject matter and the need for a diversified approach to investment decision-making.

#### **4. Conclusion**

This research paper presents a comprehensive comparison between home purchase and liquid Lazy portfolio strategies for generating historical returns in the Turkish market. The study aims to develop a liquid Lazy portfolio that outperforms residential property investments, holding significance for both academic research and practical applications by investors. Through analysis spanning from January



2010 to June 2023, focusing on high-liquidity assets, the research employs methodology including data pre-processing, logarithmic transformations, and cumulative time series creation. Portfolio optimization, centred on maximizing the Sharpe ratio, results in three test portfolios. The findings indicate that all portfolios consistently outperform the benchmark Residential Property Price Index, exhibiting higher returns and Sharpe ratios, albeit with increased volatility. These outcomes have relevance for academic researchers expanding their understanding of investment strategies and investors seeking practical portfolio management applications.

Potential directions for future research can explore comprehensive cost analysis, assessing the impact of transaction costs, taxes, and fees on investment strategies. Researchers should consider utilizing different benchmark indexes aligned with specific investor requirements, allowing for customized portfolio construction and tailoring to meet individual preferences and objectives.

This research paper underscores the potential advantages of constructing liquid, scalable, and high-return Lazy portfolios as a viable alternative to traditional residential property investments in the Turkish market.

#### **Statement of Conflict of Interest**

Author has declared no conflict of interest.

#### **Author's Contributions**

The contribution of the authors is 100%.

#### **References:**

- Akyol Özcan K. A study on the determinants of the housing price index: Asymmetric co-integration analysis. *EKEV Akademi Dergisi* 2023; 93: 283–307.
- Amadini, R., Gabrielli M., Mauro J. Sunny: A lazy portfolio approach for constraint solving. *Theory and Practice of Logic Programming* 2014; 14(4–5): 509–524.
- Engelhardt GV., Eriksen MD., Gale WG. Mills GB. What are the social benefits of homeownership? Experimental evidence for low-income households. *Journal of Urban Economics* 2010; 67(3): 249–258.
- Gebeşoğlu PF. Housing price index dynamics in Turkey. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi* 2019; 14: 100-107.
- Hatipoğlu M. Neden konut fiyatları ile enflasyon arasında nedensellik ilişkisi yoktur. *Sakarya İktisat Dergisi* 2021; 10(2): 159-166.
- Knight J., Satchell S. A re-examination of sharpe's ratio for log-normal prices. *Applied Mathematical Finance* 2005; 12(1): 87–100.
- Korkmaz M., Germir HN., Aytaç A. Analysis on home purchase and sales in Turkey: TSI Statistics of 2013-2016. *International Refereed Journal of Research on Economics Management* 2016; 10: 1–17.

- Şanlı O., Peker O. Effect of inflation, exchange rate, interest rates and income on house sales: A case of Turkiye. *Journal of Economic Policy Researches* 2023; 10(1): 37–60.
- Yılmaz Y. Causality relationship between stock prices, exchange rate and house price index. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi* 2022; 13(1): 167–185.
- Wolski R. Risk and return in the real estate, Bond and stock markets. *Real Estate Management and Valuation* 2017; 25(3): 15–22.
- Wong WW., Mintah K., Baako K., Wong PY. Capitalisation rates for commercial real estate investments: Evidence from Australia. *Journal of Property Investment & Finance* 2023; 41(2): 239–255.

## Süt İneklerinde Beslemenin Fertilite ile İlişkisi

Kader YOLCU<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Eleşkirt Celal Oruç Hayvansal Üretim Yüksekokulu, Ağrı

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-5495-7500>

\*Sorumlu yazar: [kyilmaz@agri.edu.tr](mailto:kyilmaz@agri.edu.tr)

### Derleme

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 03.04.2023

Kabul tarihi: 20.07.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Besleme

Fertilite

Enerji

Protein

Vitamin

### ÖZ

Sığırlarda üreme performansı; genetik, besleme, sağlık, yönetim ve ısı kontrolü, boğa etkinliği ve suni tohumlama ile ilgili uygulamaların rol oynadığı çok faktörlü bir değişkendir. Fertilite üzerindeki en etkili faktör besleme faktörüdür. Enerji, yağ, protein, vitamin ve makro - mikro besin elementlerinin hem ayrı ayrı hem de sinerjik olarak oluşturdukları etkiler reproduktif fonksiyonlarla doğrudan ilişkilidir. Reproduktif fonksiyonlar, beslemenin gonadotropin sekresyon dengesi, ovaryum aktivitesi ve uterus üzerindeki doğrudan ve keskin etkileriyle modüle edilmektedir. İyi bir sürü ve besleme idaresi ile istenilen maksimum üretim kapasitesine ulaşılabilen ve işletme karlılığı olumlu yönde etkilenebilmektedir. Bu durum ise ancak çok yönlü (enerji, protein, yağ, vitamin ve mineral) ve dengede bir besleme programının hazırlanması ve uygulanmasıyla mümkün olabilmektedir. Büyük oranda vücut ağırlık kaybıyla sonuçlanan genel besleme yetersizliği, pubertası geciktirerek, ovaryum aktivitelerini ve üreme döngüsünü bozarak infertiliteye neden olmaktadır. Öte yandan, aşırı beslemeye bağlı şekillenen yağlanma sonucunda da, folikülogenezis bozulmakta, oosit kalitesi düşmekte ve embriyonik yetmezlik ortaya çıkarak üreme olumsuz yönde etkilenebilmektedir. Bu çalışmada; enerji, protein, vitamin ve mineraller gibi besleme unsurlarının fertilite ile ilişkileri derlenmiştir.

## The Relationship Between Nutrition and Fertility in Dairy Cows

### Review Article

#### Article History:

Received: 03.04.2023

Accepted: 20.07.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Nutrition

Fertility

Energy

Protein

Vitamin

### ABSTRACT

Reproductive performance in cattle; It is a multifactorial variable in which genetics, nutrition, health, management and temperature control, bull efficiency and practices related to artificial insemination play a role. The most influential factor on fertility is the feeding factor. The effects of energy, fat, protein, vitamins and macro-micronutrient elements, both separately and synergistically, are directly related to reproductive functions. Reproductive functions are modulated by direct and acute effects of feeding on gonadotropin secretion balance, ovarian activity, and uterus. With a good herd and feeding management, the desired maximum production capacity can be reached and the profitability of the business can be positively affected. This is only possible with the preparation and implementation of a versatile (energy, protein, fat, vitamin and mineral) and balanced nutrition program. General malnutrition, which results in large body weight loss, delays puberty, disrupts ovarian activities and reproductive cycle, causing infertility. On the other hand, as a result of lubrication due to overfeeding, folliculogenesis deteriorates, oocyte quality decreases, and embryonic failure may occur and reproduction may be adversely affected. In this study; The relationship of nutritional elements such as energy, protein, vitamins and minerals with fertility was compiled.

**To Cite:** Yolcu K. Süt İneklerinde Beslemenin Fertilite ile İlişkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 378-398.

## 1. Giriş

Süt sığırcılığı işletmelerinde sürüden ayıklama sonucu ekonomik kayıpların boyutu oldukça ciddidir. İşletmelerde yıllık sürüden ayıklama oranı %23-36 arasında değişmekte olup, ayıklamanın en yaygın nedenleri arasında fertilitate problemleri, düşük süt verimi, meme problemleri ve topallık yer almaktadır. Fertilitate problemleri %40'a varan bir oranla en sık karşılaşılan ayıklama nedeni arasında yer almaktadır. Sürüden ayırma oranlarındaki artış, kötü refah durumunun bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Compton ve ark., 2017; Dahl-Pedersen ve ark., 2018; De Vries ve Marcondes, 2020; Grzesiak ve ark., 2022). Bu problemlerin gelişiminde ise beslemenin rolü oldukça büyüktür (Bisinotto ve ark., 2018; Langova ve ark., 2020).

Büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için, ulaşılmak istenen temel hedef, pubertasa erişmiş her bir dişi hayvandan, her yıl senkronize bir şekilde bir adet buzağı elde etmektir (Schillo ve ark., 1992; Do C ve ark., 2013; Heryani ve ark., 2019). Bu hedefe ulaşabilmek için düvenin yeterli yaş ve canlı ağırlıkta pubertasa ulaşması gerekmektedir. Düveler ortalama 9 ila 11 aylık yaşta ve 250 ila 280 kg canlı ağırlıkta pubertasa ulaşmaktadır. Düvelerde istenen 24 aylık buzağılama yaşının 16 aya düşürülebilmesi için ortalama 8-9 aylık yaşta pubertasa ulaşması ve günlük canlı ağırlık artışının 450 gramdan 850 grama çıkarılması gerekmektedir. Pubertas başlangıç mekanizması besleme durumu ve endokrin sistemin etkileşimi ile gerçekleştiğinden dolayı buradaki canlı ağırlık artışının sağlanabilmesi için ise yeni bir besleme programının oluşturulup uygulanması gerekmektedir (Schillo ve ark., 1992; Serjsen ve Purup, 1997; Cardoso ve ark., 2020).

Buzağı ve düvelerin besleme yönetimi, işletmelerde ihmal edilen konulardan biridir. Buzağuların başta sütten kesim, kaba yeme geçiş dönemi ve sonrasındaki besleme şekli, bunun yanında annenin kuru dönem beslemesi oldukça önemlidir. Beslemede meydana gelen değişimler hipotalamustan GnRH sentezini oldukça fazla etkilemektedir. Besleme, metabolik ve üreme hormonlarındaki değişikliklerin yanında ovaryumlardaki foliküler gelişimi de doğrudan etkilemektedir. Uygulanan besleme şekli, verim durumu ve hayvanın vücut kondisyon skoruna bakılarak ayarlanmalıdır (Cushman ve ark., 2009; Verma ve ark., 2019; Bhatta ve Kaphle, 2020). Yeni doğan buzağılarda ise vücut ağırlığı artışı kolostrum ve sütle besleme, sütten kesilme yaşı ve buzağuların besleme yönetimi ile ilişkilidir. Düşük kaliteli kolostrum ve sütle besleme, yetersiz besleme ile erken sütten kesmenin vücut ağırlığı artışında azalmaya yol açmaktadır (Lorenz ve ark., 2011). Yetersiz besleme sonucu, pubertasa girme yaşı, servis periyodu, buzağılama aralığı uzamakta ve fertilitate problemleri ortaya çıkmaktadır. Yoğun besleme programına tabi tutulan sığırlarda kilo artışı ve yağlanma şekillenmekte ve yine aynı şekilde fertilitate problemleri ile karşılaşılmaktadır. Gebe olan sığırlarda son trimesterdeki besleme durumu, doğan dişi buzağının üreme kabiliyetini etkilemekte ve ilk üreme sezonunda da gebe kalabilme olasılığını arttırmaktadır (Çolakoğlu ve Küplülü, 2016; Bach, 2019; Cardoso ve ark., 2020; Klein ve ark., 2021). Özellikle gebeliğin son üç haftası ve doğum sonrası ilk 3 haftayı kapsayan geçiş döneminde artan besin ihtiyacının karşılanamaması sonucu, maternal vücut rezervlerinin kullanılmasıyla bir sonraki üreme performansını olumsuz yönde etkileyen çeşitli metabolik

bozukluklar ortaya çıkabilmektedir (Roche ve ark., 2018; Cardoso ve ark., 2020). Bu sebeplerden dolayı hayvanlar fizyolojik dönemlerine göre gruplandırılarak, her gruba ait hayvanların ihtiyacını karşılayacak dengeli bir besleme programı oluşturulup, uygulanması gerekmektedir.

## 2. Enerji ve Üreme İlişkisi

### 2.1. Vücut kondisyon skoru (VKS) ve fertilité arasındaki ilişki

Sığırlarda üreme organlarının gelişimi; fetal dönemde başlamakta, prepubertal dönemde devam etmekte ve yaşamın erken dönemlerinde besleme düzeyi ve canlı ağırlık artışından oldukça fazla etkilenmektedir. Fertilité ve sağlık açısından önemli olan enerji dengesi birçok yöntemle belirlenebileceği gibi, vücut kondisyon skoruyla da takip edilebilmektedir. Bir işletmede VKS takibi, süt verim potansiyelinin artırılması, reproduktif problemlerin en aza indirgenmesi, bakım ve beslemedeki aksaklıkların kontrolü ve negatif enerji dengesinin belirlenmesi bakımından büyük öneme sahiptir (Domecq ve ark., 1997; Çolakoğlu ve Küplülü, 2016; Singh ve ark., 2020). Sığırların bulunduğu fizyolojik dönemlere göre vücut kondisyon skoru değişiklik gösterebilmektedir (Tablo 1).

**Tablo 1.** İneklerde fizyolojik dönemlere göre önerilen vücut kondisyon skorları (Jones ve Heinrichs, 2003).

VÜCUT KONDİSYON SKORU				
Dönem	Gün	Hedef	En az	En fazla
Doğum	0	3,50	3,25	3,75
Erken laktasyon	1-30	3,0	2,75	3,25
Pik süt verimi	31-100	2,75	2,50	3,0
Orta laktasyon	101-200	3,0	2,75	3,25
Geç laktasyon	201-300	3,25	3,0	3,75
Kuru dönem	>300	3,5	3,25	3,75

İşletmelerde süt verimine fazla önem verilmesinden dolayı sığır yetiştiriciliğinde buzağı ve düveler göz ardı edilmektedir (Bhatti ve ark., 2009; Ateş ve Arık, 2021). Oysaki ineklerin doğumdan sonraki et, süt ve döl verim potansiyeli, ineğin buzağılık ve düvelik dönemine uzanıp, bakım-beslemesi ve büyüme başarısı ile yakından ilişkilidir. İnek ve düvelerde hayvanların kendi yaşamı için ve üretim sırasında kaybettiği enerjinin tam olarak karşılanamaması sonucu vücutta yağların mobilizasyonu gerçekleşir. Bunun sonucunda kilo kaybı ve VKS `de düşüş şekillenebilir (Spitzer, 1995; Michael ve ark., 2019). Bir birimlik VKS düşüşü ortalama 80 kg`lık bir ağırlık kaybına eşdeğerdir (Serbest ve ark., 2012).

İneklerde doğum sırasındaki VKS, doğum sonrası yeniden gebe kalma süresini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Buzağılamayı takiben, lipolizisin uyarılması VKS`de kayba neden olur. Postpartum erken dönemde karaciğerde büyüme hormonu (GH) reseptörleri azalmakta, bu durum ise artan GH konsantrasyonlarına rağmen IGF-I konsantrasyonlarının düşmesine neden olmaktadır. Hayvanların gebelik dönemi boyunca yüksek enerjili bir rasyonla beslenmesinin, doğum sonrası VKS kaybının artmasına, gebe kalma süresinin uzamasına neden olmaktadır (Roche, 2006; Michael ve ark., 2019). Buna ek olarak, NEFA (Karaciğere gelen esterleşmemiş yağ asitleri) konsantrasyonlarının artmasıyla süt veriminde de azalmalar gözlemlenmiştir. Doğum sonrası ketozis, NEFA veya VKS kaybı ile fertilité arasındaki negatif ilişki olduğu bildirilmiştir (Lucy, 2003; Carvalho ve ark., 2014). Geçiş döneminde kanlarında yüksek miktarda NEFA ve beta hidroksi bütirik asit (BHBA) tespit edilen ve VKS`de aşırı düşüş izlenen ineklerde doğum sonrası ilk ovulasyonun gecikmesi ve infertilite gibi durumlarla karşılaşmıştır (Barletta ark., 2017; Nazhat ve ark., 2021).

Vücut enerji rezervleri yetersiz olan ineklerde; hastalıklar, metabolik bozukluklar, üreme yetersizlikleri ve süt veriminin azalması, düvelerde pubertasa girme yaşının uzaması gibi problemlerle çok karşılaşılır (Roche, 2006). Aşırı yağ rezervine sahip olan ineklerde ise, süt veriminde azalma, güç doğum ve yağlı karaciğer sendromu gibi birçok sağlık ve üreme problemleri ile karşılaşma oranı oldukça yüksektir. Aşırı VKS`ye sahip süt ineklerinde oosit gelişimi, embriyo kalitesi, gebe kalma oranı, meme bezi gelişimi ve süt verimi olumsuz yönde etkilenebilmektedir. Vücut kondisyon skorunun, yüksek süt veren ineklerde laktasyon, sağlık ve fertilité üzerindeki etkileri vurgulanmış ve VKS kaybı sonucu buzağılama oranlarında yaklaşık %10'a varan düşüşler meydana geldiği bildirilmiştir (Montiel ve Ahuja, 2005; Ayaşan ve ark., 2012a; Ayaşan ve ark., 2012b).

## **2.2. Negatif enerji dengesi ve fertilité arasındaki ilişki**

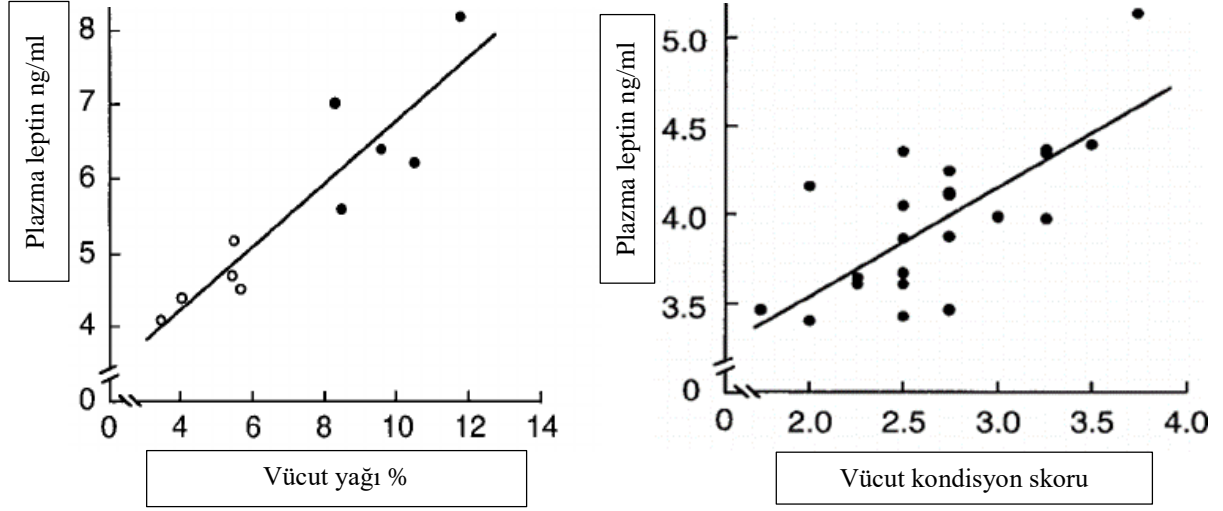
Enerji dengesi; alınan enerji ile yaşama, gebelik ve laktasyon dönemindeki harcanan enerji arasındaki farktır. Süt ineklerinde negatif enerji dengesi (NED) ise besinle alınan enerjinin, hayvanın fizyolojik dönem ihtiyaçlarını karşılayamaması sonucu biyokimyasal olarak  $\beta$ -hidroksi butirat (BHB), esterleşmemiş yağ asitleri (NEFA) gibi kan biyokimyasal parametrelerinde yükselmeler ve glikoz konsantrasyonlarında azalma olarak ifade edilmektedir (Suthar ve ark., 2013). NEFA, NED için belirleyici bir indikatördür. Yüksek üretim potansiyeli, doğum öncesi olayların ekstra stres yükü ve buna bağlı endokrin ve metabolik değişiklikler nedeniyle doğum sonrası ineklerde negatif enerji dengesi meydana gelebilmektedir. Doğumdan 2-14 gün önce NEFA konsantrasyonunun  $\geq 0.4$  mmol/L olması NED'in şekillendiğini göstermektedir (Duffield, 2006; Sammad ve ark., 2022). Sığırların üreme performansı ile özellikle gebe kalma olasılığının, postpartum erken dönemde negatif enerji dengesinin büyüklüğü ve ciddiyetinin negatif ilişkili olduğu düşünülmektedir (Nebel ve McGilliard, 1993). Negatif enerji dengesi süt ineklerinde, metabolik hastalıkların (yağlı karaciğer sendromu, ketozis) insidansında artışa, immun sistemin baskılanmasına, süt verimi ve üreme performansında düşüşe neden olmaktadır (Zhang ve ark., 2020). Süt sığırlarında bireysel ve sürü bazında negatif enerji

dengesi ile ilişkili risk faktörlerinin araştırıldığı bir çalışmada; negatif enerji dengesi, bir dizi risk faktörü ile ilişkilendirilmiş olup, bireysel risk faktörlerinin; hayvanın yaşı, süt verimi, VKS olduğu sonucuna varılmıştır. Sürü düzeyinde ise, sürü büyüklüğü, mevsim, sürü süt verimi, kurudaki inek yönetimi ve besleme yönetimi gibi faktörler, klinik veya subklinik ketozis ile ilişkilendirilmiştir (Macrae ve ark., 2019). Yüksek verimli süt ineklerinin çoğunun, laktasyonun erken dönemlerinde NED yaşadığı, NED ile birlikte bağışıklığın düştüğü ve reproduktif aktivitenin baskılandığı bildirilmiştir (Butler, 1997; Xu ve ark., 2020). Negatif enerji dengesinin olduğu sığırlarda; doğum sonrası uterus involüsyonu gecikmekte, tekrar gebe kalma süresi uzamakta, gebelik başına düşen tohumlama sayısı artmakta, oosit kalitesi azalmakta ve bunlara bağlı olarak infertilite şekillenebilmektedir (Spicer ve ark., 1990; Yoshida ve ark., 2007).

Besleme sistemik metabolizmayı oluşturan temel taşlardan biridir. Leptin, insülin benzeri büyüme faktörü-1 (IGF-1), ghrelin ve insülin gibi metabolik hormonlar, hipotalamusta gonodotropin salgılayıcı hormon (GnRH) nöronlarının aktivitesini düzenleyen sinyal faktörleri olarak işlev görmektedirler. İnsülin, vücuttaki enerji metabolizmasının düzenlenmesinde önemli rol oynayan anahtar bir metabolik hormondur. İnsülin benzeri büyüme faktörü-I, ovaryum fonksiyonlarının potansiyel hormonal araçlarından biridir. Sığır granüloza ve luteal hücre steroidogenezinin güçlü bir uyarıcısıdır (Spicer ve ark., 1990; Yoshida ve ark., 2007). Yüksek verimli süt ineklerinde, postpartum dönemde kan insülin konsantrasyonundaki azalma ve NED'in karaciğer dokusunda büyüme hormonu reseptör (GHR) ekspresyonunu azaltmakta, bu durum ise karaciğerde büyüme hormonu (GH) aktivasyonunun ve IGF-I sentezinin azalması ile sonuçlanmaktadır (Salas-Razo ve ark., 2011).

Leptin ve ghrelin gibi metabolik hormonların da fertilité ve enerji durumunu ilgilendiren sinyaller olabileceği öne sürülmüştür. Açlık hormonu olarak da bilinen, bağırsaklardan salınan ghrelin hormonu, üreme fonksiyonları, enerji dengesi ve besin alımının nöroendokrin düzenleyicilerinden biridir. Ghrelin reseptörleri hipotalamusta bulunmaktadır. Sığırlarda ghrelin, plazma konsantrasyonları açlık veya NED sırasında artmaktadır (Bradford ve Allen, 2008; Sirini ve ark., 2019). Leptin ve IGF1, GnRH sekresyonunu uyarırken, Ghrelin'in GnRH sekresyonunu baskıladığı bildirilmektedir (DiVall ve ark., 2010). Leptin hormonu, spesifik hipotalamik reseptörler yoluyla hipotalamo-hipofiz-gonadal eksenini etkileyebilmekte, hipotalamustaki kisspeptin (KISS1) nöronları üzerinde bulunan GPR54 reseptörü yoluyla etki etmektedir. Kisspeptinler GnRH nöronlarına bağlanmakta ve GnRH salınımını uyarmaktadır (Bhowmik ve ark., 2019; Michael ve ark., 2019). Leptin belirli bir eşik değere ulaştıktan sonra GnRH nöronlarının pubertal olgunlaşması için yeterli kisspeptin salınımını uyarmaktadır. Leptin, enerji metabolizması ve reproduksiyon arasında mediyatör görevindedir. Leptin, gonadotropin hormon sekresyonununun doğrudan veya dolaylı yolla etkileyebilmektedir. Yapılan bir çalışmada leptinin, ön hipofiz bezindeki gonadotrop hücrelerdeki GnRH reseptörlerini düzenlediği bildirilmiştir (Ode, 2018). Plazma leptin yoğunluğu, VKS ve vücut yağı ile yüksek enerjili yemle besleme arasında doğrudan bir ilişki olduğu bilinmektedir (Ehrhardt ve ark., 2000; Yadav ve ark., 2021). Prepubertal düveler büyüdükçe ve vücutlarındaki yağ oranı arttıkça kandaki leptin konsantrasyonları da

artmaktadır (Şekil 1). Prepubertal-pubertal geçiş sırasında denge leptin hakimiyetine geçmekte ve bu da GnRH sekresyonunun artmasına ve üreme endokrin sisteminin aktivasyonuna yol açmaktadır (Garcia ve ark., 2002; Perry, 2016). Yem kısıtlamasına gidilen işletmelerdeki düvelerde leptin konsantrasyonunun düşük seyretmekte ve pubertasa geç eriştikleri bildirilmektedir (Chelikani, 2009; Wylie, 2010). Ayrıca leptinin; insülin, IGF-I, tiroid hormonlarını ve glukoz düzeyini pozitif yönde, büyüme hormonu ve serbest yağ asitlerini negatif yönde etkilediği bildirilmiştir (Kaçar ve Arı, 2007).



Şekil 1. Vücut yağ, vücut kondisyon skoru ve leptin ilişkisi (Ehrhardt ve ark., 2000).

Doğum öncesi ve doğum sonrası besleme durumu, sonraki üreme performansını etkilemektedir. Bu nedenle, gebelik döneminde veya erken laktasyon döneminde yetersiz protein ve enerji alımı, buzağılama ve VKS'de düşüşe, ineklerde NED ve buzağılama sürelerinin uzamasına neden olmaktadır (Montiel ve Ahuja, 2005). Doğumdan 21 gün önceki ortalama kuru madde alımı, inek ve düveler için sırasıyla; vücut ağırlığının %1,88 ve %1,69'u kadar olmalıdır. Bu dönemde düvelerin kuru madde ihtiyacı ineklere göre daha azdır. Düvelerde bu oranın, gebeliğin son gününde vücut ağırlığının %1,3 ve %1,54'üne kadar düşürülmesi gerekmektedir. Kuru dönemde rasyondaki protein ve enerji yoğunluğunun artırılması, kuru madde alımını arttırmakta ve plazma NEFA konsantrasyonlarını azaltmaktadır (Grummer ve ark., 2004).

### 2.3. Yağların üreme ile ilişkisi

İneklerde enerji dengesinin sağlanması için rasyona yağ ilavesinin yapılması gerekmektedir. Rasyonlara yapılan yağ ilavesinin metabolik hastalık insidansını azaltma, hızla fermente olabilen karbonhidratların kullanımını arttırmadan diyetlerde enerji yoğunluğunun korunmasını sağlama ve üreme performansını iyileştirmeye yardımcı olmak gibi çeşitli etkileri bulunmaktadır. Yağ asitleri, östrojen, progesteron ve prostaglandinler (PGF2 $\alpha$ ) gibi üreme hormonlarının ön maddelerini oluşturduğundan üreme ile yakından ilişkilidir (Mattos ve ark., 2000; Castro ve ark., 2019; Nirwan ve ark., 2019). Tohumlama sonrası düve ve ineklerde implantasyon ve maternal kabul sürecinde



progesteron hormonu oldukça büyük öneme sahiptir. Bu süreçte rasyona yağ ilavesiyle enerji ihtiyacı karşılanabildiği gibi kullanılan çoklu doymamış yağ asitlerinin cinsine göre (linolenik asit) progesteron sentezi desteklenmekte, PGF2 $\alpha$  sentezi baskılanmakta ve bu sayede embriyonik ölümlerin önüne geçilebilmektedir (Hayırlı ve ark., 2017). Rasyona yapılan destekleyici yağ takviyesiyle foliküler sıvıdaki yüksek kolesterol konsantrasyonlarının indüksiyon yoluyla ovulasyon öncesi folikülün boyutunu ve östradiol üretimini arttırmaktadır (Butler ve Beam, 1997). Yağ takviyesine bağlı gelişen hiperkolesterolemi de PGF2 $\alpha$  sentezini azaltmakta ve progesteron sekresyonunu arttırmaktadır. Böylece erken embriyonik dönemde gebelik desteklenmektedir (McNamara, 2003).

Vücut tarafından sentezlenemeyen ve yemlerle alınması gereken linoleik ve linolenik gibi esansiyel yağ asitlerinin, fertilité üzerinde oldukça büyük etkileri bulunmaktadır (Cheng ve ark., 2001; Castro ve ark., 2019). Omega-6 yağ asitlerinden olan, linoleik ve araşidonik asit oranı yüksek olan rasyonlar, PGF2 $\alpha$  sentezini arttırırken, linolenik asit (omega-3) oranı yüksek olan rasyonlarda progesteron sentezini arttırmaktadır. Bu yağ asitleri östrojen, progesteron ve prostaglandin gibi hormonların sentezine etki ederek, folliküler gelişim, ovulasyon, embriyo implantasyonu, gebeliğin maternal kabulü, gebeliğin oluşması, devamlılığı ve doğum üzerine oldukça büyük etkileri bulunmaktadır. Kan progesteron ve prostaglandin konsantrasyonları arasında ters bir ilişki bulunmaktadır. Sığırlarda gebelik dönemi boyunca progesteron konsantrasyonu artarken prostaglandin konsantrasyonu azalmaktadır. Bu sebepten dolayı rasyona ilave edilecek yağ kaynaklarının yağ asidi cinsi iyi bilinmelidir (Kocaoğlu ve Kara, 2010). Rasyonla alınan en yaygın omega-3 esansiyel yağ asidi olan linolenik asit vücutta çok aktif olmayıp, aktif olabilmesi için ekosapantanoik asit (EPA) ya da dekosaheksanoik asit (DHA)'ya dönüştürülmesi gerekmektedir (Robinson ve ark., 2002). Linolenik asit gibi omega-3 çoklu doymamış yağ asitlerinden olan EPA ve DHA içeren balık unu ile beslenen, laktasyon döneminde olan ve fertilité oranı düşük süt sığırlarının, gebe kalma oranlarında %31,9'dan %41,3'e yükselme olduğu bildirilmiştir (Burke ve ark., 1997).

Rasyona ilave edilen esansiyel yağ asitleri, hipotalamus-hipofiz- ovaryum ve uterus üzerinde oldukça büyük etkiye sahiptir. Genel olarak bu etkiler toparlanacak olursa; siklik aktivitelerin erken başlaması, kullanılan yağ asidi cinsine göre progesteron ve prostaglandin sentezi, foliküler gelişim, oosit, embriyo kalitesi ve canlılığı üzerinde olumlu etkileri olduğu söylenebilmektedir (Şenünver ve Nak, 2015).

### **3. Proteinlerin Üreme ile İlişkisi**

Proteinler uzun zamandır tüm hayvanlar için önemli bir besin bileşeni olarak kabul edilmektedir. Diğer besinlerden farklı olarak yapılarında karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O)'e ek olarak azot (N) da bulundurulur. Bundan dolayı besleme fizyolojisi yönünden proteinler azotlu bileşikler olarak da adlandırılırlar. Rumende parçalanan proteinler rumen mikroorganizmaları tarafından sırasıyla; amonyak, üre, peptit, polipeptit, amino asitlere dönüşür. Amino asitler ruminantların hayatta kalması, büyümesi ve gelişmesi için oldukça önemli yapı taşlarıdır (Uyarlar, 2019; Bergen, 2021; Gilbreath ve

ark., 2021). Bu rumen mikroorganizmaları amonyağı kullanarak çoğalmaktadır. Rumende yapısal olmayan nişasta ve şeker gibi karbonhidrat yapılarını fermente eden mikroorganizmalar, nitrojen kaynağı olarak oluşan mikrobiyal proteinlerden yararlanırlar. Yapısal olan selüloz, hemiselüloz gibi karbonhidratları fermente eden mikroorganizmalar, metabolizmaları için nitrojen kaynağı olarak sadece amonyağa ihtiyaç duymaktadırlar. Ortalama 100 gr'lık organik maddenin rumende fermantasyonu sonucu 20 gr mikrobiyal protein sentezlenmektedir (Öğüt ve Çetinkaya, 2020; Çavdar ve Kanber, 2022)

Sığırlarda özellikle erken üreme döneminde, üreme performansını iyileştirmek için rasyondaki ham protein (HP) düzeyi ve rumende parçalanabilir proteinin (RDP) yeterliliği oldukça önemlidir. Diyetteki ham protein (HP) hem süt veriminde hem de fertilitite için hayati bir role sahiptir. Protein eksikliği sığırlarda östrus siklusunda düzensizliğe neden olup, ayrıca IGF1, estradiol 17 $\beta$  ve progesteron gibi üreme hormonlarını da etkileyerek ovaryum fonksiyonları üzerinde olumsuzluklara neden olabilmektedir (Hayati ve ark., 2021; Shirmohammadi ve ark., 2021). Rumende mikrobiyal büyüme için amonyağa ihtiyaç duyulmasına ek olarak amonyağın etkili lif sindirimi için de gereklidir. Kan üre nitrojeni (BUN) veya süt üre nitrojeni (MUN) değerlerinde artışa neden olan en önemli faktör ruminal amonyak kaynağı olan RDP'dir. Bu fazla üre süt sığırlarında postpartum dönemde fertilititeyi olumsuz etkileyebilmektedir (Çavdar ve Kanber, 2022). Yemdeki yüksek düzeydeki HP düzeyi (buna paralel olarak RDP düzeyi de artmakta) BUN ve MUN miktarında artışa ve hiperammonemi şekillenmesine neden olmaktadır. Hiperammoneminin şekillenmesine bağlı olarak,

- Uterus pH'sı düşerek, embriyo üzerinde toksik etkiye neden olmaktadır
- Düşen uterus pH'sı osit ve spermatozoon canlılığını olumsuz etkilemektedir.
- Negatif enerji dengesinin şiddeti artmaktadır.
- Progesteron seviyesi azalmakta, bu durum ise luteal fazı geciktirmekte ve luteal dönemi kısaltmaktadır.
- PGF2 $\alpha$  sentezi artmaktadır.
- Gebelik başına tohumlama sayısı ve boş gün sayısı artmaktadır (Sonderman ve ark., 1989; Rhoads ve ark., 2006).

Fertilitenin olumsuz etkilenmemesi için, süt verimine göre, rasyon içerisinde bulunan HP'inin RDP/RUP oranının 65/35 olması ve rasyondaki kaba yem miktarının azaltılıp tahıl tane yemlerinin arttırılması gerekmektedir (Savari ve ark., 2018; Hayırlı, 2019). Süt üre azot konsantrasyonu >19 mg/dl ve kan üre konsantrasyonu >20 mg/dl'yi aşan hayvanlarda doğum oranlarının %20-30 düştüğü bildirilmiştir (Göktepe ve Selçuk, 2015). Sığırlarda kan üre nitrojen düzeyinin 10 mg/dl'nin altındaki değerleri protein yetersizliğinin göstergesi olup, süt üre nitrojen düzeyinin 11 mg/dl'den küçük veya 19 mg/dl'den büyük olan ineklerde gebe kalma olasılığı düşmektedir. Yapılan bir çalışmada %17-21 HP içeren rasyonla beslenen ineklerde gebelik oranının %37 olduğu, %13-16 HP içeren rasyonla beslenen ineklerde gebelik oranının %56 olduğu belirtilmiştir (Melendez ve ark., 2003b). Farklı ham

protein HP düzeylerine sahip (G1:%20, G2:%18,4 ve G3:%17,5) rasyonlarla beslenen ineklerde yapılan bir çalışmada G1'e göre G2 ve G3'de gebe kalma oranlarında oldukça anlamlı bir artışın ( $P<0.01$ ) olduğu, ayrıca G1'e kıyasla G3'de tohumlamadan 12 gün sonra serum progesteron seviyesinde önemli bir artışın olduğu belirtilmiştir (Fadel ve ark., 2017). Yüksek BUN ve MUN miktarı ile gebe kalma oranı arasında ters bir orantı bulunmaktadır. Ortalama ideal MUN değerinin 11,5 ila 14,0 mg/dL arasında olması istenmektedir. Yetersiz protein alımı ise östrus belirtilerinin ortadan kalkmasına, gebelik oranının düşmesine neden olmaktadır (Melendez ve ark., 2003a). Rasyonda aşırı miktarda rumende parçalanabilen protein (RDP) bulunması, foliküler gelişimi olumsuz etkilemekte, luteal aktivitenin geç şekillenmesi ve plazma progesteron miktarının düşük olmasına neden olmaktadır. Tüm bu problemlerle karşılaşılmasını için rasyondaki proteinin dengeli olmasına dikkat edilmelidir (Şenünver ve Nak, 2015). Süt ineklerinin farklı fizyolojik dönemlerdeki ham protein gereksinimleri tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Sığırlarda laktasyonun farklı dönemlerinde ham protein gereksinimi (Williams, 2019).

Dönem	Gerekli protein (%)
Erken laktasyon	16-18
Orta laktasyon	14-16
Geç laktasyon	12-14
Kuru dönem	10-12

#### 4. Mineral ve Vitaminlerin Üreme ile İlişkisi

Süt ineklerinde sağlığı korumak ve üretkenliği en üst seviyeye çıkarmak açısından mineraller oldukça kritik bir öneme sahiptir (Formigoni ve ark., 2011). Sığırlarda gebelik, laktasyon ve büyüme-gelişme gibi durumlarda canlı ağırlığın artmasına bağlı olarak mineral madde gereksinimi de artmaktadır. Mineral madde eksiklikleri döl veriminde azalmalara neden olmakla birlikte bu eksikliğin kapatılmasıyla bu problemlerin önüne geçilebilir. Kalsiyum (Ca), fosfor (P), bakır (Cu), çinko (Zn), iyot (I), manganez (Mn), kobalt (Co) Selenyum (Se) ve demir (Fe) gibi mineral yetersizlikleri üreymeyle ilgili bozukluklara ve immun yanıtın oluşumunda problemlere yol açabilir (Maas, 1987). P yetersizliği olan sığırlarda, döl veriminde düşme, düzensiz östrus, doğum sonrası anöstrusun uzaması ve döl tutmama gibi problemlerin meydana geldiği bildirilmiştir (Bindari ve ark., 2013). Ca/P oranındaki değişikliklerin hipofiz üzerindeki baskılayıcı etkisi ovaryum aktivitelerini etkilemekte ve akabinde doğan yavru sayısında azalma, embriyonik ölümlerde artma, gebelik başına düşen tohumlama sayısında artma, ayrıca doğum anında bu elementlerdeki yetersizliklere bağlı güç doğum oranlarında artma meydana gelebilmektedir. Bu problemlerin önüne geçilmesi için laktasyondaki ineklerde Ca/P oranının ortalama 1,5/1 ile 2,5/1 olması istenmektedir (Yasohtai, 2014). Kalsiyum kas kasılmalarını sağlamakta olup, Ca eksikliği sonucu rumen kontraktilesinde azalma meydana gelebilmektedir. Rumen kontraktilesinin düşmesi ise kuru madde alımında azalma ve NED, ketozis ve yağlı karaciğer hastalığı gibi metabolik hastalıklar ve uterus involüsyonunda gecikmeler gibi

sorunlarla sonuçlanmaktadır. Bunun yanı sıra Ca eksikliği sonucu insülin salınımının da baskılandığı bildirilmektedir (Boland, 2001). Prepartum dönemde yoğun Ca alımının; Ca emilimini baskıladığı, rasyondaki Ca oranının azaltılmasıyla Ca rezervlerinin aktif olduğu bildirilmekte, laktasyonun başlaması ve süt veriminin artmasıyla artan Ca ihtiyacına karşılık doğum sonrası rasyondaki Ca oranı artırılması gerekmektedir (Ergün ve ark., 2001). Cu, kofaktör olarak çeşitli enzimlerin ve seruloplazmin reaktif proteinlerin aktivitesinde rol oynamaktadır. Cu seviyelerinin fizyolojik ihtiyaçların altına düşmesiyle; fertilizasyon oranında düşme, erken embriyonik ölüm, retensiyo sekundinarum gibi fertilitate bozuklukları ile karşılaşmaktadır. Buna karşın bakır oranı fazla rasyonlarla beslenilmesi de döl veriminde azalmalara sebep olmaktadır. Yüksek konsantre yemlerle beslenen düvelerde, rasyondaki Cu miktarı, 3-10 mg/kg iken, düveler otlatılıyorsa bu miktarın 7-14 mg/kg'a çıkarılması gerekmektedir (Kırchhoff, 2012). Rasyonlardaki Zn: Cu 4:1, Cu: Mo 6:1 ve Fe: Cu 40:1 mineral kombinasyon oranları, kandaki normal bakır seviyesinin korunmasında yardımcı olmaktadır (Ahuja ve Parmar, 2017). Manganez (Mn) ise kolesterol sentezinde görev alarak steroid hormonların üretim ve salınımında büyük rol oynar. Mn eksikliğinde östrus siklusunda düzensizlik, suböstrus, ovaryan kistlerde artış ve döl veriminde düşüşler meydana gelmektedir. Düvelerde üreme başarısı için, rasyondaki Mn miktarının, ortalama 40 mg/kg olması gerekmektedir (Bentley ve Philips, 1951; Yeşil ve Sariözkan, 2017). Eser elementler arasında yer alan Se, hayvanlar ve insan sağlığında önemli bir rol oynamaktadır. Laktasyonun başlamasıyla artan süt verimiyle, antioksidan sistemin oksidatif stresi azaltma yeteneği yetersiz kalabilmekte ve bu durum özellikle selenyum eksikliğinde daha da belirgin hale gelebilmektedir. Selenyum, hücresel metabolizmadan hidroperoksitlerin birikmesine karşı savunmada rol oynayan bir eser elementtir. Bu biyolojik işlev, selenyumun yapısal bir bileşen olduğu glutatyon peroksidaz ailesi, tioredoksin redüktazlar ve iyodotironin deiyodinazlar gibi selenoproteinler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Sığırlarda yetersizliği, beyaz kas hastalığı, karaciğer dejenerasyonu, metritis ve retensiyo sekundinarum gibi postpartum problemlere, gebelik oranlarında azalma ve erken embriyonik ölüm gibi çeşitli bozukluklara neden olabilmektedir. Sığırlarda yemlerle veya mineral takviyesi olarak Se'nin alınmasıyla, ovaryum kistleri ve postpartum uterus enfeksiyonlarının oranı azalmaktadır. Se aynı zamanda klinik ve subklinik mastitisi önleyerek meme sağlığında önemli bir rol oynamaktadır (Mehdi ve Dufasne, 2016; Ullah ve ark., 2020, Ahn ve ark., 2021). Ortak biyolojik aktiviteleri paylaşan E vitamini ve Se, antioksidan özellikler göstermekte ve bu besinlerin eksiklikleri de nötrofil aktivitesinde azalmaya yol açabilmektedir. Bu nedenle, birinin veya her ikisinin eksiklikleri, nötrofil uterus ve meme bezlerindeki toksik oksijen moleküllerinin yıkıcı etkisinden korumak için yeterli olmayan vücudun antioksidan aktivitesini etkileyebilmektedir. Yeterli E vitamini ve Se kaynağı, mikroorganizmaların neden olduğu uterus ve meme içi enfeksiyon sırasında süte hızlı nötrofil akışı ile ilişkili optimum antioksidan aktivite seviyesini korumaktadır (Khatti ve ark., 2017; Khalili ve ark., 2019; Xiao ve ark., 2021). Laktasyon ve kuru dönemde ineklerin mineral madde gereksinimleri ve minerallerin işlev ve fonksiyonları aşağıdaki tablolarda verilmiştir (Tablo 3, Tablo 4).

**Tablo 3.** Laktasyon ve kuru dönemde ineklerin mineral madde gereksinimleri (NRC, 2001)

Mineral	Birim	Kuru Dönem	Laktasyon Dönemi
Ca	%	0,70-0,80	0,53-0,57
P	%	0,36-0,40	0,33-0,37
Mg	%	0,22-0,27	0,18-0,21
K	%	1,10-1,19	1,02-1,07
Na	%	0,26-0,31	0,19-0,20
Co	ppm	0,11	0,11
Cu	ppm	12-15	9-11
I	ppm	0,56-0,67	0,34-0,44
Fe	ppm	17-21	14-18
Mn	ppm	15-19	12-13
Se	ppm	0,3	0,3
Zn	ppm	56-67	45-54

**Tablo 4.** Mineral kaynakları işlevleri ve eksikliğinde görülen problemler (Ahuja ve Parmar, 2017).

Mineral	Fonksiyon	Eksiklik Belirtisi ve Üremeye Etkisi	Kaynak
Ca	Kemik, diş ve sütün oluşumu, kanın pıhtılaşması, kas kontraksiyonu	Raşitizm, yavaş büyüme ve gelişme, düşük süt verimi, hipokalsemi, güç doğum, retensiyon sekondinarum, prolapsus uteri	Yonca ve diğer baklagiller, öğütülmüş kireç taşı, dikalsiyum fosfat, kemik unu
P	Kemik ve diş oluşumu, enerji metabolizmasında yer alır, DNA ve RNA'nın bir parçasıdır, sütün yapısına katılır.	Zayıf kemik yapısı, büyümede gerileme, hipofosfatemi iştahsızlık, geciken pubertas ve gebelik başına düşen tohum sayısında artış	Fosfatlar, kemik unu, tahıl taneleri, tahıl yan ürünleri, yağlı tohum küspesi
Mg	İskelet dokusunda ve kemikte bulunan enzim aktivatörü	Çayır tetanisi, üreme etkinliğinde azalma	Magnezyum oksit, mineral takviyeleri
K	Elektrolit dengesinin korunması, enzim aktivatörü	Yem alımında azalma, tüy parlaklığında kayıp, hipokalemi, kas zayıflığı ve dişi genital sistem kaslarında zayıflık, düzensiz östrus, östrus yetersizliği ve uzayan buzağılama aralığı, ölü	Baklagil yemleri, potasyum klorür

<b>Fe</b>	Hemoglobinin bir parçası, birçok enzim sisteminin bir parçası	doğum, abort Besleme anemisi, soluk mukoza zarı	Yemler, tahıllar, eser miktarda mineralize tuz, etilendiamin dihidroyodür
<b>Cu</b>	Hemoglobin, koenzim üretimi için gereklidir	Şiddetli ishal, anormal iştah, zayıf büyüme, kaba, ağarmış tüyler, repeat breeder, retensiyo sekundinarum, düşük semen kalitesi	İz mineralize tuz ve ticari takviyeler
<b>Mn</b>	Büyüme, kemik oluşumu, enzim aktivatörü	Gecikmiş östrus, suböstrus, abort, düşük doğum ağırlıklı buzağular, ekstremitte anomalileri.	İz mineralize tuz ve ticari takviyeler
<b>Zn</b>	Enzim aktivatörü, yara iyileşmesi	Azalan kilo alımı, azalan yemden yararlanma, cilt/yara sorunları, düşük gebelik oranları, yavaş buzağı büyüme hızı ve gecikmiş pubertas, azalmış sperm üretimi ve geç sperm olgunlaşması	Yemler, eser miktarda mineralize tuz, çinko metiyonin
<b>Se</b>	Belirli enzimlerle etkileşim	Beyaz kas hastalığı, retensiyo sekundinarum, subklinik mastitis, abort, prematüre veya zayıf buzağular	Yağlı yemekler, yonca, buğday, yulaf, mısır, ticari takviyeler
<b>Mo</b>	Ksantin oksidaz enziminin bir parçası	Kilo kaybı, gecikmiş pubertas, düşük gebelik oranı ve anöstrus	Yemlerde yaygın olarak bulunur, eksiklik nadiren sorun olur

E vitamini güçlü antioksidanlar arasında yer alan bir vitamindir. Antioksidan yetersizliğine bağlı gelişen oksidatif stres sonucu steroid sentezinde görevli enzimlerin inaktivasyonu sonucu üreme problemleri ortaya çıkabilir. Oksidatif stres altında, steroid hormonların sentezi azalabilir. Meme ödemi, hipokalsemi, foliküler gelişimde gerileme, yavru atma, plasentanın atılamaması, mastitis, döl verimi düşüklüğü ve infertilite gibi sorunlara yol açabilmektedir. Plazmadaki 0,5 µg/ml'den az E vitamini düzeyleri, E vitamini yetersizliği olarak değerlendirilmektedir (McDowell ve ark., 1996; Altınar ve ark., 2017). Kuru dönemde günlük uygulanan 1000 IU E vitamininin retensiyo sekundinarum, meme enfeksiyonları ve klinik mastitis görülme oranını azalttığı bildirilmiştir (Harrison ve ark., 1984). B12 vitamin sentezinde kobalt önemli rol oynar. B12 vitamini karbonhidrat metabolizmasında büyük öneme sahip bir vitamin olup; eksikliğinde kondisyon kaybı, düzensiz östrus siklusu, suböstrus, fertilitate de düşüşler meydana gelmektedir (Şennüver ve Nak, 2015). A vitamini yağda eriyen vitaminlerden biri olup, hücrel büyüme ve farklılaşmayı ve doku fonksiyonlarını düzenlemektedir. Eksikliğinin düvelerde pubertasa ulaşmayı geciktirdiği, abort, ölü veya zayıf buzağuların doğumuna neden olduğu, östrus siklusunda düzensizlikler meydana geldiği, ovulasyon gecikmesi, retensiyo sekundinarum, metritis, döl tutmama, sakın östrus gibi infertilite problemlerinin ortaya çıkma riskini arttırdığı bildirilmektedir. (Ceylan ve ark., 2007; Bindari ve ark., 2013). Süt

ineklerinde günlük 30.000-100.000 IU vitamin A takviyesi yeterli gelmektedir. Diğer bir antioksidan olan A vitamini ayrıca endometriyum tabakasının korunmasında, membran bütünlüğünün korunmasında, steroid hormon sentezinde etkili rol oynamaktadır. D vitamini ise kolesterolün kullanılarak progesterona dönüştürülmesinde, GnRH ve LH salgılanmasında önemli etkileri vardır. Süt ineklerinin günlük D vitamini ihtiyacının 5000-6000 IU olduğu bildirilmektedir. (Schweigert ve Zucker, 1998; Tuncer, 2008).

## **5. Sonuç**

Sonuç olarak; işletmelerde en büyük ekonomik kayıba neden olan infertilite, son zamanlarda oldukça büyük bir problem haline gelmiştir. Bu problemin genel olarak temelinde, besleme yönetimindeki sorunlar bulunmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken konu besleme dengesidir. Alt ve üst düzeyde yapılacak besleme programları fertilitate açısından bir dezavantaj oluşturmaktadır. İstenilen üreme performansına ulaşmak için hayvanlara gebelik, buzağılık, düvelik ve laktasyon dönemi gibi fizyolojik dönemlerine uygun; enerji, protein ve yağ dengesine sahip bir besleme programının oluşturulması gerekmektedir. Böylelikle pubertesa ulaşmış her hayvandan yılda bir buzağı elde etmek hedefine ulaşılabilir ve hayvanlarda infertilite ile karşılaşılma oranı en aza indirgenmiş olur.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

## **Kaynakça**

- Ahuja A., Parmar D. Role of minerals in reproductive health of dairy cattle: a review. *International Journal of Livestock Research* 2017; 7(10): 16-26.
- Ahn JH., Han GW., Nam IS. Effects of selenium injection on the reproductive performance of holstein dairy cows. *Journal of Animal Health and Production* 2021; 9(3): 335-341.
- Altuner A., Atalay H., Bilal T. Bir antioksidan olarak E vitamini. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi* 2017; 6(3): 149-157.
- Ateş EK., Arık HD. Nutrition and importance of breeding heifers (14 months and over) in dairy cow farms. *EDUVET International Veterinary Sciences Congress Proceedings Book 2021*; 247-250.
- Ayaşan T., Asarkaya A., Hızlı H., Gök K., Tekgül A., Karakozak E., Kılıçalp N. The effect of body condition score on embryo quality of Holstein cows. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2012a; 18(1): 91-94.

- Ayaşan T., Yazgan E., Asarkaya A. Vücut kondisyon skorunun süt kompozisyonuna olan etkisi. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2012b; 9(2): 89-93.
- Bach A. Effects of nutrition and genetics on fertility in dairy cows. *Reproduction, Fertility and Development* 2019; 31: 40-54.
- Barletta RV., Filho MM., Carvalho PD., DeValle TA., Netto AS. Association of changes among body condition score during the transition period with NEFA and BHBA concentrations, milk production, fertility, and health of Holstein cows. *Theriogenology* 2017; 104: 30-36.
- Bergen WG. Amino acids in beef cattle nutrition and production. *Amino Acids in Nutrition and Health: Amino Acids in the Nutrition of Companion, Zoo and Farm Animals* 2021; 29-42.
- Bhatta BR., Kaphle K. Nutrition and reproductive underperformance of cattle in Nepal: A short review. *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry* 2020; 5: 83-86.
- Bhatti JA., Younas M., Abdullah M., Babar ME., Nawaz H. Feed intake, weight gain and haematology in Nili-Ravi buffalo heifers fed on mott grass and Berseem fodder substituted with saltbush (*Atriplex amnicola*). *Pakistan Veterinary Journal* 2009; 29(3): 133-137.
- Bhowmik N., Ringwall KA., Dahlen CR., Swanson KC., Clapper JA., Ward AK., Hulsman HLL. The role of leptin in reproductive characteristics of commercial beef cows and heifers. *Translational Animal Science* 2019; 3(1): 1764-1768.
- Bindari YR., Shrestha S., Shrestha N., Gaire TN. Effects of nutrition on reproduction- A review. *Advances in Applied Science Research* 2013; 4(1): 421-429.
- Bisinotto RS., Greco LF., Ribeiro ES., Martinez N., Lima FS., Staples CR., Santos JEP. Influences of nutrition and metabolism on fertility of dairy cows. *Animal Reproduction (AR)* 2018; 9(3): 260-272.
- Boland MP., Lonergan P., Callaghan O. Effect of nutrition on endocrine parameters, ovarian physiology, and oocyte and embryo development. *Theriogenology* 2001; 55: 1323-1340.
- Bradford BJ., Allen MS. Negative energy balance increases periprandial ghrelin and growth hormone concentrations in lactating dairy cows. *Domestic Animal Endocrinology* 2008; 34: 196-203.
- Burke JM., Stables CR., Risco CA., De-laSota RL., Thatcher WW. Effects of ruminant grade menhaden fish meal on reproductive and productive performance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 1997; 80: 3386-3398.
- Butler WR., Beam SW. Energy balance and ovarian follicle development prior to the first ovulation postpartum in dairy cows receiving three levels of dietary fat. *Biology of Reproduction* 1997; 56: 133-142.
- Castro T., Martinez D., Isabel B., Cabezas A., Jimeno V. Vegetable oils rich in polyunsaturated fatty acids supplementation of dairy cows' diets: Effects on productive and reproductive performance. *Animals* 2019; 9(5): 205.



- Cardoso FC., Kalscheur KF., Drackley JK. Symposium review: nutrition strategies for improved health, production, and fertility during the transition period. *Journal of Dairy Science* 2020; 103(6): 5684-5693.
- Cardoso RC., West SM., Maia TS., Alves BR., Williams GL. Nutritional control of puberty in the bovine female: prenatal and early postnatal regulation of the neuroendocrine system. *Domestic Animal Endocrinology* 2020; 73: 106434.
- Carson RL., Caudle AB., Riddle HE. The relationship between narrow calcium-phosphorus ratio and reproductive problems in a dairy herd: A case report. *Theriogenology* 1978; 9(6): 505-507.
- Carvalho PD., Souza AH., Amundson MC., Hackbart KS., Fuenzalida MJ. Relationships between fertility and postpartum changes in body condition and body weight in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 2014; 97: 3666-3683.
- Ceylan A., Serin İ., Akşit H., Seyrek K., Gökbulut C. Döl tutmayan ve anöstruslu süt ineklerinde vitamin A, E, BetaKaroten, Kolesterol ve Triglicerid düzeylerinin araştırılması. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2007; 13(2): 143-147.
- Chelikani PK., Ambrose DJ., Keisler DH., Kennelly JJ. Effects of dietary energy and protein density on plasma concentrations of leptin and metabolic hormones in dairy heifers. *Journal of Dairy Science* 2009; 92: 1430–1441.
- Cheng Z., Robinson RS., Pushpakumara PGA., Mansbridge RJ. Effect of dietary polyunsaturated fatty acids on uterine prostaglandin synthesis in the cow. *Journal of Endocrinology* 2001; 171, 463–473.
- Compton CWR., Heuer C., Thomsen PT., Carpenter TE., Phyn CVC., McDougall S. Invited review: a systematic literature review and meta-analysis of mortality and culling in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 2017; 100(1): 1-16.
- Cushman RA., Allan MF., Kuehn LA., Snelling WM., Cupp AS. Evaluation of antral follicle count and ovarian morphology in crossbred beef cows: Investigation of influence of stage of the estrous cycle, age, and birth weight. *Journal of Animal Science* 2009; 87: 1971-1980.
- Çavdar OS., Kanber K. Investigation of relationship among dietary fatty acids and milk urea nitrogen and fertility problems in dairy cattle farms. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2022; 11(2): 201-208.
- Çolakoğlu HE., Küplülü Ş. Effect of body condition score changes on postpartum period and fertility parameters in cows and heifers. *Kocatepe Veteriner Dergisi* 2016; 9: 146-158.
- Dahl-Pedersen K., Herskin MS., Houe, H., Thomsen PT. A descriptive study of the clinical condition of cull dairy cows before transport to slaughter. *Livestock Science* 2018; 218, 108-113.
- De Vries A., Marcondes MI. Overview of factors affecting productive lifespan of dairy cows. *Animal* 2020; 14(1): 155-164.

- DiVall SA., Williams TR., Carver SE., Koch L., Bruning JC., Kahn CR., Wondisford F., Radovick S., Wolfe A. Divergent roles of growth factors in the GnRH regulation of puberty in mice. *The Journal of Clinical Investigation* 2010; 120: 2900-2909.
- Do C., Wasana N., Cho K., Choi Y., Choi T. The effect of age at first calving and calving interval on productive life and lifetime profit in Korean holsteins. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 2013; 26: 1511–1517.
- Domecq JJ., Skidmore AL., Lloyd JW., Kaneene JB. Relationship between body condition scores and conception at first artificial insemination in a large dairy herd of high yielding holstein cows. *Journal of Dairy Science* 1997; 80: 113–120.
- Duffield T. Minimizing subclinical metabolic diseases. *WCDS Advances in Dairy Technology* 2006; 18, 43-55.
- Ehrhardt RA., Slepatis RM., Siegal-Willott J., Van Amburgh ME., Bell AW., Boisclair YR. Development of a specific radioimmunoassay to measure physiological changes of circulating leptin in cattle and sheep. *Journal of Endocrinology* 2000; 166(3): 519-528.
- Ergün A, Çolpan İ, Yıldız G, Küçükersan. Hayvan besleme ve beslenme hastalıkları. 4. Baskı Ankara: Pozitif Matbaacılık; 2008.
- Ergün A., Tuncer ŞD., Çolpan İ., Yalçın S., Yıldız G., Küçükersan MK., Küçükersan S., Şehu A. Hayvan besleme ve beslenme hastalıkları. Ankara: Medipress; 2001.
- Fadel MS., El-Garhı MS., Ghattas TA., Mansour AM. Effect of feeding different crude protein diets on reproductive performance of Holstein dairy cow. *Assiut Veterinary Medical Journal* 2017; 63(155): 128-135.
- Formigoni A., Fustini M., Archetti L., Emanuele S., Sniffen C., Biagi G. Effects of an organic source of copper, manganese and zinc on dairy cattle productive performance, health status and fertility. *Animal Feed Science and Technology* 2011; 164(3-4): 191-198.
- Garcia MR., Amstalden M., Williams SW., Stanko RL., Morrison CD., Keisler DH., Nizielski SH., Williams GL. Serum leptin and its adipose gene expression during pubertal development, the estrous cycle, and different seasons in cattle. *Journal of Animal Science* 2002; 80: 2158–2167.
- Gilbreath KR., Bazer FW., Satterfield MC., Wu G. Amino acid nutrition and reproductive performance in ruminants. *Amino Acids in Nutrition and Health: Amino Acids in the Nutrition of Companion, Zoo and Farm Animals* 2021; 43-61.
- Grummer RR., Mashek DG., Hayirli A. Dry matter intake and energy balance in the transition period. *Veterinary Clinics Food Animal Practice* 2004; 20: 447–470.
- Grzesiak W., Adamczyk K., Zaborski D., Wójcik J. Estimation of dairy cow survival in the first three lactations for different culling reasons using the Kaplan–Meier method. *Animals* 2022; 12(15): 1942.
- Harrison JH., Hancock DD., Conrad HR. Vitamin E and selenium for reproduction of the dairy cow. *Journal of Dairy Science* 1984; 67: 123-132.

- Hayati RN., Panjono P., Irawan A. Estrous signs and progesterone profile of ongole grade cows synchronized at different ages fed different level of dietary crude protein. *Tropical Animal Science Journal* 2021; 44(1): 16-23.
- Hayırlı A., Cengiz M., Kartal C., Kaynar Ö. Sütçü ineklerde yağ/yağ asitlerinin fertiliteye etkisi. *Türkiye Klinikleri* 2017; 3(3): 197-210.
- Hayırlı A. Protein Besleme ve Üreme. *Türk Veteriner Jinekoloji Derneği VIII. Ulusal & II. Uluslararası Kongresi Kongre Kitabı*, Antalya: 2019.
- Heryani LGSS., Laksmi DNDI., Lestari DLP., Laksana IGNBT SL., Gunawan IWNF. Relationship between the appearance of first estrus (puberty) with leptin and body conditions score (bcs) levels in bali cattle. *Advances in Animal and Veterinary Sciences* 2019; 7(10): 904-909.
- Jones C., Heinrichs J. Manual for body condition scoring excel spreadsheet series. DAS 03-60. The Pennsylvania State University, University Park, 2003
- Kaçar C., Arı UÇ. Leptinin inek ve koyunlarda enerji metabolizması ve üreme fizyolojisi üzerine etkileri. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2007; 13(2): 209-213.
- Khalili M., Chamani M., Amanlou H., Nikkhah A., Sadeghi AA., Dehkordi FK., Shirani, V. The effect of feeding inorganic and organic selenium sources on the hematological blood parameters, reproduction and health of dairy cows in the transition period. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 2019; 42(1), e45371.
- Khatti A., Mehrotra S., Patel PK., Singh G., Maurya VP., Mahla AS., Krishnaswamy N. Supplementation of vitamin E, selenium and increased energy allowance mitigates the transition stress and improves postpartum reproductive performance in the crossbred cow. *Theriogenology* 2017; 104: 142-148.
- Kirchhoff AA. The effect of a supplemental trace mineral injection on developing beef bull and heifer reproduction. Kansas State University, Department of Animal Sciences and Industry College of Agriculture, Yüksek Lisans Tezi, Kansas, 2012.
- Klein JL., Adams SM., De Moura AF., Alves Filho DC., Maidana FM., Brondani IL, Da Silva MB. Productive performance of beef cows subjected to different nutritional levels in the third trimester of gestation. *Animal* 2021; 15(2): 100089.
- Kocaoğlu GB., Kara K. Ruminant beslemede alternatif yem katkı maddelerinin kullanımı: 2. organik asit, yağ asiti, adsorban. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2010; 7(1): 43-52.
- Langova L, Novotna I., Nemcova P., Machacek M., Havlicek Z., Zemanova M., Chrast V. Impact of nutrients on the hoof health in cattle. *Animals* 2020; 10(10): 1824.
- Lorenz I., Mee JF., Earley B., More SJ. Calf health from birth to weaning. I. General aspects of disease prevention. *Irish Veterinary Journal* 2011; 64: 1-8.
- Lucy MC. Mechanisms linking nutrition and reproduction in postpartum cows. *Reproduction Supplement* 2003; 61: 415-427.

- Maas J. Relationship between nutrition and reproduction in beef cattle. *Food Animal Practice* 1987; 3(3): 633-646.
- Macrae AI., Burrough E., Forrest J., Corbishley A., Russell G. Risk factors associated with excessive negative energy balance in commercial United Kingdom dairy herds. *The Veterinary Journal* 2019; 250: 15-23.
- Mattos R., Staples CR., Thatcher WW. Effects of dietary fatty acids on reproduction in ruminants. *Reviews of Reproduction* 2000; 5: 38-45.
- Mehdi Y., Dufasne, I. Selenium in cattle: a review. *Molecules* 2016; 21(4): 545.
- Melendez P., Donovan A., Hernandez J., Bartolome J., Risco CA., Staples C., Thatcher WW. Milk, plasma, and blood urea nitrogen concentrations, dietary protein, and fertility in dairy cattle. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 2003a; 223: 628–634.
- Melendez P., Bartolome J., Archbald LF., Donovan A. The association between lameness, ovarian cysts and fertility in lactating dairy cows. *Theriogenology* 2003b; 59: 927-937.
- McDowell LR., Williams SN., Hidioglou N. Vitamin E supplementation for the ruminant. *Animal Feed Science Technology* 1996; 60: 273-296.
- McNamara S., Butler T., Ryan DP., Mee JF., Dillon P., O'Mara FP., Butler ST., Anglesey D., Rath M., Murphy JJ. Effect of offering rumen-protected fat supplements on fertility and performance in spring-calving Holstein-Friesian cows. *Animal Reproduction Science* 2003; 79: 45–56.
- Michael JD., Baruselli PS., Campanile G. Influence of nutrition, body condition, and metabolic status on reproduction in female beef cattle: a review. *Theriogenology* 2019; 125: 277-284.
- Montiel F., Ahuja C. Body condition and suckling as factors influencing the duration of postpartum anestrus in cattle: a review. *Animal Reproduction Science* 2005; 85: 1-26.
- National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle. 7. Baskı Washington; National Academies Press: 2001.
- Nazhat SA., Aziz A., Zabuli J., Rahmati S. Importance of body condition scoring in reproductive performance of dairy cows: a Review. *Open Journal of Veterinary Medicine* 2021; 11(7): 272-288.
- Nebel RL., McGilliard ML. Interactions of high milk yield and reproductive performance in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 1993; 76(10): 3257-3268.
- Nirwan SS., Mehta JS., Kumar A., Kumar P., Kumar A., Singh V. Effects of bypass fat on postpartum reproductive performance in dairy cattle. *Indian Journal of Dairy Science* 2019; 72(2): 194-200.
- Öğüt MY., Çetinkaya N. Süt sığırlarının beslenmesinde metabolize edilebilir protein sistemleri. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences* 2020; 5(2): 178-184.
- Perry GA. Factors affecting puberty in replacement beef heifers. *Theriogenology* 2016; 1-6.
- Rhoads ML., Rhoads RP., Gilbert RO., Toole R., Butler WR. Detrimental effects of high plasma urea nitrogen levels on viability of embryos from lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science* 2006; 91: 1-10.

- Robinson RS., Pushpakumara PGA., Cheng Z., Peters AR., Abayasekara DRE., Wathes DC. Effects of dietary polyunsaturated fatty acids on ovarian and uterine function in lactating dairy cows. *Reproduction* 2002; 124: 119-131.
- Roche JF. The effect of nutritional management of the dairy cow on reproductive efficiency. *Animal Reproduction Science* 2006; 96: 282-296.
- Roche JR., Burke CR., Crookenden MA., Heiser A., Looor JL., Meier S., Turner SA. Fertility and the transition dairy cow. *Reproduction, Fertility and Development* 2018; 30(1): 85-100.
- Salas-Razo G., Herrera-Camacho J., Gutiérrez-Vázquez E., Ku-Vera JC., AkéLópez JR. Restart postpartum ovarian activity and plasma concentration of lipid and progesterone metabolites in cows supplemented with bypass fat. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 2011; 14: 385-392.
- Sammad A., Khan MZ., Abbas Z., Hu L., Ullah Q., Wang Y., Wang Y. Major Nutritional metabolic alterations influencing the reproductive system of postpartum dairy cows. *Metabolites* 2022; 12(1): 60.
- Savari M., Khorvash M., Amanlou H., Ghorbani GR., Ghasemi E., Mirzaei M. Effects of rumen-degradable protein: rumen-undegradable protein ratio and corn processing on production performance, nitrogen efficiency, and feeding behavior of Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 2018; 101(2): 1111-1122.
- Schillo KK., Hall JB., Hileman SM. Effects of nutrition and season on the onset of puberty in the beef heifer. *Journal of Animal Science* 1992; 70: 3994–4005.
- Schweigert FJ., Zucker H. Concentration of vitamin A, beta-carotene and vitamin E in individual bovine follicles of different quality. *Journal of Reproduction and Fertility* 1998; 82: 575-579.
- Serbester U., Çınar M., Hayırlı A. Sütçü ineklerde negatif enerji dengesi ve metabolik indikatörleri. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2012; 18(4): 705-711.
- Serjensen K., Purup S. Influence of prepubertal feeding level on milk yield potential of dairy heifers: a review. *Journal of Animal Science* 1997; 75: 828–835.
- Shirmohammadi S., Taghizadeh A., Hosseinkhani A., Janmohammadi H., Pirmohammadi R., Valizadeh H. Effect of low protein diets supplemented with rumen protected methionine, lysine and choline on Holstein dairy cows productive and reproductive performance. *Journal of Animal Science Research* 2021.
- Singh AK., Bhakat C., Mandal DK., Mandal A., Rai S., Chatterjee A., Ghosh MK. Effect of reducing energy intake during the dry period on milk production, udder health, and body condition score of Jersey crossbred cows in the tropical lower Gangetic region. *Tropical Animal Health and Production* 2020; 52: 1759-1767.
- Sirini MA., Anchordoquy JP., Quintana S., Furnus C., Relling AE. Anchordoquy JM: Expression of ghrelin and its receptor mRNA in bovine oocyte and cumulus cells. *International Journal of Fertility and Sterility* 2019; 12(4): 335-338.

- Sonderman JP., Larson LL. Effect of dietary protein and exogenous gonadotropinreleasing hormone on circulating progesterone concentrations and performance of holstein cows. *Journal of Dairy Science* 1989; 72(8): 2179-2183.
- Spicer LJ., Tucker WB., Adams GD. Insulin-like growth factor-I in dairy cows: relationships among energy balance, body condition, ovarian activity, and estrous behavior. *Journal of Dairy Science* 1990; 73(4): 929-937.
- Spitzer JC., Morrison DG., Wettemann RP., Faulknel LC. Reproductive responses and calf birth and weaning weights as affected by body condition at parturition and postpartum weight gain in primiparous beef cow. *Journal of Animal Science* 1995; 73: 1251-1257.
- Suthar VS., Canelas-Raposo J., Deniz A., Heuwieser W. Prevalence of subclinical ketosis and relationships with postpartum diseases in European dairy cows. *Journal of Dairy Science* 2013; 96: 2925-2938.
- Semacan A., Kaymaz M., Fındık M., Rışvanlı A., Köker A. Çiftlik hayvanlarında doğum ve jinekoloji. 2. Baskı Malatya: Medipres Matbaacılık; 2015.
- Ullah H., Khan RU., Tufarelli V., Laudadio V. Selenium: An essential micronutrient for sustainable dairy cows production. *Sustainability* 2020; 12(24): 10693.
- Uyarlar C. Süt sığırlarında esansiyel amino asit beslemesinin rasyon maliyeti üzerine etkisi. *Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi ve Kültür Dergisi* 2019; 7:76.
- Verma R., Vijayalakshmy K., Virmani M., Kumar S., Verma A. Seasonal influence of age at first calving on genetic variation and subsequent reproductive performances in Murrah buffaloes. *Biological Rhythm Research* 2019; 1744-4179.
- Williams C. How low can you go? The importance of protein in the dairy cow diet. *Farming Connect*, Aberystwyth University, 2019.
- Wylie ARG. Leptin in farm animals: where are we and where can we go? *Animal* 2010; 5(2): 246–267.
- Xiao J., Khan MZ., Ma Y., Alugongo GM., Ma J., Chen T., Cao Z. The antioxidant properties of selenium and vitamin E; their role in periparturient dairy cattle health regulation. *Antioxidants* 2021; 10(10): 1555.
- Xu W., Van Knegsel A., Saccenti E., Van Hoeij R., Kemp B., Vervoort J. Metabolomics of milk reflects a negative energy balance in cows. *Journal of Proteome Research* 2020; 19(8): 2942-2949.
- Yadav T., Magotra A., Bangar YC., Kumar R., Yadav AS., Garg AR., Kumar P. Effect of BsaA I genotyped intronic SNP of leptin gene on production and reproduction traits in Indian dairy cattle. *Animal Biotechnology* 2021; 1-7.
- Yasothai R. Importance of minerals on reproduction in dairy cattle. *International Journal of Science, Environment and Technology* 2014; 3(6): 2051-2057.

Yoshida K., Murao K., Imachi H., Cao WM., Yu X. Pancreatic glucokinase is activated by insulin-like growth factor-I. *Endocrinology* 2007; 148: 2904-2913.

Zhang F., Nan X., Wang H., Zhao Y., Guo Y., Xiong B. Effects of propylene glycol on negative energy balance of postpartum dairy cows. *Animals* 2020; 10(9): 1526.

## Deprem Sebebiyle Ortaya Çıkan Toksik Atıkların Sınıflandırması, Etkileri ve Bertaraf Yönetmelikleri

Merve KULOĞLU GENÇ<sup>1\*</sup>, Selda MERCAN<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü, Fen Bilimleri Anabilim Dalı, Adli Toksikoloji Laboratuvarı, 34500, İstanbul

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-3670-3168>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-0431-6972>

\*Sorumlu yazar: merve.kuloglu@iuc.edu.tr

### Derleme

### ÖZ

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.05.2023

Kabul tarihi: 26.08.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Afet

Deprem

Atık yönetimi

Toksik madde

Bertaraf yöntemi

Doğal afetler, toplumlarda can kaybının yanı sıra maddi, manevi ve çevresel kayıplara da yol açabilen, genellikle toplumun işleyişinde aksamalara neden olan doğa olaylarıdır. Her afetin kendi içinde oldukça yıkıcı bir etkisi olmakla birlikte, ülkemiz coğrafyasında en sık karşılaşılan ve en yıkıcı etkiye sahip olan doğal afet tipi depremdir. Ülkemizde 6 Şubat 2023 tarihinde ardışık olarak gerçekleşen yıkıcı güçteki depremler sebebi ile ülke tarihinin en büyük can ve mal kaybı meydana gelmiş, beraberinde enkazlardan büyük hacimlerde ve çok çeşitli atıklar açığa çıkmıştır. Bir depremin şiddetine ve meydana geldiği bölgenin yapılaşmasına bağlı olarak ortaya çıkan moloz ve katı atık hacimleri, o toplum tarafından üretilen yıllık atığın çok üzerinde olabilmektedir. Bu nedenle, deprem sonrası iyileştirme aşamalarında, afet sonrası ortaya çıkan atıkların sınıflandırılması, ayrıştırılması, geçici ve kalıcı süre ile depolanması ve ilgili mevzuatlara uygun bir şekilde bertaraf edilmesi oldukça önemlidir. Ülkemizde, deprem ya da diğer afet durumlarına özgü bir afet atık yönetmeliği bulunmasa da yürürlükte olan çeşitli atık yönetmelikleri, afet durumlarında da geçerli olmaktadır. Bu çalışmada, deprem kaynaklı ortaya çıkan ve çıkabilecek olan atık türleri ayrıntılı şekilde ele alınarak, atıkların neden olduğu katı, sıvı ve gaz formdaki toksik maddelere, bu maddelerin maruziyet yollarına ve olası toksik etkilerine değinilmiştir. Ayrıca, enkazlarda oluşan atıkların bertaraf edilme yöntemleri, bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları da ilgili yönetmelikler ışığında incelenmiştir. Bu derleme ile afet durumlarında acil durum yönetim koordinasyonunu sağlamak için mutlak doğru bir yöntemin olmadığı, ülkelerin yapılanmalarına, yaşanan olayın türüne, boyutuna ve bütçeye bağlı olarak karar mekanizmalarının değişebileceği tespit edilmiştir. Tüm canlı ve çevre sağlığı bakımından, deprem öncesi atık yönetim planlamasının yapılarak deprem sonrasında bu planın hızla ve dikkatle koordine edilmesinin, küresel düzeyde kabul gören tek ortak yaklaşım olduğu görülmüştür.

## Classification, Effects and Disposal Regulations of Toxic Wastes Caused by Earthquakes

### Reviews

#### Article History:

Received: 08.05.2023

Accepted: 26.08.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Disaster

Earthquake

Waste management

Toxic substance

Disposal method

### ABSTRACT

Natural disasters are events that occur naturally and may result in significant losses of life as well as properties. They often cause disruptions to the functioning of society. Although each of the disasters has quite devastating effects in itself, earthquake is the most common type of natural disaster that has the highest destructive effects in our country. The earthquakes that occurred on February 6, 2023, in Turkey were particularly severe and caused the greatest loss of life and property in the history of our nation. Depending on the intensity of an earthquake and the way the affected region is built, the amount of debris and solid waste generated can be much higher than the annual waste produced by the community. It is therefore essential to classify, separate, temporarily and permanently store wastes generated after a disaster, and dispose of it in accordance with relevant legislation. Although our country currently lacks disaster waste regulations



specifically designed for earthquakes or other natural disasters, existing waste regulations can operate in these situations as well. This study discusses in detail the types of waste that may generate from earthquakes, including the toxic substances found in solid, liquid, and gaseous wastes. It also examines the exposure routes and possible toxic effects of these substances, as well as the disposal methods available in accordance with relevant regulations. Thanks to this review, it has been determined that there is no absolute method to ensure emergency management coordination in disaster situations, and that the decision mechanisms may change depending on the structure of the countries, the type and size of the event as well as budget. It has been seen that in terms of all living beings and environmental health, pre-earthquake waste management planning as well as coordination of this plan quickly and carefully after the earthquake is the only globally accepted approach.

---

**To Cite:** Kuloğlu Genç M., Mercan S. Deprem Sebebiyle Ortaya Çıkan Toksik Atıkların Sınıflandırması, Etkileri ve Bertaraf Yönetmelikleri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(1): 399-413.

## 1. Giriş

Doğal afetler, volkanik patlama, deprem, kasırđa/hortum, sel, orman yangını, tsunami şeklinde meydana gelmektedirler ve etkilediği toplumlarda can kaybının yanı sıra maddi, manevi ve çevresel kayıplara da yol açan, genellikle toplumun işleyişinde aksamalara neden olan doğa olaylarıdır. Her bir afetin kendi içinde oldukça çeşitli yıkıcı etkileri olmakla birlikte, ülkemiz coğrafyasında en sık karşılaşılan ve en yıkıcı etkiye sahip olan doğal afet tipi depremdir. Türkiye'nin jeolojik olarak Kuzey Anadolu (~1200 km uzunluğunda) ve Doğu Anadolu (~430 km) fay hatları üzerinde konumlanması nedeniyle ülke tarihinde pek çok yıkıcı deprem yaşanmıştır ve yaşanmaya da devam edeceği öngörülmektedir (Şengör ve ark., 2005; İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, 2023). Ülkemizde 6 Şubat 2023 tarihinde gerçekleşen, Mw 7.7 (merkez üssü Kahramanmaraş'ın Pazarcık ilçesi, saat 04:17) ve Mw 7.6 (merkez üssü Kahramanmaraş'ın Elbistan ilçesi, saat 13:24) büyüklüğündeki depremler, toplamda yaklaşık 110.000 km<sup>2</sup>'lik alandaki 11 şehri (Kahramanmaraş, Gaziantep, Şanlıurfa, Diyarbakır, Adana, Adıyaman, Osmaniye, Hatay, Kilis, Malatya ve Elazığ) ve yaklaşık 13.5 milyon vatandaşı etkilemiştir. 2023 yılı nisan ayı itibariyle resmi rakamlara göre 50 binin üzerinde vatandaşımız bu afet dolayısıyla hayatını kaybetmiş ve 230 binin üzerinde bina yıkık veya hasarlı duruma gelmiştir. Yirmi birinci yüzyılın en büyük hasarlı afetleri arasında yerini alan bu depremler nedeni ile sağlık, ulaşım, iletişim, kanalizasyon sistemleri, su, doğalgaz ve elektrik hatları da kamu hizmeti veremez duruma gelmiştir.

Büyük ölçüde can ve mal kaybına sebep olabilen yıkıcı depremlerin ekonomik, kültürel, psikolojik ve sosyolojik etkileri uzun vadede yaşam kalitesinin düşmesine sebebiyet vermektedir. Kişilerin can ve mal kaybına yol açan zararlar depremin birincil zararları iken, yıkımın etkisi ile ortaya çıkan enkazlardaki atıklar ise ikincil zararlarıdır. Depremin şiddetine ve meydana geldiği bölgenin yapılaşmasına bağlı olarak ortaya çıkan moloz ve katı atık hacimleri, o toplum tarafından üretilen yıllık toplam atığın çok üzerinde olabilmektedir (Brown, 2014). Bu büyük hacimdeki atıklar, kısa vadede, deprem sonrasında yapılacak olan acil müdahale ve arama-kurtarma faaliyetlerini olumsuz yönde etkileyebildiği gibi, uzun vadede halk sağlığını, canlı hayatı ve çevreyi tehdit edebilecek

boyutlara ulaşabilmektedir. Bu nedenle, deprem sonrası iyileştirme aşamalarından biri de afet sonrası ortaya çıkan atıkların mevzuata uygun bir şekilde bertaraf edilmesidir. Bunun için, bir felaket anında yetkili kurumlar ve ilgili uzmanlar, ortaya çıkan atık miktarını tespit etmeli, sınıflandırmalı, geçici depolama alanlarında toplamalı ve uygun bertaraf veya geri dönüşüm süreçlerini planlamalıdır (Asari ve ark., 2013). Ancak devam etmekte olan arama kurtarma çalışmaları sırasında bu işlemleri hızla ve etkin bir şekilde gerçekleştirmek her zaman mümkün olmayacağından, ideal olan, bu tür senaryoların afet öncesinde planlanmış olması ve bu görevleri yerine getirmek için uygun planlamaları içeren yönergelerin önceden hazırlanmasıdır.

Afet atıkları, bir bölgede yaşanan afet sonrası ortaya çıkan, katı, sıvı ve gaz formundaki her türlü atığı kapsamaktadır (United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs Section, 2013). Afetlerde oluşan atık tipleri, hacimleri ve toksik etkileri bakımından farklılık gösterebileceği için, her afet tipi için değişmektedir, bu nedenle afete özgü atık yönetim planlaması ve yönergeler bulunmalıdır (Asari ve ark., 2013; United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs Section 2013; Brown 2014). Depremden sonra ortaya çıkan atıklar çok çeşitli içerikte, miktarda ve formlarda olabilmektedir. Bu nedenle atık sınıflandırması yapılırken bu içeriklerin canlı yaşamına ve çevreye vereceği zararların, iş sağlığı ve güvenliği alanında meydana getireceği tehlikelerin, geçici depolanması/ bertaraf edilmesi sırasında ortaya çıkabilecek zararlı etkilerin etraflıca düşünülerek planlanması gerekmektedir. Aşağıda, deprem nedeniyle ortaya çıkabilecek olan atık türleri ele alınmış, en sık karşılaşılan atıklar, atıklarda bulunabilecek toksik maddelere maruziyet yolları ve bu maddelerin olası toksik etkilerinin yanı sıra bertaraf yöntemleri de incelenmiştir.

## 2. Depremlerde Ortaya Çıkan Atık Türleri

**Evsel tehlikeli atıklar**, depremde ağır hasar alan veya yıkılan evlerin her biri bağımsız birim olarak değerlendirildiğinde, içerisinde bozulmuş ve çürümüş yiyecekler, ilaçlar, kişisel bakım ve kozmetik ürünleri ile temizlik malzemelerinin bulunacağı öngörülmektedir. Bunlardan çürümüş yiyecekler, mikrobiyal bozunma ile ortaya çıkan önemli sera gazlarından biri olan metan gazının salınmasına neden olmaktadır (U.S. EPA, 2020). Kişisel bakım-kozmetik ürünleri ise, doğada bulunan birincil mikro plastik ( $\leq 5$  mm boyutunda parçacıklar) kirletici kaynakları arasında yer almaktadır. Günümüzde hemen hemen her evde bulunabilecek diş macunu, cilt temizleyicileri, duş jelleri, yüz/vücut peelingleri, ojeler ve göz farları gibi ürünlerin içerisinde yer alan eksfoliant (ölü cilt katmanını uzaklaştırmada kullanılan uygulama) özellikli polyolefinler, polietilen (PE), polipropilen (PP) gibi mikro plastik partiküller bulunmaktadır. Ayrıca, bebek bezleri, ıslak mendil ve yüz maskelerinin içeriğinde de PP bulunduğu tespit edilmiştir (Duis ve Coors, 2016a; Bashir ve ark., 2021). Dolayısıyla, kişisel bakım ve kozmetik ürünlerinin afet sonrası oluşan enkaz atıklarıyla kontrolsüz bir şekilde doğaya salınması, çevrede hali hazırda yüksek miktarda bulunan mikro plastik yükünü daha da arttıracaktır. Öyle ki, Cheung ve arkadaşlarının Çin'de yaptığı bir araştırmaya göre, her yıl sucul ortama salınan mikro boncukların toplam yükü yaklaşık 300 ton olarak belirlenmiştir (Cheung ve Fok,

2017; Bashir ve ark., 2021). Enkazda bulunan mikro boncuklar yağmur sularının etkisiyle veya enkazın yanlış bir şekilde uzaklaştırılması sebebiyle, kanalizasyona karışabilmekte, ancak atık su arıtma tesislerindeki arıtma işlemlerinin bu mikro boncukları tamamen uzaklaştıramadığı bilinmektedir (Michielssen ve ark., 2014; Bashir ve ark., 2021). Benzer şekilde, enkaz sonrasında karşılaşılabilecek temizlik ürünleri, kişisel bakım-kozmetik ürünleri, biberonlar, oyuncaklar ve yemek saklama kaplarında bulunabilen endokrin bozucu kimyasalların da (endocrine disrupting chemicals - EDC) çevre ve insan sağlığı üzerinde oldukça ciddi riskler oluşturduğu bilinmektedir. Bisfenol A (BPA), ftalatlar, parabenler, perfloroalkil ve polifloroalkiller (PFAS) ile dioksinler bunlardan en yaygın ve toksik olanlarıdır (Croera ve ark., 2019; Kahn ve ark., 2020; U.S. Department of Health and Human ve ark., 2021). Bu kimyasallar, yarılanma ömürlerinin uzun olması nedeniyle çevre ve canlı organizmalar için tehlikelidir. EDC'ler, endokrin sistemin gelişimini ve işlevini değiştiren maddeler oldukları için, endokrin sistem üzerine etki ederek gelişimsel süreçleri, nörolojik sistemi, üreme ve bağışıklık sistemlerini olumsuz etkilerler (Čelić ve ark., 2020). EDC'ler, suda, havada ve ev tozunda bulunduğu kanıtlanmış ve bazı yiyeceklere de bu yollarla geçtiği tespit edilmiş toksik maddelerdir. Bu nedenlerle, enkazlarda EDC barındıran atıkların çevre ve insan sağlığını tehdit edecek kaynakları kirlenmeden önce hızla bertaraf edilmesi oldukça önemlidir (Čelić ve ark., 2020; Kahn ve ark., 2020). Benzer şekilde kullanılmamış ilaçlar da içerisinde buldukları etken maddeler nedeniyle, moloz yığınlarıyla birlikte bertaraf edilmeye uygun değildir. Besin zincirine doğrudan karışma olasılığı ve canlılarda biyo-akümülyasyona ve/veya toksik etkilere neden olabilme potansiyeli nedeniyle ilaç etken maddelerin bertarafı mutlaka diğer moloz ve enkazlardan ayrıştırılarak yapılmalıdır. Örneğin, yaygın kullanılan doğum kontrol ilaçlarının etken maddelerinden biri olan etinilestradiol'ün (EE2) erkek balıklar üzerine önemli negatif etkileri olduğu; analjezik etkili ilaçların etken maddesi olarak kullanılan diklofenak maddesinin ise akbaba türlerinin toplu zehirlenmesine neden olduğu, ortaya konulan risklerden sadece birkaçı olup insan üzerindeki riskleri halen belirsizdir (Daughton, 2010; Agamuthu ve Fauziah, 2011; Modasiya ve Patel, 2012). Söz konusu ilaç etken maddeler yüzey, yer altı ve içme sularına, biyolojik katı maddelere ve son olarak da besin zincirine ulaşmaktadırlar (Modasiya ve Patel, 2012). Bakteri ve virüsleri yok etmek, yüzeysel lekeleri gidermek veya ağartmak amacı ile kullanılan temizlik ürünlerine bakıldığında ise, bu ürünlerin aktif bileşenlerinin aşındırıcı kimyasallar olduğu görülmektedir. Bunlardan etkili ağartıcı ve dezenfekte edici özellikleriyle hem ev tipi temizlik ürünlerinde hem de atık su arıtma tesislerinde ile tekstil sektöründe en yaygın kullanılanı sodyum hipoklorit bileşimidir. Bu bileşik, evlerdeki çamaşır suyu içerikli her türlü temizlik ürününde ve lavabo açıcılarda bulunmaktadır. Ancak bu bileşiği Avrupa Kimya Ajansı (The European Chemical Agency), H400 ve H410 kodlarıyla “sudaki yaşam için çok toksik” olarak tanımlamış ve sucul ortamlardaki canlılarda uzun vadede toksik etkileri olabileceği konusuna vurgu yapmıştır (The European Chemical Agency (ECHA), 2022). Bunun dışında, bazı araştırmacılar sodyum hipokloritin, temizlik ürünlerindeki diğer organik bileşenlerle reaksiyonu sonucu önemli miktarlarda halojenli uçucu organik bileşikler ve klorlu yan ürünler oluşturabileceğini de ortaya koymuştur (Bondi, 2011;

Odabasi ve ark., 2014). Çoğunlukla klor içeren ağartıcı özellikteki ürünlerin kullanımıyla ortaya çıkan bu halojenli uçucu organik bileşenler (Cl<sub>2</sub> ve kloraminler), kullanıldığı ortamın havasında yüksek konsantrasyonda tespit edilebilmekte ve bu nedenle kronik maruziyetlerde kanser de dâhil olmak üzere insan sağlığı üzerinde hayati risklere yol açmaktadır (Odabasi ve ark., 2014). Ayrıca, temizlik ürünlerinde bulunan, zemin, fayans ve cam temizliğinde kullanılan bir diğer aktif bileşen ise amonyum hidroksit (amonyak)'tir. Yapılan maruziyet araştırmaları, kullanılan temizlik ürünleri nedeniyle havadaki amonyağa çeşitli yollarla (ürünün kazara dökülme nedeniyle yarattığı maruziyet veya seyreltmeden kullanılan temizlik ürünleri nedeniyle) aşırı maruz kalınması durumunda insan/çevre sağlığı üzerinde amonyağın olumsuz etkilerinin oldukça yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Fedoruk ve ark., 2005). Maruziyet durumunda meydana gelebilecek risklerin bu derece önemli olduğu belirtilen bu içerikler, deprem sonrası veya sonrasında evlerde bulunan temizlik ürünlerinin dökülmesi, başka kimyasallarla karışması ya da doğaya salınması yoluyla bölgedeki insan ve çevre sağlığı açısından oldukça ciddi riskler oluşturacaktır. Bunlar dışında, evlerde bulunabilecek olan ampul, floresan, termometre gibi ürünlerin içeriğinde yer alan cıva (Hg), kurşun (Pb), bakır (Cu) ve çinko (Zn) gibi inorganik elementlerin, bu ürünlerin kırılmasıyla birlikte çevreye salınması da oldukça önemli zararlar barındırmaktadır ve bu tür evsel tehlikeli atıkların mutlaka ayrıştırılarak muamele edilmesi gerekmektedir (Lim ve ark., 2013). Yukarıda örnekleriyle açıklanan bu atıklar içerisinden toprağa karışan her bir toksik kimyasalın tarımsal faaliyetler yoluyla insan, hayvan ve bitkilere ulaşabildiği; su kaynakları vasıtasıyla, denizde yaşayan canlıların ve bu kaynaklardan beslenen insanların sağlığını olumsuz etkilediği; havaya karışan zehirli gazların solunması yolu ile canlıların pek çok kronik rahatsızlığa elverişli hale geldiği unutulmamalıdır.

**Biyolojik atıklar**, sağlık kuruluşları, araştırma merkezleri, ev ve iş yeri gibi bağımsız alanlarda yer alabilecek farklı çeşitteki canlılara ait biyolojik materyali ve/veya bunlarla temas halinde bulunan her türlü muhteviyatı kapsamaktadır. Detaylandırmak gerekirse, hastane, araştırma merkezi, veteriner klinikleri, laboratuvarlar gibi sağlık kuruluşlarına ait binaların enkazlarında; kesici-delici alet atıkları (enjektör, bisturi, petri kapları, lam-lamel, vb), patolojik atıklar (otopsi, patoloji ve cerrahi işlemler sonucunda ortaya çıkan her türlü organ, doku, vücut parçası ve sıvıları), tedavi amaçlı kullanılan ürünler ve ekipman (ilaçlar, kanser tedavisinde kullanılan sitotoksik maddeler, radyoaktif materyaller içeren atıklar, medikal aygıtlar vb.), enfekte atıklar (hücre kültürleri, besi yerleri, biyolojik örnekler ve bunlara temas eden pipet ucu, sarf malzeme, pamuk, çarşaf, kesici-delici alet vb. materyaller) görülmekteyken; ev, iş yeri gibi mekanlarda bulunan her türlü vücut sıvısı (idrara, kan, dışkı), doku ve bunların bulaştığı örtü çarşaf, ped, tampon vb. atıklar ile karşılaşılabilir (Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 2017). Boşaltım yoluyla atılan farmasötik atık kaynakları da içeriğindeki yüksek konsantrasyonlardaki etken maddeler (antibiyotikler, analjezikler, psikotrop maddeler vb.) nedeniyle önemli birer kirleticidirler (Merve Kuloglu Genc ve ark., 2021). Hem üretim hem de tüketim sonrası ortaya çıkan atıklar, enfekte edici, doğada uzun sürede bozulan veya biyobirikime

yatkın olan özellikleri sebebiyle, çevresel kirleticiler biyolojik atıklar olarak göz önünde bulundurulmalıdırlar (Agamuthu ve Fauziah, 2011).

**Elektronik atıklar**, ev, işyeri, okul vb. tüm bağımsız alanlarda karşılaşılabilecek olan bilgisayar, telefon, tablet, beyaz eşya (buzdolabı, fırın, ocak, bulaşık ve çamaşır makinası vb.), televizyon, pil /batarya, kablo, küçük ev aletleri (mutfak robotu, kahve makinası vb.), eski /bozuk elektronik eşyalar, klima, kombi, güneş enerji panelleri, çanak anten, uydu gibi aletleri kapsamaktadır. Bu ürünlerin çoğunluğu lityum (Li), demir (Fe), bakır (Cu), alüminyum (Al), kurşun (Pb), manganez (Mn), çinko (Zn), krom (Cr), nikel (Ni), cıva (Hg), kadmiyum (Cd), arsenik (As) gibi toksik elementlerden, plastik ve/veya seramik dış kaplamalardan oluşmaktadır (Kabir ve ark., 2015; Rajarao ve ark., 2014). Bunların yanı sıra, Stockholm Sözleşmesi'yle 2000'li yılların başında Dünya genelinde yasaklanan, ancak bu tarih öncesinde üretilen elektronik eşyaların içerisinde, ısı ve elektrik transferi sağlayan malzemelerde, voltaj regülatörlerinde, kablo yalıtımlarında, kapasitörlerde yer alabilen poliklorlu bifeniller (PCB), polibromo bifeniller (PBB) gibi organohalojenlere de rastlanabilmektedir. Günümüzde, elektronik ürünlerin üretiminde bu maddelerin bromlu alev geciktiriciler (BFR) gibi yasaklı olmayan alternatifleri kullanılmaya devam etmekte, dolayısıyla enkazlardaki elektronik atıklar uygun koşullarda bertaraf edilmezse, insan ve çevre sağlığı üzerinde uzun vadeli risk teşkil etmektedirler (Çakiroğulları ve Seçer, 2011; Kodavanti ve Loganathan, 2014; Rajarao ve ark., 2014; Hetzel ve Hallaç, 2017).

**Araç enkazları**, yukarıda bahsi geçen elektronik atıklar dışında, akü (kurşun-sülfirik asit akümülatörleri), yağ, motor vb. mekanik aksamalardan kaynaklanan toksik elementler, asit atıkları, petrol türevleri, plastikler ve metal içerikler ihtiva etmektedir. Bu atıklar, toprak ve su kaynaklarına karışmadan önce mutlaka diğer enkaz atıklarından ayrıştırılarak yönetmelikler çerçevesinde bertaraf edilmelidir.

**Bina ve altyapı yıkıntıları (yollar, boru şebekeleri vb.)**, deprem sonrası atık yükünün en büyük kısmını oluşturan ve bölgeden uzaklaştırılması en çok iş/ekipman gücü, bütçe ve alan gerektiren atık türüdür. Bina enkazında en büyük çevresel tehlikeyi yaratan asbest çeşitleri de bu başlık altında değerlendirilmektedir. Asbest, yapısal olarak ısı, kimyasal ajan, aşınma gibi koşullara dayanıklı lifli yapıdaki minerallerdir. Bu özellikleri nedeniyle inşaatın da içerisinde olduğu tekstil, kimya gibi pek çok endüstriyel alanda kullanılmaktadır (Güneş ve ark., 2017; T.C. Aile Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, 2019). 2010 yılı itibariyle zararlı etkileri nedeniyle ülkemizde asbest kullanımı yasaklanmıştır ancak bu yıldan önceki tarihlerde üretilen inşaat malzemelerinin çoğunlukla asbest barındırdığı bilinmektedir. Bu nedenle, depremin yıkıcı etkileriyle ortaya çıkan bina enkazlarında boru, çimento, kauçuk ürünler ve yalıtım malzemesi gibi atıkların her birinden asbest açığa çıkma olasılığı bulunmaktadır (Güneş ve ark., 2017). Asbestli atıkların yanı sıra, arsenikle işlem görmüş ahşap malzemeler ve organik kirleticiler gibi bazı kimyasal maddeler de potansiyel sağlık riskleri oluşturmaktadır. Ayrıca, meydana gelen depremler, kanalizasyon ve içme suyu düzenekleri gibi yer altında kilometrelerce boru hattından oluşan sistemlerin de hasar görmesine

neden olabilmektedir. Örneğin, içme suyu sistemlerinde, yer altındaki su borularında, depolama ya da işlem uygulanan tanklarda ve barajlarda deprem kaynaklı çatlama, kırılmalar oluşabilmekte, bu durumda içme sularının basınç kaybı nedeniyle konutlara ulaşamamasına ya da sızıntılar nedeniyle kontamine olup içme suyunun kirlenmesine neden olabilmektedir. Benzer şekilde, atık su arıtma tesisleri ve kanalizasyon sistemleri de deprem gibi afetlere oldukça savunmasız sistemlerdir. Yer altındaki kanalizasyon borularının kırılması, çatlaması ya da basınç sistemlerinde meydana gelen hasarlar, evlerde atık suların birikmesine, atık su arıtma tesisindeki işlem havuzlarının zarar görmesine ve bu atıkların toprağa, şebeke ve yüzey sularına karışmasına, dolayısı ile salgın hastalıkların tetiklenmesine neden olabilmektedir (Environmental Protection Agency (EPA), 2018).

**Geri dönüştürülebilir atıklar**, tüm konut türlerinin, bağımsız birimlerin ve araçların enkazında bulunabilecek her türlü atık arasından geri dönüşüme uygun olanları içermektedir. Geri dönüştürülebilir atıklar arasında plastikler, cam ve seramik atıklar, ambalajlar, kâğıt atıklar, bazı metal aksamlar, molozlar yer alabilmektedir. Bunların çoğuna yukarıda bahsi geçen atık türlerinde değinilmiş olsa da her atığın geri dönüşüme uygun olmadığı, bazılarının doğrudan bazılarının ise geri dönüşüm yoluyla bertaraf edilmesi gerektiği düşünülerek ayrı başlık altında vurgulanması gerekli görülmüştür. Bu bağlamda evsel plastik atık olarak değerlendirilen ev eşyaları ve her çeşit tüketim malzemesinin (kozmetik ve kişisel bakım ürünleri, temizlik malzemeleri, paketli gıdalar vb.) ambalajında bulunan plastikler de geri dönüştürülebilir atıklardır. Plastiklerin günlük yaşamda bu denli çok üründe kullanılması ve farklı koşullara dayanıklılıkları göz önüne alındığında, çevrede kalıcı kirlenici ajanlar olarak tespit edilmesi şaşırtıcı değildir (Duis ve Coors, 2016b; Michielssen ve ark., 2016). Biyolojik atık türlerine bakıldığında, sağlık kuruluşlarında da pek çok plastik/naylon içerikli malzeme kullanılmakta ve kullanılan ürünlerin çoğunluğunun ambalajı geri dönüştürülebilir içerikler barındırmaktadır. Plastik materyalleri içeren ürünlerin sayısı ve çeşitliliği ile plastiğin dayanıklılığı göz önünde bulundurulduğunda, enkazlardan geri dönüştürülebilecek malzemeler arasında beton atıklarından sonra en büyük hacimleri plastiğin işgal ettiği görülmektedir. Son olarak hasarlı binalardaki beton, çakıl, kırma taş, demir gibi içerikler ileride tekrar kullanılmak üzere geri dönüştürülebilir olan malzemelerdendir (Ulucan ve Alyamac, 2022). Böylelikle, depremler sonrasında yıkılan bağımsız birimlerin yenilenmesindeki maliyet düşürülmüş ve çevre kirliliğinin önlenmesine de katkı sağlanmış olacaktır, ancak burada bahsi geçen geri dönüştürülebilir inşaat malzemesinin asbest içirme riski göz ardı edilmemelidir.

**Tarımsal/Endüstriyel atıklar** arasında tarımsal faaliyet depolama alanlarından, kimyasal ham madde üretimi ve depolanmasının yapıldığı endüstriyel alanlardan çıkabilecek atıklar yer almaktadır. Detaylı bakıldığında, tarımsal faaliyetlerde kullanılan pestisit, gübre vb. ürünler etkisi kanıtlanmış halk sağlığı sorunlarına yol açma potansiyeli bulunan ve mutlaka ayrıştırılarak bertaraf edilmesi gereken içerikler arasında yer almaktadır. Pestisitler, vücutta biyobirikime neden olabildiği gibi, ağırlıklı olarak toprakta tutunabilen yapısı nedeniyle besin zincirine tarımsal aktiviteler yoluyla karışmaktadır. Akut veya kronik maruziyette, kalıcı sinir sistemi hasarları başta olmak üzere, pek çok rahatsızlığa neden

olabilmektedirler. Bu nedenle, deprem sırasında çevreye dökülmeleri, sızmaları ya da enkazdan ayrıştırılmamaları, bu maddelerin toprağa, havaya ve suya karışmak sureti ile bölgedeki canlılara ve ekosisteme uzun vadeli zararlar vermelerine sebep olmaktadır. Tarımsal alanlar dışında, fabrikalar, üretim ve depolama alanları da depremde zarar görebilir bağımsız birimlerdendir. Buralarda yer alabilecek; boya, mobilya üretiminde kullanılan her türlü kimyasal madde, uçucu ve uçucu olmayan bileşikler, yanıcı-parlayıcı ve korozyif maddeler, alev geciktiriciler, gıda ve böcek ilaçları gibi birçok ürün içeriğinde bulunan insan ve çevre sağlığına zararlı kimyasallar nedeniyle kapsamlı önlemler alınmasını gerektirmektedir (Kahn ve ark., 2020).

### 3. Atıkların Bertaraf Yöntemleri ve İlgili Yönetmelikler

Her ne kadar ülkemizde deprem ya da diğer afet durumlarında izlenecek bir afet atık yönetmeliği bulunmasa da, yürürlükte olan çeşitli atık yönetmelikleri afet durumlarında da geçerli olmaktadır. Herhangi bir afet durumunda, yürütücü/denetleyici organlar ve ilgili yönetmeliklerden sorumlu bakanlıklar ve/veya yetkili merciler, afet bölgesindeki kriz masaları veya yetkilendirilen kurum/kuruluşlar da sürece dâhil olabilmektedir. Yukarıda deprem sonrası açığa çıkan, çevre ve insan sağlığına kısa ve uzun vadede tehdit oluşturabilecek farklı atık tipleri örnekleriyle birlikte sunulmuştur. Bu doğrultuda, ülkemizde atık tiplerine göre uygulanması gereken bertaraf biçimleri ve izlenmesi gereken yönetmeliklere aşağıda yer verilmiştir.

Hem ülkemizde hem de diğer ülkelerde en sık kullanılan atık bertaraf yöntemleri; **yakma**, **kompostlama** ve **düzenli depolama** yöntemleridir (Alam ve ark., 2013). **Yakma**, katı atıkların hacmini azaltmak ve zararsızlaştırmak için atıkların yakılması işlemini ifade etmektedir. Hacim azaltma anlamında oldukça etkili olduğu, atıkları kül ve gaz formuna kadar küçülen ürünlere dönüştürdüğü için oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Öte yandan, yanma sırasında açığa çıkan ısı enerjisi, buhar veya elektrik enerjisine dönüştürülebilmekte, böylece atıklardan enerji üretmek için de faydalanılmaktadır. Ancak, enerji üretebilecek miktarda ve özellikte katı atık kullanmak önemlidir aksi halde maliyetli bir işlem olduğu için tercih edilmemektedir. Ayrıca, yanma işlemi sırasında açığa çıkan sera gazları bu yöntemin en büyük dezavantajlarından biridir. **Kompostlama** yönteminde ise, atıkların içerisinde yer alan organik maddeler aerobik ortamda biyokimyasal tepkimeler ile oksitlenmekte ve böylece bir çeşit humus elde edilmektedir. Bu işleme organik olmayan her türlü sentetik madde, plastik vb. materyal ayrıştırılarak başlanmalıdır, aksi halde proses zarar görmektedir. İşlem sonucunda elde edilen kompost, tarımsal faaliyetlerde aktif kullanılan bir ürün haline dönüşmekte, mikroorganizma etkinliğini arttırmakta ve böylece mahsulün verimi de artmaktadır. Yöntem enkazlardan çıkacak pek çok evsel organik içerikli atığın kalıntısız olarak bertaraf edilmesine ve dolaylı olarak geri dönüştürülmesine olanak sağladığı için oldukça tercih edilebilmektedir. En yaygın bertaraf yöntemlerinden bir diğeri ise **düzenli depolamadır**. Günümüzde pek çok geri dönüşüm teknolojisi olmasına karşın, bu yöntem, diğerlerine kıyasla maliyeti daha düşük olduğundan halen güncelliğini korumaktadır. Ayrıca, diğer tekniklerden bazılarında ürün olarak açığa çıkan kül vb. atıkların

depolanması için de kullanılmaktadır. Düzenli depolama alanları, evsel, biyolojik ve endüstriyel atıkların ayrı ayrı depolanabileceği alanlar olması itibariyle daha geniş atık tiplerine hitap etmekte, bu da yöntemin yaygınlığını arttırmaktadır. Ancak düzenli depolama sahaları yapılırken dikkat edilmesi gereken oldukça önemli hususlar bulunmaktadır. Örneğin, bu depolama alanlarının depolanacak atığın içeriğine uygun şekilde oluşacak atık sızıntı suları ve gazları için sızdırmaz yapılardan inşa edilmesi gerekmektedir. Oluşan bu sızıntı sularının da ayrı şekilde toplanarak kanalizasyon sistemine deşarj edilmesi ve oluşan gazların biyogaza dönüştürülerek değerlendirilmesi gibi hususlar düşünölmelidir. Bu alanlar, yerleşim yerlerinden uzakta ve atıkların taşınma koşulları düşünölmek üzere inşa edilmelidir (Babayemi ve ark., 2009; Alam ve ark., 2013; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018). Düzenli depolama tesisleri, yukarıda belirtilen kriterlere uygun yapılmadığı takdirde, göz ardı edilemeyecek seviyede su, hava ve toprak kirliliğine sebep olabilecek yapılardır, o nedenle sıkı denetime muhtaçlardır. Deprem atıklarında enkaz hacimleri oldukça büyük olacağından, açıklanan bu bertaraf yöntemlerine uygun olmayacak katı atıklar için mekanik ya da kimyasal işlemlerle hacim küçültme/sıkılaştırma işlemleri de uygulanabilmektedir.

Yukarıda atık türleri başlığında ele alınan, yiyecekler, ilaçlar, temizlik malzemeleri, kişisel bakım-kozmetik ürünleri, tarımsal/endüstriyel ürünlerin imalat, tedarik ve depolama kaynaklı ortaya çıkan her türlü atık, Resmî Gazete’de yayınlanan 02.04.2015 tarihli ve 29314 sayılı **“Atık Yönetimi Yönetmeliği”** mevzuatında kodlarıyla birlikte detaylı şekilde ele alınmıştır (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından denetimi gerçekleştirilen bu mevzuat kapsamında, bu atıkların risk dereceleri, bertaraf yöntemleri ve geri kazanım işlemleri de ayrıca tanımlanmıştır. Atık Yönetimi Yönetmeliği’nin ekinde (Ek-4) bulunan atık listesindeki her bir atığa karşılık gelen atık kodunun hiyerarşik bir sistemle belirlenmesi gerektiğine değinilmiş, atığın tehlikelilik durumunun Ek-3/B’de yer alan tehlikelilik özelliklerine ve konsantrasyonlarına göre kodlanması istenmiş, Ek-2/A’da bertaraf yöntemlerine, Ek-2/B’de geri kazanım işlemlerine, Ek-3/A’da tehlikeli kabul edilen atıkların, patlayıcı, oksitleyici, alevlenir, tahriş edici, zararlı, toksik, kanserojen, korozif, enfekte edici, mutajenik, ekotoksik vb. özelliklerine göre sınıflandırması yapılmıştır. Yönetmelik, atık bertarafı ve geri dönüşümü süresince ilgili bakanlığa, il müdürlüklerine, il ve ilçe belediyelerine ve atık üreticilerine bazı görev, yetki ve sorumluluklar tanımlamış olsa da afet durumunda açığa çıkan atıkların yönetiminde atık üreticisinin yükümlülüklerinden söz etmek mümkün olmayacaktır.

Deprem sırasında ortaya çıkan biyolojik atıkların ise Resmî Gazete’de yayınlanan 25.01.2017 tarihli ve 29959 sayılı **“Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”** kapsamında değerlendirilip bertaraf edilmesi ve böylece diğer atıklar ile karıştırılmaması oldukça önemlidir (Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 2017). İlgili yönetmelik, deprem sırasında ortaya çıkabilecek ve tıbbi atık kapsamına giren tüm atık türleri için ayrıştırma, toplama, taşıma, işleme, geçici-kalıcı depolama işlemlerine, yakma, gömme, sterilizasyon vb. yöntemlere değinmenin yanı sıra, depolama alanlarının ve ekipmanın özelliklerini de belirtmektedir. Tıbbi atık kapsamında değerlendirilen atıkların yakılarak bertaraf edilmesi ve afet



durumlarında çevreye zarar vermemesi için ilgili valilik onayı ile gerekli tedbirlerin alınması (yerleşim bölgelerinden uzak alanlarda yapılması vb.) gerektiği, yukarıda bahsi geçen mevzuatın 20. maddesinde belirtilmiştir (Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 2017). Ayrıca **Dünya Sağlık Örgütü'nün** (WHO) tıbbi atıkların bertarafıyla ilgili küresel düzeyde yayınladığı bir kılavuz da bulunmaktadır (World Health Organization, 2018). İlgili kılavuzda sadece bu tip atıkların uygun şekilde bertaraf edilmesine değil, bertaraf sırasında kullanılan depolama alanlarının bu atık tiplerine uygun koşullarda yapılandırılmış olmasının çevre ve insan sağlığı üzerindeki olası risklerini önlemek için önemine de değinilmektedir. Ek olarak, tıbbi atıkların kimyasal ajanlarla dezenfeksiyon işleminin gerçekleştirildiği bertaraf yöntemlerinde, bu kimyasal atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde bertarafı da benzer şekilde önem taşımaktadır. Bütün bu bertaraf önlemlerine uyulmadığı takdirde, Hepatit grubunun başta yer aldığı pek çok bulaşıcı hastalığın yayılması, patojenlerin su kaynaklarını ve toprağı kontamine etmesi kaçınılmazdır (World Health Organization, 2018).

Yalnızca deprem gibi doğal afetlerde değil, günümüz teknolojisinin bir getirisi olarak tüm durumlarda elektronik atıklar oldukça önemli atık tipleridir. 2020 yılında yayınlanan Birleşmiş Milletler Küresel E-Atık İzleme Raporuna göre, 2019 yılında Dünya çapında yaklaşık 54 milyon metrik ton elektronik atık üretilmiştir (Forti ve ark., 2020). Günümüzde pek çok ülkede evsel katı atıklardan bile daha hızlı büyüyen ve büyüme miktarı ile küresel düzeyde tehlikeli seviyelere ulaşan elektronik atıklar, içerisinde bulundukları plastik ve metal bileşenleri nedeniyle ekosistemler için bir tehdit oluşturmaktadırlar (Rajarao ve ark., 2014; Huang ve ark., 2016; Soetrisno ve Delgado-Saborit, 2020). Genel olarak bir elektronik atığın geri dönüşümü diğer dönüştürülebilir materyalleri de kapsayan beş kategoriye ayrılmaktadır; plastikler, demir içeren metaller, demir içermeyen metaller, değerli metaller ve diğer bileşenler (Kabir ve ark., 2015; Soetrisno ve Delgado-Saborit, 2020). Elektronik atıklar bütüncül olarak düşünüldüklerinde, yarılanma ömürleri oldukça uzun olan plastikleri ve ağır metalleri de kapsadıkları için, doğaya doğrudan salınması en tehlikeli atık gruplarının başında gelmektedirler. Ülkemizde ise Avrupa Birliği'nin 2012/19/EC sayılı "**Atık Elektrikli ve Elektronik Eşya Direktifi**"ne paralel şekilde bir yönetmelik benimsenmiş, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı denetimiyle bu atıkların geri dönüştürme sorumluluğu üretici firmalara verilmiştir (Resmî Gazete 26.12.2022 tarihli ve 32055 sayılı Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Yönetimi Hakkında Yönetmelik) (Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Yönetimi Hakkında Yönetmelik, 2022). Ancak doğal afetlerde ortaya çıkan elektronik atıkların bertaraf edilmesinde üreticinin sorumluluklarından söz etmek mümkün olmayacağı için, ilgili yasal kurum ve kuruluşların bu süreci yönetme ve denetleme hususunda hassasiyet göstermeleri gerekmektedir.

Afet sonrası oluşacak hasarlı araç enkazlarının bertarafına yönelik ayrı bir yönetmeliğe rastlanmasa da Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından Resmî Gazete'de yayınlanan 30.12.2009 tarihli ve 27448 sayılı "**Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik**" bu işleve sahip kapsamlı bertaraf teknikleri bulundurmaktadır (Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik, 2009).

Deprem sonrası oluşan hasarlı bina ve alt yapı enkazları ise Resmî Gazete’de yayınlanan 18.03.2004 tarihli ve 25406 sayılı “*Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği*”ne göre gerçekleştirilmektedir. Bu tip atıklar aynı zamanda belirli ölçüde geri dönüştürülebilir atıklar olup, deprem bölgesinde yeniden yapılacak binaların ham maddesi olarak kullanılmak suretiyle maliyetin düşmesini sağlayabilmektedir (Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliğine, 2004).

Dünya genelinde ise uluslararası kurumların yayınladığı tavsiye niteliği taşıyan kılavuzlar bulunmakla birlikte, en kabul görmüş ve kapsamlı olanı *Birleşmiş Milletler İnsani İşler Koordinasyon Ofisi Çevresel Acil Durumlar Bölümü*’nün düzenlediği kılavuzdur (United Nations Office For The Coordination of Humanitarian Affairs Section, 2013). Burada, deprem sonrasında kısa, orta ve uzun vadeli müdahale ihtiyaçları, atıkların toksisite sınıflandırması ve bertaraf yöntemleri sistematik bir şekilde ele alınmıştır. Ayrıca ülkelerin kendi işleyişlerine uyarlayabilecekleri örnek formlar da bulunmaktadır. Bu kılavuzun dışında ülkeler, kendi yaşadıkları deprem tecrübeleri doğrultusunda ulusal kılavuzlar ve yönetmelikler benimsemişlerdir. Bunlardan en kapsamlısı Japonya’nın hazırladığı *Asya-Pasifik Afet Atıkları Yönergesi*’dir. Bu yönergede, yakın geçmişte Asya-Pasifik’te meydana gelen tüm afetlerde ortaya çıkan atık hacimleri, türleri ve toksisiteleri kapsamlı olarak belirlenmiş ve vaka takdimi yöntemiyle incelenmiştir. Buradan çıkarılan dersler ile bir afet yönetim şeması oluşturulmuş ve Japonya’da hayata geçirilmiştir (OCHA; UNEP, 2018).

#### 4. Sonuç

Meydana gelen her deprem gerek yeri ve zamanı gerekse büyüklüğü ve etkilediği popülasyon bakımından kendine özgüdür. Deprem anında yetkili kurumlar ve uzmanlar, ortaya çıkan atık miktarını tespit etmeli, sınıflandırmalı, geçici depolama alanlarında toplamasını organize etmeli ve uygun bertaraf veya geri dönüşüm süreçlerini planlamalıdır. Ancak devam etmekte olan arama kurtarma çalışmaları sırasında bu işlemleri hızla ve etkin bir şekilde gerçekleştirmek mümkün olmayacağından, ideal olan, bu tür senaryoların afet öncesinde planlanmış olması ve bu görevleri yerine getirmek için uygun planlamaların ve yönergelerin önceden hazırlanmasıdır. Görevli kuruluş ve yapıların, sivil toplum örgütlerinin ve gönüllülerin atık yönetimi sürecindeki rolleri ve sorumlulukları konusunda, deprem sonrasında yaşanacak belirsizliklerin önüne geçmek için, önceden kararlaştırıp ilgili kişilerin (sivil halk, gönüllüler, bu kurum ve kuruluşlarda çalışan personel) eğitilmesi sağlanmalı ve koordinasyon planı hazır olmalıdır. Afet uyarısı anında ve sonrasında yer alan tüm faaliyetlerde (arama kurtarma çalışmaları, kurbanların kimliklendirme çalışmaları, tıbbi müdahaleler, yiyecek-barınma vb. ihtiyaçlar) çalışanların herhangi bir toksik maddeye maruz kalmaması için gerekli kişisel koruyucu ekipmanların hazır bulundurulması da hayati konulardan biridir. Çalışmalar sırasında hem çalışmayı gerçekleştiren arama-kurtarma vb. ekipleri hem de depremzedeleri, oluşacak atıkların yaratacağı kirliliğe maruz bırakmayacak şekilde atık ayıklama, depolama ve bertaraf çalışmalarını

gerçekleştirmek, depremlere hazırlık aşamasında, deprem sırasında ve sonrasında alınması önerilen aksiyonlardır.

2011 yılında meydana gelen 9.0 şiddetindeki büyük Japonya depreminde 31 milyon ton atık ortaya çıktığı tespit edilmiş ve bu miktarın bölgedeki bazı şehirlerin ancak 95 yılda üreteceği kentsel atık kadar olduğu hesaplanmıştır (OCHA; UNEP, 2018). Dolayısıyla, deprem kaynaklı açığa çıkan atıkların boyutları umulmadık seviyeleri bulabilmekte ve bertaraf işlemlerinin koordinasyonu da bu duruma paralel şekilde zorlaşmaktadır. Bu doğrultuda genellikle benimsenen, afet sonrası tüm kararları tek bir merkezden yürütme yaklaşımı, kurumlar arasında koordinasyonu kolaylaştırma, politika ve karar alma süreçlerini hızlandırma, harcamaların kontrolünü ve etkin yönetimini sağlama gibi avantajlara sahip olsa da; ulusal, bölgesel ve yerel yöneticilerin koordinasyonunu her zaman kolaylaştırmayabilir. Yerel idarecilerin sahayı, bölgenin imkânlarını, verilen kararların uygulanabilirliğini daha iyi ölçme ve değerlendirme yetisinin olabileceği ve bu öngörülerin merkezi idarecilerden kimi zaman daha gerçekçi olabileceği de sürecin doğru işlenmesi açısından unutulmamalıdır. Dünyadaki örneklerine bakıldığında, acil durum yönetiminin ve sonrasındaki koordinasyonun sağlanmasının tek bir doğru yöntemi olmayıp; ülkeye, ülke içi yapılanmalara, bütçeye ve yaşanan olayın boyutuna bağlı olarak değişmektedir ve her ülkenin kendine has bir yöntem ile afetlere hazırlanmasının en etkili yol olduğu görülmektedir. Ancak bütün bunlardan bağımsız olarak, ortak olan tek yaklaşım deprem öncesinde bir atık yönetim planlamasının yapılması gerektiği ve deprem sonrasında da bu çerçevede hızla ve dikkatle çalışmaların yürütülmesinin insan, canlı ve çevre sağlığı açısından oldukça önemli olduğudur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

### **Kaynakça**

Agamuthu P., Fauziah SH. Pharmaceuticals in the environment, a prescription for disaster? Waste Management and Research 2011; 29(4): 349-350.

Alam P., Ahmade K. Impact of solid waste on health and the environment. International Journal of Sustainable Development and Green Economics 2013; 2(1): 165-168.

Asari M., Sakai S., Yoshioka T., Tojo Y., Tasaki T., Takigami H., Watanabe K. Strategy for separation and treatment of disaster waste: A manual for earthquake and tsunami disaster waste management in Japan. Journal of Material Cycles and Waste Management 2013; 15(3): 290-299.

- Babayemi JO., Dauda KT. Evaluation of solid waste generation, categories and disposal options in developing countries: a case study of Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* 2009; 13(3): 83-88.
- Bashir SM., Kimiko S., Mak CW., Fang JKH., Gonçaves D. Personal care and cosmetic products as a potential source of environmental contamination by microplastics in a densely populated Asian city. *Frontiers in Marine Science* 2021; 8: 604.
- Bondi CAM. Applying the precautionary principle to consumer household cleaning product development. *Journal of Cleaner Production* 2011; 19(5): 429-437.
- Brown C. Waste management following earthquake disaster. In: Beer, M., Kougioumtzoglou, I., Patelli, E., Au, IK. (eds) *Encyclopedia of Earthquake Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer 2014; 1-16.
- Čelić M., Škrbić BD., Insa S., Živančev J., Gros M., Petrović M. Occurrence and assessment of environmental risks of endocrine disrupting compounds in drinking, surface and wastewaters in Serbia. *Environmental Pollution* 2020; 262: 114344.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Eğitim Daire Başkanlığı 2018. Atıklar. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/bolu/icerikler/atiklar-20180222082452.pdf>. Erişim tarihi: 08.07.2023
- Cheung PK., Fok L. Characterisation of plastic microbeads in facial scrubs and their estimated emissions in Mainland China. *Water Research* 2017; 122: 53-61.
- Croera C., Batke M., Corsini E., FitzGerald RE., Gott D., Ntzani E., Gundert-Remy U., Halldorsson T., Schroeder H., Scanziani E., Steffensen IL, Ulbrich B, Waalkens-Berendsen I., Wölfle D., Barizzone F., Barrucci F., Van Haver E., Castoldi AF., Van Loveren H. Testing the study appraisal methodology from the 2017 Bisphenol A (BPA) hazard assessment protocol. *EFSA Supporting Publications* 2019; 16(11): 1-100.
- Çakiroğullari GÇ., Seçer S. Poliklorlu bifeniller ve sucul yaşam. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi* 2011; 3(1): 73-87.
- Daughton CG. Drugs and the environment: stewardship and sustainability. National Exposure Research Laboratory, Environmental Sciences Division, US EPA, report NERL-LV-ESD 10/081, EPA/600/R-10/106, 12 September 2010: 1-196, Las Vegas, Nevada.
- Duis K., Coors A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe* 2016; 28(1): 1-25.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2018. Earthquake resilience guide for water and wastewater utilities. [https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-02/documents/180112\\_earthquakeresiliencegide.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-02/documents/180112_earthquakeresiliencegide.pdf). Erişim Tarihi: 06.03.2023.
- Fedoruk MJ., Bronstein R., Kerger BD. Ammonia exposure and hazard assessment for selected household cleaning product uses. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 2005; 15: 534-544.
- Forti V., Balde CP., Kuehr R., Bel G. The global e-waste monitor 2020: Quantities, flows, and the circular economy potential. United Nations University/United Nations Institute for Training and Research,

- International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association, 2020: 1-120, Bonn, Geneva and Rotterdam.
- Genc Kuloglu M., Mercan S., Yayla M., Bulbul Tekin T., Adioren C., Simsek SZ., Ascioglu F. Monitoring geographical differences in illicit drugs, alcohol, and tobacco consumption via wastewater-based epidemiology: six major cities in Turkey. *Science of the Total Environment* 2021; 797: 149156.
- Güneş M., Güneş A., İlbeyli N., Kaya B. Asbest maruziyeti ve etkileri asbest mineralojisi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 2017; 10(1): 1-5.
- Hetzel J., Hallaç Ö. Türkiye'deki poliklorlu bifenillerin (PCBs) çevreyle uyumlu yönetimi için rehber. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve UNIDO 2017.
- Huang CL., Bao LJ., Luo P., Wang ZY., Li SM., Zeng EY. Potential health risk for residents around a typical e-waste recycling zone via inhalation of size-fractionated particle-bound heavy metals. *Journal of Hazardous Materials* 2016; 317: 449-456.
- İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa. 2023. 6 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi Ön İnceleme Raporu. [https://cdn.iuc.edu.tr/FileHandler2.ashx?f=6-subat-2023-pazarcik-\(kahramanmaras\)-depremi-on-inceleme-raporu\\_638114540579749734.pdf](https://cdn.iuc.edu.tr/FileHandler2.ashx?f=6-subat-2023-pazarcik-(kahramanmaras)-depremi-on-inceleme-raporu_638114540579749734.pdf). Erişim Tarihi: 06.03.2023.
- Kabir MU., Sobhan MA., Khan MKA., Rouf MAK. A potential electrical and electronic debris management model and ecological impact and awareness issues in Bangladesh. *Journal of the National University Journal of Science* 2015; 2(1): 1-10.
- Kahn LG., Philippat C., Nakayama SF., Slama R., Trasande L. Endocrine-disrupting chemicals: implications for human health. *Lancet Diabetes Endocrinol* 2020; 8(8): 703-718.
- Kodavanti P., Loganathan B. PCBs, PBBs and Brominated Flame Retardants. In: Gupta RC. (ed.) *Biomarkers in Toxicology*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier B.V. 2014; 433-450.
- Lim SR., Kang D., Ogunseitun OA., Schoenung JM. Potential environmental impacts from the metals in incandescent, compact fluorescent lamp (CFL), and light-emitting diode (LED) bulbs. *Environmental Science and Technology* 2013; 47(2): 1040-1047.
- Michielssen MR., Michielssen ER., Ni J., Duhaime MB. Fate of microplastics and other small anthropogenic litter (SAL) in wastewater treatment plants depends on unit processes employed. *Environmental Science: Water Research and Technology* 2014; 2: 1064.
- Modasiya MK., Patel VM. Safe medication disposal: Need to sensitize undergraduate students. *International Journal of Pharmacy and Life Sciences* 2012; 3(3): 1490-1497.
- Ocha; Unep. Disaster waste management guideline for Asia and the Pacific 2018; 5: 1-22.
- Odabasi M., Elbir T., Dumanoglu Y., Sofuoglu SC. Halogenated volatile organic compounds in chlorine-bleach-containing household products and implications for their use. *Atmospheric Environment* 2014; 92: 376-383.
- Rajaroo R., Sahajwalla V., Cayumil R., Park M., Khanna R. Novel approach for processing hazardous electronic waste. *Procedia Environmental Sciences* 2014; 21: 33-41.

- Resmî Gazete (26.12.2022 tarihli ve 32055 sayılı). Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Yönetimi Hakkında Yönetmelik.
- Resmî Gazete (02.04.2015 tarihli ve 29314 sayılı). Atık Yönetimi Yönetmeliği.
- Resmî Gazete (18.03.2004 tarihli ve 25406 sayılı). Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliğine.
- Resmî Gazete (30.12.2009 tarihli ve 27448 sayılı). Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik.
- Resmî Gazete (25.01.2017 tarihli ve 29959 sayılı). Tıbbi atıkların kontrolü yönetmeliği.
- Soetrisno FN., Delgado-Saborit JM. Chronic exposure to heavy metals from informal e-waste recycling plants and children's attention, executive function and academic performance. *Science of the Total Environment* 2020; 717: 137099.
- Şengör AMC., Tüysüz O., İmren C., Sakınç M., Eyidoğan H., Görür N., Le Pichon X., Rangin C. The north anatolian fault: a new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 2005; 33: 37-112.
- T.C. Aile Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü. Asbestle çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği uygulama rehberi. 2019.
- The European Chemical Agency (ECHA). Substance information. Erişim Tarihi: 12.03.2023. <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.028.790>.
- U.S. Department of Health and Human, Service. 2021. The agency for toxic substances and disease registry the PHS. Toxicological profile for perfluoroalkyls. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200.pdf>. Erişim Tarihi: 10.03.2023.
- U.S. EPA. Documentation for greenhouse gas emission and energy factors used in the waste reduction model-management practices chapters. [https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-12/documents/warm\\_background\\_v15\\_10-29-2020.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-12/documents/warm_background_v15_10-29-2020.pdf). Erişim Tarihi: 15.03.2023.
- Ulucan M., Alyamac KE. A holistic assessment of the use of emerging recycled concrete aggregates after a destructive earthquake: Mechanical, economic, and environmental. *Waste Management* 2022; 146: 53-65.
- United Nations Office for The Coordination of Humanitarian Affairs Section EP. Disaster waste management guidelines. <https://www.unocha.org/sites/unocha/files/DWMSG.pdf>. Erişim Tarihi: 15.03.2023.
- World Health Organization. Safe management of wastes from health-care activities. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241548564>. 2018. Erişim Tarihi: 15.03.2023.

## İngilizce Metinlerin Sınıflandırması İçin Makine Öğrenimi Kullanımı (A mini-review)

Somayyeh SHABESTANI<sup>1\*</sup>, Merve GEÇİKLİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Foreign Languages Teaching English Language Teaching, Faculty of Education, Ataturk University, Erzurum 25240, Türkiye

<sup>2</sup>Department of Foreign Languages Teaching English Language Teaching, Faculty of Education, Ataturk University, Erzurum 25240, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-6773-869X>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-8619-5026>

\*Sorumlu yazar: somayyeh.shabestani20@ogr.atauni.edu.tr

### Derleme

### ÖZ

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 03.03.2023

Kabul tarihi:06.06.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Sınıflandırma

İngilizce metinler

Makine öğrenimi

Metinden verilerin elde edilmesi ve bu verilerden bilgi elde etmek için metin sınıflandırma sisteminin kullanılması, metnin içeriğinin anlamlandırmasında okuyucunun yorum gücünü geliştirir. Bu bağlamda, metinlerin zorluk düzeylerine göre sınıflandırılmasında, teknolojik gelişmeler ışığında, önemli gelişmeler yaşanmış ve yeni sistemler ortaya çıkmıştır. İngiliz dilbilimi temelli çalışmalarda da temel odak noktası ve en yaygın problemlerden biri, metinleri zorluk düzeylerine göre sınıflandırmaktır. Buradan hareketle, bu makalenin temel amacı günümüzde İngilizce metin sınıflandırmasında en çok kullanılan yeni sistemlerden birini tanıtmaktır. Bu bağlamda, çalışmanın temel odağı İngilizce metinlerin zorluk/okunabilirlik açısından sınıflandırılmasında kullanılan makina öğrenim algoritmaları ile ilgili bir mini inceleme yapmaktır. Ayrıca, bu algoritmaların güçlü ve zayıf yönleri de ele alınacaktır.

## Machine Learning Use For English Texts' Classification (A mini-review)

### Review Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 03.03.2023

Accepted: 06.06.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Classification

English texts

Machine learning

Using classification to retrieve information and extract data from text increases the reader's understanding of the content. In this regard, thanks to technological advances, text classification systems have been updated and new systems have emerged. The main focus and one of the common problems observed in English Linguistics studies is to classify texts to the readability level. Thus, the main aim of this study is to shed light on one of the new systems commonly used today in textual classification of English texts. In this regard, the main focus of the paper is to provide a mini review of the sort of machine learning algorithms used in classifying English text regarding difficulty/readability level. Besides, weak and strong sides of these algorithms will also be mentioned in detail.

**To Cite:** Shabestani S., Geçikli M. Machine Learning Use For English Texts' Classification (A mini-review). Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 414-423.

## **1. Introduction**

Text classification is also known as text tagging or text categorization and is considered an "interdisciplinary" issue expertise in the following fields: library science, computer science, and information science (Kavitha and Prabhavathy, 2021). Text classification aims to systematically classify or categorize text data into specific and predetermined groups (Wu et al., 2014; Wahdan et al., 2020). Text classification methods can analyze text data automatically by using natural language processing algorithms and create predefined labels, classes, or classifications based on the content of the data. The concept of text classification was first expressed in the early sixties (Xia and Du, 2011), and focused on indexing scientific journals using vocabulary. It is important to classify texts gathered from a broad range of data sources (such as social networks, websites, and published online research papers) in order to better understand them. (Altnel and Ganiz, 2018; Liu et al., 2018). Manual classification is difficult and time-consuming but inaccurate (Wang et al., 2018; Yu et al., 2019). Advanced methods have been developed to solve these problems and make text classification more reliable. Using intelligent algorithms, automatic text classification (such as machine learning and natural language processing) can be performed more accurately, quickly, and cost-effectively. (Hirway et al., 2022). Over the past 20 years, digital texts have been rapidly created, making it difficult to find contextual documents that require a deeper understanding of machine learning techniques. (Kowsari et al., 2019). Text classification methods include searching for similar documents, classifying them according to their topics, and creating new documents. Although many educational applications of text mining have been published recently, we have not found any paper examining them in the English linguistics field. Accordingly, this work presents an overview of the current status of the classified text into different categories in the English linguistics field.

## **2. Text classification**

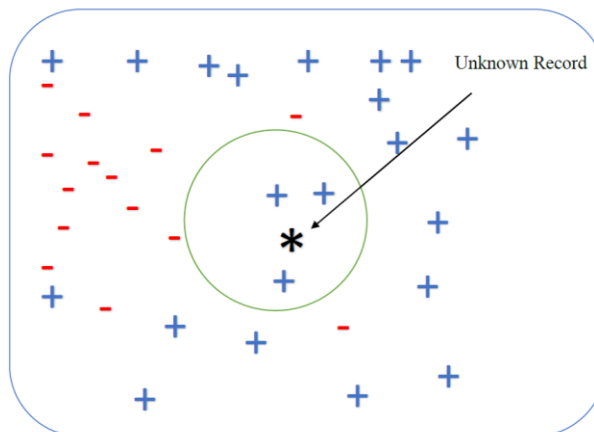
To improve text classification accuracy, in a study by Ghareb and others (2016) an updated feature was presented selection method based on a genetic algorithm. In order to deal with high dimensions of the space feature and improve the performance of classification simultaneously, the following method combines the selection of features filter techniques with the improvement of the genetic algorithm. The method of extracting keywords from texts and classifying them in a classification of texts is the focus of Onan et al. (2016) study. Term identification is crucial to analytics, natural language processing, and information retrieval. By analyzing keywords, we are able to access compressed text documents. A compact representation of documents can include automated indexing, intelligent summarization, auto classification, categorization, and clarifying techniques. A study by Shafiabady et al. (2016) found that unsupervised clustering using support vector machines can be used to classify text for the training phase of text classification algorithms, many tagging and management tasks must be completed by humans. The use of expert systems is essential in all cases except when dealing with textual documents, since manually classifying and tagging large numbers of documents can be both quite time-consuming and



intellectually exhausting. Moreover, some new fields may not know how to organize and summarize different classes, so an unsupervised training scheme is required for automatic clustering data. Elghazel et al. (2016) have investigated the classification of texts using multiple labeling and have concluded that a document can belong to several classifications at the same time (e.g., viruses, The health field, athletics, and the Games of the Olympics), and textual analysis Offers many possibilities to develop new multi-label learning methods, especially for text data. Uysal (2016) developed an improved feature selection scheme for text classification, and filter-based feature selection methods are preferred for text classification due to their effectiveness. The combined feature selection scheme assigns scores to each feature based on their discriminating power and then sorts them descendingly. A group of elements is then improved by adding  $N$ - to them, where  $N$  is an empirical number. This paper presents the final step in the joint feature selection scheme to refine the combined set of features by introducing an improved general feature selection scheme (IGFSS). Using fuzzy evolving grammar for classifying crime texts, Scharf and Martin (2015) define analysis as the activity of identifying useful information in natural language texts. The solution to this general problem is machine learning-based methods. This is a crucial criterion for text classification. A recent article by Zhang et al. (2016) explored sentiment prediction using particle swarm optimization and feature selection search in an attempt to supply a human-understandable representation. Using particle clustering-based factor extraction in medical analysis and forecasting emotions into textual documents as a machine learning technique to gain insights from unstructured texts has gained new popularity in the healthcare industry in recent years. A new learning class built on a resource allocation-based learning network (SLRAN) for text classification is presented by Song et al. (2015). This study examined the utilization of learning-base network resources for automatic text classification. Based on the progress of learning, SLRAN is divided into initial and enhanced learning sections. As Thomas and Resmipriya (2016) explored the effect of text classification with a clustering scheme, this article examines how to achieve better performance using a classification method based on similarity and efficiency criteria. An additional step to classifying and defining text collection components is semi-supervised clustering. Labeled texts are classified to identify text clusters and unlabeled texts that match centers. The categories of each text cluster are read with the labels of texts in it. The text clusters are then used to generate the model for classification and the next steps for text classification. The rule-based approach organizes texts into organized groups by using linguistic rules to analyze contextual sentiment (polarity) (Neviarouskaya et al., 2011; Shahi and Sitaula, 2021). In spite of this, there is little information about text classification. This study presents primary methods for the classification of the text. Several popular text classifiers are discussed next, Nearest Neighbor (NN), Naive Bayes (NB), Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT), and Neural Networks are some of them.

### 3. Nearest Neighbor method

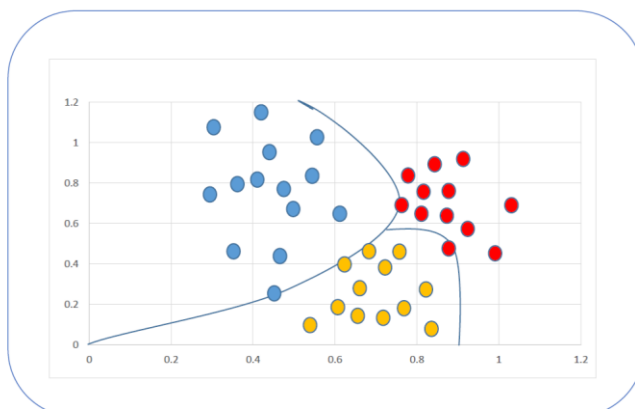
In the nearest neighbor method,  $k$  records are selected from the set of training records closest to the test record. The test record category is determined by the category's superiority or label corresponding to the test record. This method selects the category that has the most records in the selected neighborhood for that category. Therefore, the category that is most frequently observed among all the categories and the nearest neighbors is considered a new record.



Its high computational cost is a major drawback of the NN method, even though it is widely used in many real-world applications. A NN method uses lazy learning and finds the  $k$  nearest neighbors every time an object is given based on its  $k$  nearest neighbors.

### 4. Naïve Bayes Approach

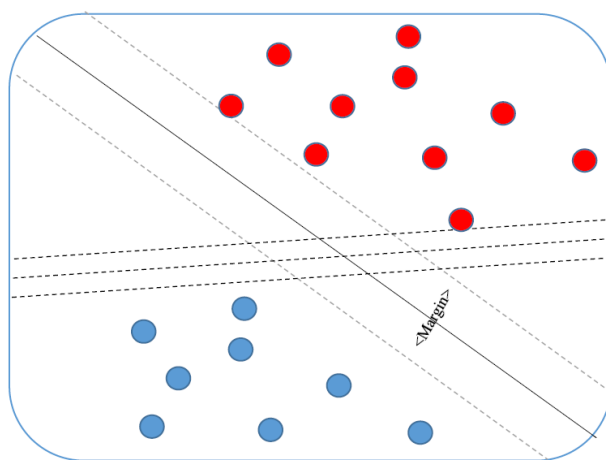
Naive Bayes is another classification method used in text classification. It is a simple probabilistic classifier with a learning step that estimates the probability of occurrence and is used to classify the newly created sample (Harahap et al., 2018). Ordinarily, the supposition accepted by NB classifiers is that particular feature's value and any other feature is independent. Generally, each word within a document has an independent probability of being discovered of the presence of other words within it (Deng et al., 2019).



A study by Kim et al. (2006) found that NB classifiers have two drawbacks: they have a rough estimation of parameters, as well as a bias against classes with a small number of training documents.

## 5. Method based on Support Vector Machines (SVM)

Recently, support vector machine algorithms have received extensive attention for text classification (Rustam and Yaurita, 2018; Park et al., 2020). Vapnik et al. first proposed this algorithm in 1992 (Boser et al., 1992), establishing the statistical theory of learning (Wan et al., 2012). General properties of support vector machines are 1) Maximizing generalization in a classifier, 2) Finding the global optimum for the cost function, 3) An automatic algorithm for determining the optimal classifier structure and topology, and 4) Using the Hilbert space and the inner product to model nonlinear discriminant

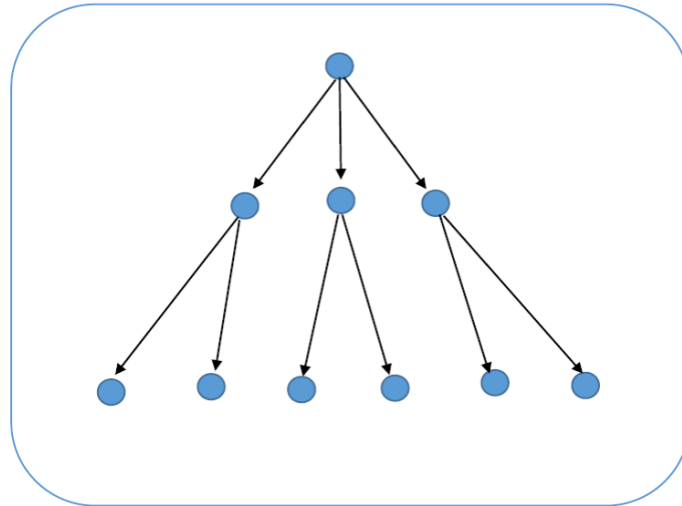


functions.

A SVM approach in the learning phase aims to maximize the minimum distance between categories by choosing the decision boundary. Noise conditions in practicing this kind of choice can be tolerated. This border selection method is based on support vectors (Cervantes et al., 2020). This type of border selection is done based on points called support vectors.

## 6. Decision Tree methods

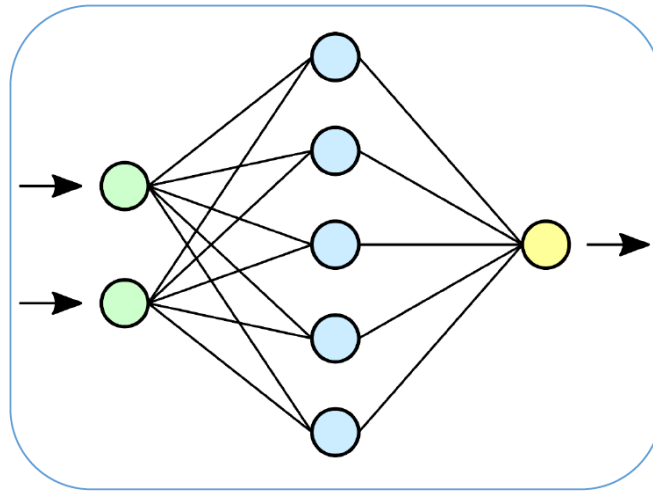
Decision trees are built using a divide and conquer strategy. As an example, we have a training set of tagged documents to split. The word  $t_i$  should be chosen as a criterion for partitioning the training set. A term is selected, then  $M$  is divided into two subsets based on the term selected. The subset  $M_{i+}$  contains documents that contain  $M$ , the subset  $M_{i-}$  contains documents that do not contain  $M$ . Repeated processes for  $M_{i+}$  and  $M_{i-}$  are followed until all the documents within a subset have the same class (Brunello et al., 2018; Neelakandan and Paulraj, 2020).



A decision tree is a standard tool in data mining (Nourani et al., 2019). These algorithms are fast and scalable in terms of variables and training sets. However, their reliance on a small number of terms makes them challenging to use for text mining. A boosting method, for instance, uses multiple complementary decision trees to reduce error better than a decision tree method (Thangaraj et al., 2018; Cai et al., 2019).

## 7. Neural Networks Methods

In response to these difficulties, experts have developed more advanced mechanisms for text classification based on traditional formulas. Also with the advancement of information and communication technologies, machine learning algorithms, known as data-based intelligent software systems (As published by Li et al. in 2018; Basiri and colleagues., 2020), have emerged. Classification of text by machine learning, past observations are used to make classifications instead of manually crafting rules. The machine learning algorithm is capable of learning the relationships between text pieces by using pre-labeled examples as training data. It can also predict which output (tags) is expected for which input (text). Texts are classified according to a predetermined category or classification called a tag. Feature extraction is the initial step in training a machine learning classifier, which converts text into numerical vectors. Among the most commonly used feature extraction methods is the bag of words approach, in which a vector represents a word's frequency within a dictionary.



## 8. Conclusion

A valid and reliable definition of sentence complexity has been developed in recent years due to further developments in the index-based methods driven by data (machine-learning-based). In addition, this definition takes into account complex features such as the frequency of words, lexical meaning, morphology of the text, and parsing depth. The sentence complexity is calculated based on SVM. The system categorizes texts based on lexical, syntactic, and morpheme features. As natural language processing techniques and machine learning algorithms gain popularity, researchers can refine model algorithms to measure text readability with more flexibility.

## Disputes of Interest

There is no conflict of interest between the authors. The manuscript was submitted without a conflict of interest, and all authors approved its publication.

## Authorship Contributions

S.S. initiated the project idea. S.S. and M.G. contributed to the idea, design, and execution of the study. S.S. drafted and finalized the manuscript.

## References

- Altınel B., Ganiz MC. Semantic text classification: A survey of past and recent advances. *Information Processing and Management* 2018; 54(6): 1129-1153.
- Basiri ME., Abdar M., Cifci MA., Nemati S., Acharya UR. A novel method for sentiment classification of drug reviews using fusion of deep and machine learning techniques. *Knowledge-Based Systems* 2020; 198: 105949.

- Boser BE., Guyon IM., Vapnik VN. A training algorithm for optimal margin classifiers. In Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory 1992; 144-152.
- Brunello A., Marzano E., Montanari A., Sciavicco G. J48S: A sequence classification approach to text analysis based on decision trees. In International Conference on Information and Software Technologies 2018; 240-256, Springer, Cham.
- Cai L., Gu J., Ma J., Jin Z. Probabilistic wind power forecasting approach via instance-based transfer learning embedded gradient boosting decision trees. *Energies* 2019; 12(1): 159.
- Cervantes J., Garcia-Lamont F., Rodríguez-Mazahua L., Lopez A. A comprehensive survey on support vector machine classification: Applications, challenges and trends. *Neurocomputing* 2020; 408: 189-215.
- Deng X., Li Y., Weng J., Zhang J. Feature selection for text classification: A review. *Multimedia Tools and Applications* 2019; 78(3): 3797-3816.
- Elghazel H., Aussem A., Gharroudi O., Saadaoui W. Ensemble multi-label text categorization based on rotation forest and latent semantic indexing. *Expert Systems with Applications* 2016; 57: 1-11.
- Ghareb AS., Bakar AA., Hamdan AR. Hybrid feature selection based on enhanced genetic algorithm for text categorization. *Expert Systems with Applications* 2016; 49: 31-47.
- Harahap F., Harahap AYN., Ekadiansyah E., Sari RN., Adawiyah R., Harahap CB. Implementation of Naïve Bayes classification method for predicting purchase. In 2018 6th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM) 2018; (pp. 1-5). IEEE.
- Hirway C., Fallon E., Conolly P., Flanagan K., Yadav D. Determining receipt validity from e-mail subject line using feature extraction and binary classifiers. *International Journal of Simulation--Systems, Science and Technology* 2022; 23(2).
- Kavitha M., Prabhavathy P. A review on machine learning techniques for text classification. In 2021 4th International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT) 2021; (pp. 605-610). IEEE.
- Kim SB., Han KS., Rim HC., Myaeng SH. Some effective techniques for naive bayes text classification. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 2006; 18(11): 1457-1466.
- Kowsari K., Jafari Meimandi K., Heidarysafa M., Mendu S., Barnes L., Brown D. Text classification algorithms: A survey. *Information* 2019; 10(4): 150.
- Li C., Zhan G., Li Z. News text classification based on improved Bi-LSTM-CNN. In 2018 9th International conference on information technology in medicine and education (ITME) 2018; (pp. 890-893). IEEE.
- Liu CZ., Sheng YX., Wei ZQ., Yang YQ. Research of text classification based on improved TF-IDF algorithm. In 2018 IEEE International Conference of Intelligent Robotic and Control Engineering (IRCE) 2018; (pp. 218-222). IEEE.

- Neelakandan S., Paulraj D. A gradient boosted decision tree-based sentiment classification of twitter data. *International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing* 2020; 18(04): 2050027.
- Neviarouskaya A., Prendinger H., Ishizuka M. Affect analysis model: novel rule-based approach to affect sensing from text. *Natural Language Engineering* 2011; 17(1): 95-135.
- Nourani V., Tajbakhsh A.D., Molajou A. Data mining based on wavelet and decision tree for rainfall-runoff simulation. *Hydrology Research* 2019; 50(1): 75-84.
- Onan A., Korukoğlu S., Bulut H. Ensemble of keyword extraction methods and classifiers in text classification. *Expert Systems with Applications* 2016; 57: 232-247.
- Park K., Hong JS., Kim W. A methodology combining cosine similarity with classifier for text classification. *Applied Artificial Intelligence* 2020; 34(5): 396-411.
- Pradhan A. Support vector machine-a survey. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 2012; 2(8): 82-85.
- Rustam Z., Yaurita F. Insolvency prediction in insurance companies using support vector machines and fuzzy kernel c-means. In *Journal of Physics: Conference Series* 2018; 1028(1): 012118. IOP Publishing.
- Shafiabady N., Lee LH., Rajkumar R., Kallimani VP., Akram NA., Isa D. Using unsupervised clustering approach to train the Support Vector Machine for text classification. *Neurocomputing* 2016; 211: 4-10.
- Shahi TB., Sitaula C. Natural language processing for Nepali text: a review. *Artificial Intelligence Review* 2021; 1-29.
- Song W., Chen P., Park SC. Application of a staged learning-based resource allocation network to automatic text categorization. *Neurocomputing* 2015; 149: 1125-1134.
- Thangaraj M., Sivakami M. Text classification techniques: A literature review. *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management* 2018; 13: 117.
- Thomas AM., Resmipriya MG. An efficient text classification scheme using clustering. *Procedia Technology* 2016; 24: 1220-1225.
- Tran CK., Ngo TH., Nguyen CN., Nguyen LA. SVM-based face recognition through difference of Gaussians and local phase quantization. *International Journal of Computer Theory and Engineering* 2021; 13(1): 1-8.
- Uysal AK. An improved global feature selection scheme for text classification. *Expert systems with Applications* 2016; 43: 82-92.
- Wahdan KA., Hantoobi S., Salloum SA., Shaalan K. A systematic review of text classification research based on deep learning models in Arabic language. *International Journal of Electrical and Computer Engineering* 2020; 10(6): 6629-6643.

- Wan CH., Lee LH., Rajkumar R., Isa D. A hybrid text classification approach with low dependency on parameter by integrating K-nearest neighbor and support vector machine. *Expert Systems with Applications* 2012; 39(15): 11880-11888.
- Wang WM., Li Z., Tian ZG., Wang JW., Cheng MN. Extracting and summarizing affective features and responses from online product descriptions and reviews: A Kansei text mining approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 2018; 73: 149-162.
- Wu Q., Ye Y., Zhang H., Ng MK., Ho SS. ForesTexter: an efficient random forest algorithm for imbalanced text categorization. *Knowledge-Based Systems* 2014; 67: 105-116.
- Xia T., Du Y. Improve VSM text classification by title vector based document representation method. In *2011 6th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE) 2011*; (pp. 210-213). IEEE.
- Yu M., Huang Q., Qin H., Scheele C., Yang C. Deep learning for real-time social media text classification for situation awareness—using Hurricanes Sandy, Harvey, and Irma as case studies. *International Journal of Digital Earth* 2019; 12(11): 1230-1247.
- Zhang Y., Szabo C., Sheng QZ. Improving object and event monitoring on Twitter through lexical analysis and user profiling. In *International Conference on Web Information Systems Engineering* 2016; (pp. 19-34). Springer, Cham.



## A Review on Recent Advances and Challenges of Fuel Cell Electric Vehicles

Efe SAVRAN<sup>1</sup>, Mustafa BÜYÜK<sup>2</sup>, Fatih KARPAT<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Bölümü, 16059, Bursa

<sup>2</sup>Karsan Otomotiv, Ar-Ge Merkezi, Powertrain ve Termal Sistemler Yöneticiliği, 16225, Bursa

<sup>3</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Bölümü, 16059, Bursa

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-9518-6498>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0005-7911-9622>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0001-8474-7328>

\*Corresponding author: [karpata@uludag.edu.tr](mailto:karpata@uludag.edu.tr)

### Reviews

#### Article History:

Received: 29.04.2023

Accepted: 21.08.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Fuel cell

Electric vehicle

Technical challenges

Hydrogen

Assessment

### ABSTRACT

Fuel cell systems in electric vehicles are environmentally friendly and therefore they are being used especially in heavy-duty vehicles. Determining the critical elements of this promising system increases its performance and reliability, facilitating the design process and guiding Research and Development processes. In this study, reference studies were reviewed for general difficulties and performance-enhancing tips for fuel-cell electric vehicles. A total of 27 fuel cell system performance tips have been outlined along with 5 vehicle topology assessment studies. Also, total 19 different current studies and projects were reviewed. The results of this study showed that the fuel cell system has significant potential with small improvements. Factors such as temperature, humidity, material type, fuel cell stack, and air rate are found to be critical variables in fuel cell systems. Besides the variables, battery, supercapacitor, and hydrogen storage in the vehicle topology are significant factors for fuel-cell electric vehicles.

## Yakıt Hücreli Elektrikli Araçların Zorlukları ve Son Gelişmeleri üzerine Derleme

### Derleme Makale

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 29.04.2023

Kabul tarihi: 21.08.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Yakıt hücresi

Elektrikli araç

Teknik zorluklar

Hidrojen

Değerlendirme

### ÖZ

Elektrikli araçlarda yakıt pili sistemleri çevre dostudur ve bu nedenle özellikle ağır hizmet araçlarında kullanılmaktadır. Gelecek vadede bu sistemin kritik unsurlarının belirlenmesi, sistemin etkinliğini ve güvenilirliğini artırmakta, tasarım sürecini kolaylaştırmakta ve Ar-Ge süreçlerine yön vermektedir. Bu çalışmada, yakıt hücreli elektrikli araçlar için genel zorluklar ve performans artırıcı ipuçları için referans çalışmalar gözden geçirilmiştir. 5 araç topolojisi değerlendirmesiyle birlikte toplam 36 yakıt hücresi performans iyileştirici tavsiye ana hatlarıyla belirtilmiştir. Ayrıca toplam 19 farklı güncel çalışma ve proje incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, yakıt pili sisteminin küçük iyileştirmelerle önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Yakıt hücresi sistemlerinde sıcaklık, nem, malzeme tipi, yakıt hücresi yığını ve hava hızı gibi faktörlerin kritik değişkenler olduğu bulunmuştur. Araç topolojisindeki değişkenlerin yanı sıra pil, süper kapasitör ve hidrojen depolama, yakıt hücreli elektrikli araçlar için önemli faktörlerdir.

**To Cite:** Savran E., Büyük M., Karpata F. A Review on Recent Advances and Challenges of Fuel Cell Electric Vehicles.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 424-439.

## 1. Introduction

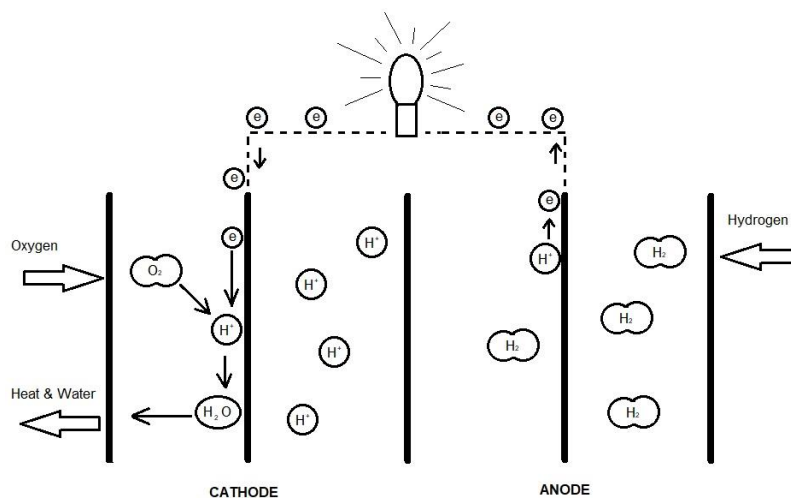
The rise in electric demand and greenhouse gas volume drives countries into finding alternatives. Fossil fuels are the main environmental contaminants and cannot provide a sustainable future (Yavaş et al., 2022). When compared to hydrogen sources, fossil fuel sources' fuel efficiency is low and CO<sub>2</sub> emission is much high (Kilic and Altun, 2022). That is why approximately all research projects are focused on renewable energy sources. Fuel cell electric vehicles, besides being environmentally friendly, silent, and useful vehicle systems, also have the advantage of fast refuelling and long range compared to battery electric vehicles.

Until recent years, many automobile brands have worked on fuel cell vehicles and the developments in this field continue. Along with the advantages of the fuel cell, there are also situations that need to be considered for its effective use. In 2022, approximately 1300 academic studies covering various sub-topics on fuel cells have been published (Web of Science, 2023). In this work, among the mentioned publications, the problems, suggestions, and topology comparisons on fuel cell vehicles are searched and important parts are explained. It aimed to reveal a guiding study in fuel cell electric vehicle design by observing technical problems and solutions.

## 2. Fuel Cell

In hydrogen-based electric vehicles, the fuel cell provides electricity generation through redox reactions.

Fuel cell is working on catalysing process. The electrons and protons of fuel are separated when the fuel contact with the catalyser. Electrons are canalized to electronic circuit. Protons pass through the catalyst and meet the oxygen willing to hydrogen. While this meeting electrons come from the circuit and join to hydrogen again. Oxygen and hydrogen product the output of this system that is water. Basic illustration of fuel cell working principle was shared in Figure 1.



**Figure 1.** Fuel cell system proton exchange membrane working principle (U.S. Department of Energy, 2015)

Although the target is the same, there is more than one fuel cell module as the working principle. The basic fuel cell types and their characteristics are listed in table 1 below.

Apart from the basic fuel cell types listed in Table 1 with their specifications, there are also different fuel cell types. Table 2 shows the characteristics of other fuel cell types.

**Table 1.** Basic fuel cell types and characteristics ( Üçgül and Şenol, 2006; Çakar and Türkoğlu, 2011)

Fuel Cell Type	Electrolyte	Load	Working Temperature (°C)	Catalyst	Efficiency (%)	Battery Base	Fuel Type
Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEMFC)	Polymer Membrane	H <sup>+</sup>	50 - 100	Platinum	40 – 55	Carbon	H <sub>2</sub> , methanol
Alkaline Fuel Cell (AFC)	Potassium Hydroxide (liquid KOH)	OH <sup>-</sup>	120 – 250	Platinum	45 – 60	Carbon	H <sub>2</sub>
Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)	Phosphoric Acid (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	H <sup>+</sup>	150 – 220	Platinum	37 – 42	Carbon	H <sub>2</sub> , methanol
Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)	Molten Carbonate	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	600 – 700	Nickel	55 – 65	Stainless Steel	H <sub>2</sub> , Natural Gas
Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)	Ceramic (ZrO <sub>2</sub> , CeO <sub>2</sub> , Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	O <sup>-2</sup>	650 – 1000	No Catalyst	55 – 70	Ceramic	H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , Natural Gas

**Table 2.** Other fuel cell types and characteristics (Ogungbemi et al., 2019)

Fuel Cell Type	Efficacy (%)	Working Temperature (°C)	Load	Fuel Type
Low Temperature PEM	40 – 60	60 – 80	H <sup>+</sup>	H <sub>2</sub>
High Temperature PEM	50 – 60	110 – 180	H <sup>+</sup>	H <sub>2</sub>
Direct methanol fuel cell (DMFC)	35 – 60	Environment – 110	H <sup>+</sup>	Liquid Methanol-water mix
Direct ethanol fuel cell (DEFC)	20 – 40	Environment – 120	H <sup>+</sup>	Liquid Ethanol-water mix
Proton ceramic fuel cell (PCFC)	55 – 65	700 – 750	H <sup>+</sup>	methane
Zinc-Air fuel cell (ZAFC)	30 – 50	Sub-zero – 60	OH <sup>-</sup>	Zinc
Direct borohydride fuel cell (DBFC)	40 – 50	20 – 85	Na <sup>+</sup>	Sodium Borohydride
Direct formic acid fuel cell (DFAFC)	30 – 50	30 – 60	H <sup>+</sup>	Liquid Formic Acid

Direct carbon fuel cell (DCFC)	70 – 90	600 – 1000	O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Solid Carbon
Enzymatic fuel cell (BFC)	30	20 – 40	H <sup>+</sup>	Glucose
Microbial fuel cell (MFC)	15 – 65	20 – 60		Organic matter

Among the fuel cells showed in table 1 – 2, DMFC, PEMFC, AFC and PAFC are expressed as low operating temperature fuel cells, and MCFC and SOFC are expressed as high operating temperature fuel cells (Tie and Tan, 2013).

The advantages of the proton exchange membrane system are that it works between 70 – 90 °C, it is widely used, and it works silently and without vibration. Requirements such as deionized water, platinum, water collector, membrane maintenance can be listed as disadvantages (Nguyen and Lindström, 2017). Proton exchange membrane fuel cells are more suitable to be preferred over other types due to their high power density and low corrosion formation. (Baba et al., 2021)

### 3. Hydrogen Production and Storage

Since the hydrogen has natural characteristic, it can be found and can be produced from several sources. Although the most-known production method is electrolysis for hydrogen production but there are several hydrogen production method apart from electrolysis. The method described by Dinçer and Acar (Dincer and Acar, 2014) regarding hydrogen production is given below.

- Electrolysis
- Plasma Arc Decomposition
- Water Thermolysis
- Thermochemical Water Splitting
- Thermochemical Conversion of Biomass, Gasification, and Biofuel Reforming
- Photovoltaic Electrolysis, Photo catalysis, and Photo electrochemical Method
- Dark Fermentation
- High Temperature Electrolysis
- Hybrid Thermochemical Cycles
- Coal Gasification
- Fossil Fuel Reforming
- Bio photolysis and Photo fermentation
- Artificial Photosynthesis
- Photo electrolysis

After the production of hydrogen, which is necessary for the production of electrical energy, the most important issue is its easy and effective storage. In the production of hydrogen, steam, gas and electrolysis methods are preferred from basic sources such as natural gas, bioethanol, coal, and biomass (Baba et al., 2021). The storage method to be used for hydrogen must be able to preserve the matter it contains in a ready-to-use condition under desired conditions. Hydrogen storage methods frequently encountered in the literature ( Üçgül and Şenol, 2006; Tie and Tan, 2013; Abe et al., 2019) are shared below.

- Compression into tube
- Cryogenic cooling (liquidification at -253 °C)
- Hydrogen absorbers (absorption by temperature and pressure)

The most economical of these three methods is to store hydrogen as pressurized gas, but the amount of hydrogen stored is insufficient due to the low energy density of hydrogen and the necessity of making pressure vessels in certain sizes depending on the vehicle dimensions (Ucgul and Şenol, 2006). Liquid hydrogen must be stored below -250 °C. Even well-insulated storage cannot maintain this temperature without external cooling. In this case, 1-3 % leakage will occur per day. This propagation is not considered dangerous as controlled oxidation with catalysts is possible. Alternatives for hydrogen storage are compared in Table 3.

**Table 3.** Hydrogen storage technologies (Nguyen and Lindström, 2017)

Storage Type	Advantage	Disadvantage
Compressed gas cylinder	Known as until 200 bar Low cost Generally available	Storage capacity is lower than 700 bar High pressure storages are in development
Liquid tanks	Well-known technology Good storage density	Need low temperature High cost Hydrogen lost by vaporization
Metal hydrides	Solid storage Variable dimensions Safe Thermal outputs can be used in sub-systems	Heavy Gets worse over time Expensive
Carbon structures	High storage density Light and cheap	Not understood and developed

In order to overcome the lack of resources for hydrogen storage, it can be a good alternative to operate the module, which acts as a fuel cell while driving, in the electrolysis mode in the parking position. However, the need for a battery at the time of start-up in a cold environment, the inability to produce a long range despite electrolysis for a long time, the need for storage show the negative sides of this system. (Borroni-Bird, 1996)

One of the safest methods is to store hydrogen with metal hydride. Gaseous hydrogen penetrates into the lattice-shaped internal structures of light-mass hydride metals or their alloys and binds to various parts of the crystal structure, and when the hydrides are heated, the absorbed hydrogen is released (Ucgul and Şenol, 2006). Different porous metal alloys should be used in this storage. The main disadvantage of this method is the weight of the metal hydride required to store the required fuel (longer than 320 km). Some alloys reach up to 1250 kg to store 15 kg of hydrogen. Another disadvantage is that some materials used in the alloy are flammable.

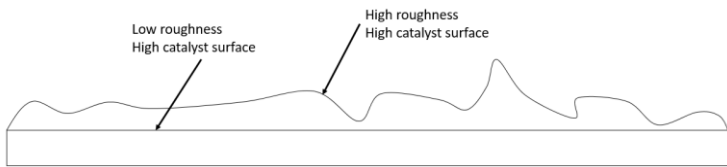
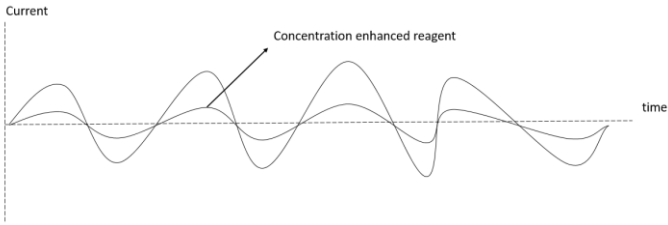
In addition to obtaining hydrogen in an environment outside the vehicle and transporting it on the vehicle while driving, it is also a good alternative to obtain hydrogen from a source while driving.

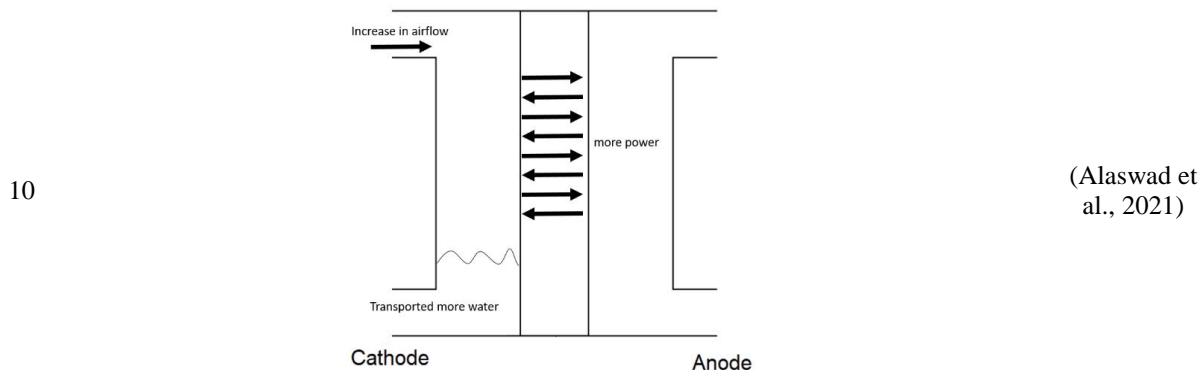
Obtaining hydrogen via on board equipment has the potential to eliminate the need for costly, heavy and bulky storage tanks. One of the forms in which hydrogen can be obtained is methanol. It is profitable to obtain hydrogen by cracking methanol, but the CO content in the cracked gas is very high. However, in this case, poisoning of the anode electrode of the fuel cell becomes easier. The methanol cracking process is an endothermic reaction and heat devices are required, in which case hydrogen production becomes complicated and also affects the take-off speed of the fuel cell vehicle. The partial oxidation of methanol enables rapid production of hydrogen and its performance is high, but the hydrogen content in the reaction gas is not very high. The density of hydrogen in the gas mixture and fuel cell decreases due to oxidation of air. (Shusheng et al. 2020)

#### 4. Fuel Cell Performance Enhancement Tips

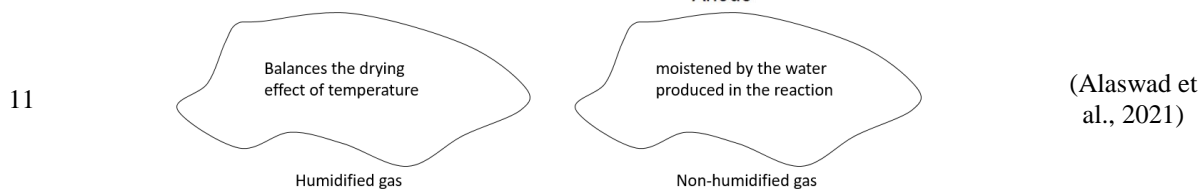
In many fuel cell applications, as in every system, problems arise. Determining the problems in terms of technical and cost will provide great convenience in increasing the system performance. The problems and recommendations seen in the various references reviewed are shared in table 4 below.

**Table 4.** Fuel cell system performance enhancer tips

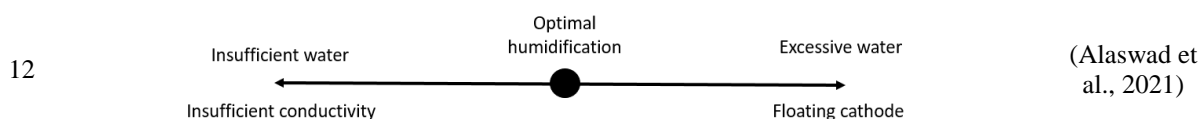
No	Tips	Reference
1	Increasing the cell temperature	( Dicks and Rand, 2018; Alaswad et al., 2021)
2	Using a catalyst for enhance the reaction kinetics	( Dicks and Rand, 2018; Alaswad et al., 2021)
3		( Dicks and Rand, 2018; Alaswad et al., 2021)
4		( Dicks and Rand, 2018; Alaswad et al., 2021)
5	Raising the pressure of the reagents with high concentration.	(Alaswad et al., 2021)
6	Use of electrodes with the highest conductivity	(Alaswad et al., 2021)
7	Design optimization and material selection for bipolar plate	(Alaswad et al., 2021)
8	Making the membrane as thin as possible	(Alaswad et al., 2021)
9	Increasing the humidity of the membrane	(Alaswad et al., 2021)



(Alaswad et al., 2021)



(Alaswad et al., 2021)



(Alaswad et al., 2021)

13 Irregular (uncontrolled) temperature will create an electrochemical reaction in different regions, resulting in a decrease in stability and durability. (Vichard et al., 2021)

14 Poor water management can cause the membrane to dry out, expands the resistant surface, and cause cracks. Air filter in bad condition can cause poisoning by contaminants. (Vichard et al., 2021)

15 When the water content is high, catalyst aggregation due to dissolution, agglomeration, and redeposition results in reduced catalyst layer surface areas. (Tanaka et al., 2020)

16 For the power control of the fuel cell system, the air mass flow rate and pressure on the cathode side can be controlled by the compressor and the exhaust valve, the hydrogen pressure on the anode side can be regulated by the hydrogen injector. (Gao et al., 2019)

17 Factors such as impurity and hydrogen peroxide accelerate the aging of the membrane and cause the membrane thickness to decrease. In addition, the use of iron-based materials in the separator and the accumulation of water in the separator channels cause corrosion of the iron, accelerates the chemical degradation of the contact area of the separator. (Gao et al., 2019)

18 Impurities such as sulphur-based and nitrogen-based gases affect fuel cell performance. These impurities can be specified as  $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $NH_3$ . Geographic conditions and climatic conditions affect the density of impurities. (Gao et al., 2019)

19 Thanks to the coating of the hydrophobic gas diffusion layer with the hydrophilic micro porous layer, the resistance of the membrane is reduced without humidification and the water retention at the interface of the catalyst and the microporous layer thickens. (Ogungbemi et al., 2021)

20 Zig-Zag flow model shows better cooling performance than straight flow channel. (Ogungbemi et al., 2021)

21 Graphen coated samples have better corrosion resistance, and electric conductivity than uncoated samples. (Ogungbemi et al., 2021)

22 Keeping warm and melting/heating source methods are recommended for fast start-up and icing problems. (Gao et al., 2019)

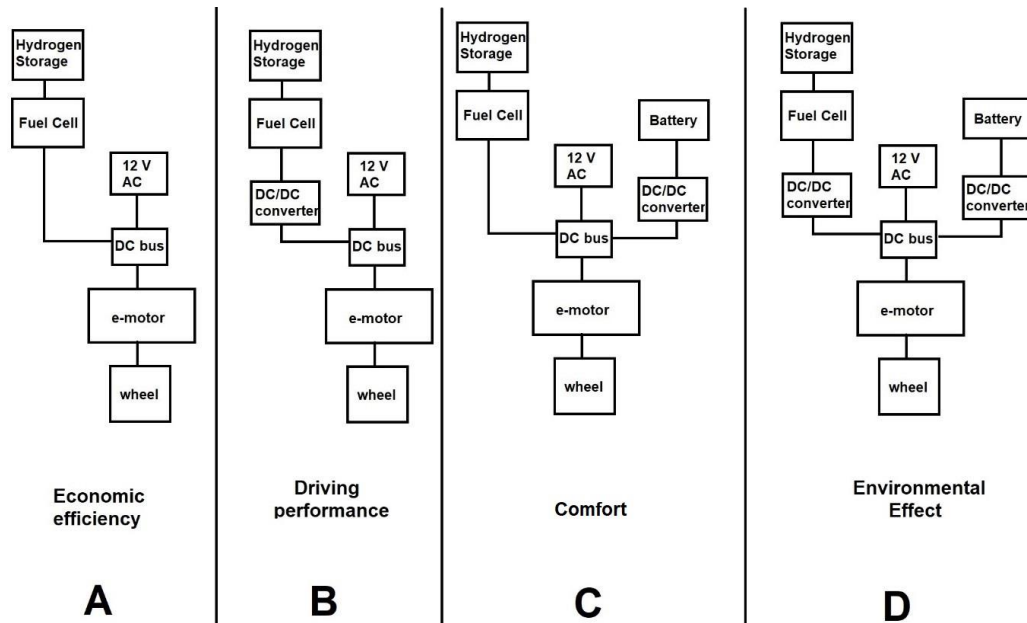
23	For cost reduction, low value metal catalysts such as metal oxygen composition, organometallic macrocyclic compounds and transition phase metal sulphides can be used at the cathode, while calcium doped metal oxides can be used in carbide, non-platinum alloys as anode catalysts.	(Shusheng et al., 2020)
24	Reducing the use of platinum for cost reduction can be made possible by producing electrodes with a lower platinum content or replacing platinum with non-precious metals.	(Shusheng et al., 2020)
25	Composite membranes are suitable for automotive applications as they have a wide operating temperature range above 95 °C. Composite fuel cells give 11% more voltage at 95 °C when dry hydrogen and air materials are used.	(Ogungbemi et al., 2019)
26	Centrifugal and Roots compressors are the most suitable for fuel cell application for pressurization. They are smaller and less expensive than screw and scroll compressors and help reduce the weight and cost of PEM fuel cell vehicles already increasing with the use of platinum.	(Kerviel et al., 2018)
27	It has been observed that the use of turbines with the compressor reduces the power required by the air supply system by an average of 45.8%. Also, changing the maximum pressure ratio from 2.8 bar to 4.0 bar reduced the number of cells required to achieve the same output power by 12.5%.	(Kerviel et al., 2018)

## 5. Vehicle Topology Comparisons in Fuel Cell Electric Vehicles

Solving cell-based or source-based technical issues in fuel cell electric vehicles provides overall performance improvement. To be competitive, a fuel cell electric vehicle has 25 – 30% more efficient than a gasoline car (Granovskii et al., 2006). Efficaciousness can be enhanced by local improvements that affect global improvement, and component placement (topology) for global improvement also affects performance and consumption. When the basic propulsion system of fuel cell vehicles is examined, elements such as fuel cell module, battery, hydrogen storage, e-motor and transmission are seen.

Sarioglu et.al. (Sarioglu et al., 2014) studied on vehicle topology comparison. Their work focused on mainly 0-100 km/h acceleration, maximum speed, gradability at 60 km/h, hydrogen consumption, driving range, total and powertrain weight – cost. 4 different powertrain topology was modelled and compared in same driving profile. Topology examples and their effective subjects can be seen in figure 2. After driving cycles, the topology C was found to be the most suitable layout as it offers the lowest energy consumption as well as the expected ride comfort.





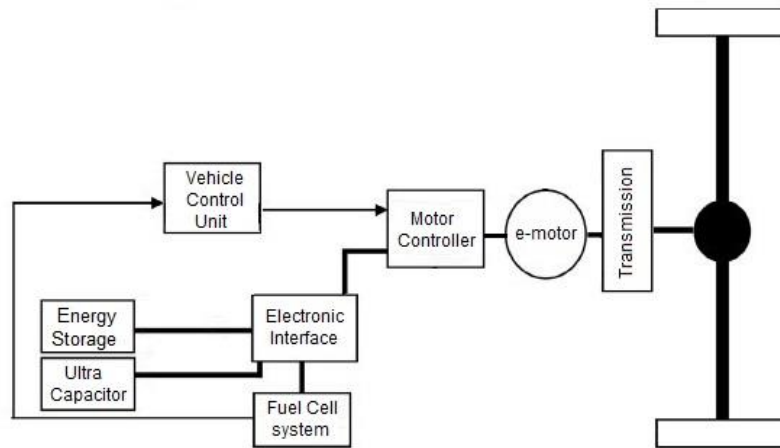
**Figure 2.** General topology examples and their effects (Granovskii et al., 2006)

Gao et. al. (Gao et al., 2016) studied on 2 different vehicle topology. When compared the 2 different vehicle topology, vehicle A reached to 50 km/h in 20,5 second with 18% grade and vehicle B reached to 50 km/h in 12,8 second with same grade. General lay out and technical specifications was shared in table 5.

**Table 5.** Fuel cell vehicle topology specifications (Gao et al., 2016)

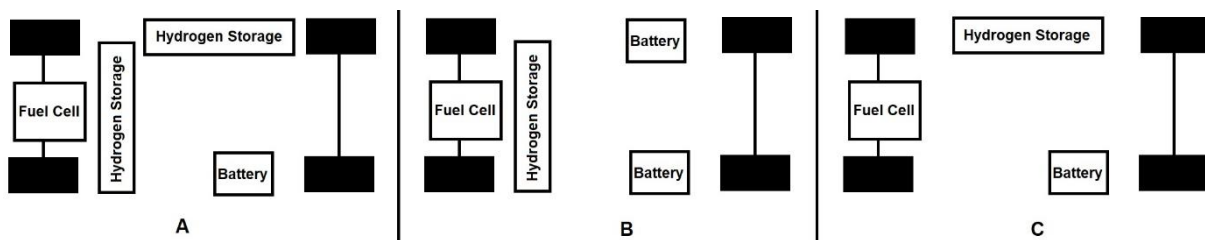
Parameters	Powertrain A	Powertrain B
Fuel Cell	PEM 50 kW 517 – 350 V Efficiency 62,17%	PEM 50 kW 590 – 406 V Efficiency 57,93%
DC/DC converter	400 V input 60 kW Efficiency 94,6%	400 V input 60 kW Efficiency 97,16%
Battery	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 175 Ah 405 – 260 V 870 W/kg at 50% SoC	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 175 Ah 405 – 260 V 870 W/kg at 50% SoC
Motor	IM 100 kW 531 Nm 6000 rpm Efficiency 87,28%	PMSM 80 kW 350 Nm 6300 rpm Efficiency 90,97%
Reducer	1,86 ratio	13,92 ratio
Differential	6,2 ratio	-

Ahmadi et.al. (Ahmadi et al., 2018) studied on a hybrid fuel cell electric vehicle to obtain the required power for specified grade and speed. The vehicle model in this investigation has a fuzzy logic power sharing controller that decides between ultracapacitor, battery and fuel cell. Vehicle model has 1500 kg GVW, PEM type fuel cell module, ACIM 50 kW motor, 180 W/kg lead-acid batteries, 23000 W/kg ultra capacitor. General topology was showed in figure 3. This model needed 60.56 kW for reach to 100 km/h in 12 second and 72.44 kW for the same target with 5% grade.



**Figure 3.** Fuel Cell hybrid electric vehicle topology (Ahmadi et al. 2018)

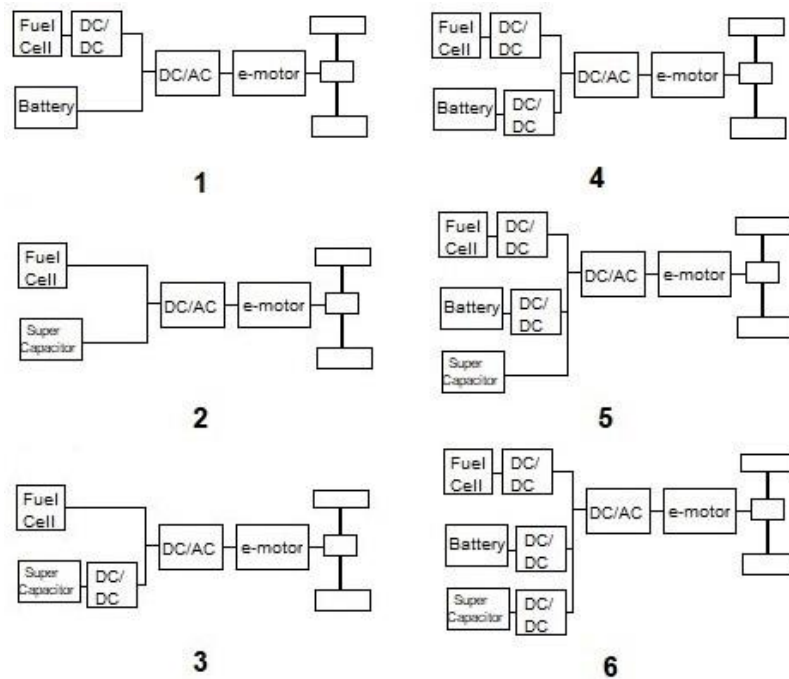
Nguyen and Lindström (Nguyen and Lindström, 2017) compared 3 different fuel cell electric truck topologies. The truck was modelled by adhering to various conditions and regulations related to temperature, fuel cell, tank, filling system. Among the shared layout types in Figure 4, topology A uses the fuel cell as the main power source. The range is 300% better and around 50% lighter than battery electric vehicles. In this configuration it has the most hydrogen capacity and can offer the best range. The topology B uses the battery as the main power source. The fuel cell is used as a range extender and the battery has a better range than electric vehicles. The battery is ideal for its projected route as it stops and starts in frequent and busy environments affected by topology. The topology C refers to the situation where hydrogen tanks cannot be placed behind the cabin. This configuration gives the shortest range. In this reference, it was decided that the back of the cabin was the most suitable place, based on the information obtained from the decision matrix regarding the positioning of the Hydrogen tanks. 300 kW was chosen to extend the life cycle of fuel cells, but since the cabin cooling power is too low for a 300 kW fuel cell, 200 kW fuel cell was preferred instead.



**Figure 4.** Fuel cell electric truck topologies (Nguyen and Lindström, 2017)

Xun et.al. (Xun et al., 2018) studied on comparison between 6 different fuel cell electric vehicle topologies. 6 different topologies were shared in figure 5. Each topology has a basic fuel cell, DC/AC inverter and electric motor. On the other hand, different topologies were obtained and evaluated by changing the number and placement of DC/DC converter, battery and supercapacitor. The simulation results showed that the hybridization of the fuel cell and supercapacitor has better performance of the

fuel cell with the help of the supercapacitor, since high charge and discharge current can be obtained with the supercapacitor. Also, the supercapacitor can handle peaks in the required drive power, which makes the power supplied by the fuel cell flatter and ensures a longer lifetime of the fuel cell.



**Figure 5.** Fuel cell electric vehicle topologies ( Xun et al., 2018; Teng et al., 2020)

## 6. Current Novelties

Since scientific research continues unabated, fuel cell innovations continue to emerge. Each of innovations in hydrogen technology improves the future of new mobility age. Future expectation of mobility is being separated into battery electric for passenger cars and fuel cell electric for heavy-duty vehicles. Therefore, every single change in hydrogen systems affects mobility and fastens to meet environmental expectations. In order to show some of the recent innovations, publications, projects between 2021 and 2023 were reviewed and shared in table 6.

**Table 6.** Recent innovations on fuel cell technology

No	Content	Type	Reference
1	Circular sectional current collector investigation and flow channel comparison for SOFC	Article	(Ahmed and Ahmed, 2022)
2	Small scale manufacturing for fuel cell stack investigation and thermodynamic effectiveness	Article	(Taner, 2021)
3	Performance enhancer 4 different flow channels design and comparison	Article	(Gelis et al., 2022)
4	Continuous hydrogen production from ammonia for SOFC	Article	(Al-Hamed and Dincer, 2021)
5	Health monitoring of PEMFC by conversion between voltage signal and image	Article	(Liu et al., 2021)

6	Wind and solar supported hybrid fuel cell vehicle design and validation	Article	(Mamun et al., 2022)
7	Fuzzy logic control system for fuel cell longer life	Article	(Luca et al., 2022)
8	State of charge estimation of metal hydride by piezoelectric material	Article	(Chabane et al., 2022)
9	Grade and flow comparison of porous metal in fuel cell stack	Article	(Kermani et al., 2022)
10	Curvy flow line design and analysis for PEMFC	Article	(Rahmani et al., 2023)
11	Baffle shape comparison in flow channel of PEMFC	Article	(Huang et al., 2023)
12	Fluorinated carbon investigation to water management in PEFC	Article	(Can et al., 2022)
13	Humidifier design to overcome the drying problem by high air flow	Article	(Le et al., 2022)
14	Hydro-electricization of the shipping vehicles at the port of Valencia	Project	(Clean-Hydrogen, 2023; H2ports, 2023)
15	Hydro-powered 2 – 4 seats aircraft design.	Project	(Clean-Hydrogen, 2023; Heaven-fch-project, 2023)
16	Development of new electrolyser that combines the alkaline and polymer electrolyte water electrolysers.	Project	(Clean-Hydrogen, 2023; Newely, 2023)
17	Design of multi-mode usable SOFC as fuel cell and electrolyser	Project	(Clean-Hydrogen, 2023; Switch-fch, 2023)
18	40 ton fuel cell powered truck development	Project	(Forschung, 2023; Hydrogeneurope, 2023)
19	Developing a high active and long term stable catalyst for PEM	Project	(crescendo fuel cell, 2023; Immortal fuelcell, 2023)

## 7. Conclusion

Fuel Cell systems in electric vehicle promising green environment and so it is beneficial especially in heavy duty vehicles. When it comes to vehicle design, well-known battery electric vehicle systems are converted into fuel cell electric vehicles by adding fuel cell module. However transition process also has some negative resulted stages. Defining of critical sides of this promising system amplify the efficacy – reliability and it facilitates the design process and guides Research and Development processes. In this review, general problems, performance enhancer tips on fuel cell electric vehicles were reviewed in reference studies. Reviewed studies includes not only system based problems but also vehicle topology assessments. System performance can be in improved component based studies but this can not be sufficient in some cases. Therefore, vehicle topology studies are also included to expand the scope of the research. 36 problem-based fuel cell system performance enhancing tips, 5 special vehicle topology evaluations and 19 innovative studies on fuel cell technology were shared. The fuel cell is an evolving system and could have great potential with small improvements. Close examination of fuel cell systems was carried out and guiding signs for the improvement of the system

were explained. The information disclosed in the review is intended to aid standardization for fuel cell electric vehicle studies. In fuel cell systems, temperature, humidity, material type, fuel cell stack and air velocity have been found to be factors that seriously affect performance. Besides variables, vehicle component placement has been found to be important in fuel cell systems as well as in battery electric vehicles. In the evaluation on the basis of settlement, the importance of the battery supporting supercapacitor and hydrogen storage was emphasized specifically.

### **Acknowledgement**

Efe Savran, PhD candidate in the project code 119C154, would like to thank TUBITAK.

### **Statement of Conflict of Interest**

The authors have declared no conflict of interest.

### **Author's Contributions**

The contribution of the authors is equal

### **References**

- Abe JO., Popoola API., Ajenifuja E., Popoola OM. Hydrogen energy, economy and storage: review and recommendation. *International Journal of Hydrogen Energy* 2019; 44(29): 15072–15086.
- Ahmadi S., Bathaee S. M. T., Hosseinpour AH. Improving fuel economy and performance of a fuel-cell hybrid electric vehicle (fuel-cell, battery, and ultra-capacitor) using optimized energy management strategy. *Energy Conversion and Management* 2018; 160: 74–84.
- Ahmed KI., Ahmed, MH. Developing a novel design for a tubular solid oxide fuel cell current collector. *Applied Sciences* 2022; 12(12): 1–16.
- Al-Hamed KHM., Dincer I. A novel ammonia solid oxide fuel cell-based powering system with on-board hydrogen production for clean locomotives. *Energy* 2021; 220: 1–10.
- Alaswad A., Omran A., Sodre JR., Wilberforce T., Pignatelli G., Dassisti M., Baroutaji A., Olabi AG. Technical and commercial challenges of proton-exchange membrane (pem) fuel cells. *Energies* 2021; 14(1): 1–21.
- Baba MA., Labbadi M., Cherkaoui M., Maaroufi M. Fuel cell electric vehicles: a review of current power electronic converters topologies and technical challenges. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2021; 785(1): 1–29.
- Ballard. Fuel cell electric buses cold weather operation technical notes. 2018.
- Borroni-Bird CE. Fuel cell commercialization issues for light-duty vehicle applications. *Journal of Power Sources* 1996; 61(1–2): 33–48.

- Cakar S. Katı oksit yakıt pillerinde kullanılabilir özellikli nb<sub>2</sub>o<sub>5</sub> katkılanmış δ bi<sub>2</sub>o<sub>3</sub> tabanlı katı elektrolitlerin ince filmlerinin üretilmesi ve karakterizasyonları. 2011. Kayseri Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi.
- Can EM., Mufundirwa A., Wang P., Iwasaki S., Kitahara T., Nakajima H., Nishihara M., Sasaki K., Lyth SM. Superhydrophobic fluorinated carbon powders for improved water management in hydrogen fuel cells. *Journal of Power Sources* 2022; 548(2022): 1–11.
- Chabane D., Serairi L., Iqbal M., Djerdir A., Fenineche N., Elkedim O. Innovative method to estimate state of charge of the hydride hydrogen tank: application of fuel cell electric vehicles. *International Journal of Modelling and Simulation* 2022; 42(2): 1–14.
- Clean-Hydrogen. Clean hydrogen partnership shortlisted projects innovations. [https://www.cleanhydrogen.europa.eu/shortlisted-projects-innovations\\_en](https://www.cleanhydrogen.europa.eu/shortlisted-projects-innovations_en). (reached: 20.08.2023).
- Crescendo fuel cell. Crescendo. <https://www.crescendo-fuelcell.eu/>. (reached: 20.08.2023).
- Dicks LA., Rand JAD. Introducing Fuel Cells. *Fuel Cell Systems Explained* 2018; 1–26.
- Dincer I., Acar C. Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. *International Journal of Hydrogen Energy* 2014; 40(34): 11094–11111.
- Dawei G., Jin Z., Zhang J., Li J., Ouyang M. Comparative study of two different powertrains for a fuel cell hybrid bus. *Journal of Power Sources* 2016; 319: 9–18.
- Forschung FFG. FC4HD. <https://projekte.ffg.at/projekt/4032444>. (reached: 20.08.2023).
- Gao J., Li M., Hu Y., Chen H., Ma Y. Challenges and developments of automotive fuel cell hybrid power system and control. *Science China Information Sciences* 2019 62(5): 1–25.
- Gelis K., Sahin B., Bayrakceken Yurtcan A. Development of novel flow fields for pem fuel cells: numerical solution and experimental validation. *Heat Transfer Research* 2022; 53(2): 29–44.
- Granovskii M., Dincer I., Rosen MA. Life cycle assessment of hydrogen fuel cell and gasoline vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy* 2006; 31(3): 337–352.
- H2ports. First application of hydrogen technologies in port handling equipment in europe. <https://h2ports.eu/wp-content/uploads/2020/03/H2PORTS-Brochure.pdf>. (reached: 20.08.2023).
- Heaven-fch-project. Heaven FCH. <https://heaven-fch-project.eu/>. (reached: 20.08.2023).
- Huang Y., Song J., Deng X., Chen S., Zhang X., Ma Z., Chen L., Wu Y. Numerical investigation of baffle shape effects on performance and mass transfer of proton exchange membrane fuel cell. *Energy* 2023; 266(2023): 1–13.
- Hydrogeneurope. Hydrogen EU Projects. <https://hydrogeneurope.eu/h2-talks/eu-projects/>. (reached: 20.08.2023).
- Immortal fuelcell. European projects. <https://immortal-fuelcell.eu/index.php/resources/european-projects>. (reached: 20.08.2023).

- Kermani MJ., Moein-Jahromi M., Hasheminasab MR., Wei L., Guo J., Jiang FM. Development of a variable-porosity metal-foam model for the next fuel cells flow-distributors. *International Journal of Hydrogen Energy* 2022; 47(7): 4772–4792.
- Kerviel A., Pesyridis A., Mohammed A., Chalet D. An evaluation of turbocharging and supercharging options for high-efficiency fuel cell electric vehicles. *Applied Sciences* 2018; 8(12): 1–21.
- Kilic M., Altun AF. Dynamic modelling and multi-objective optimization of off-grid hybrid energy systems by using battery or hydrogen storage for different climates. *International Journal of Hydrogen Energy* 2022;48(60): 22834–22854.
- Le PL., Devi N., Chou J., Arpornwichanop A., Chen YS. A novel design for humidifying an open-cathode proton exchange membrane fuel cell using anode purge. *International Journal of Hydrogen Energy* 2022;47(64): 27680–27689.
- Liu Z., Pei M., He Q., Wu Q., Jackson L., Mao L. A novel method for polymer electrolyte membrane fuel cell fault diagnosis using 2d data. *Journal of Power Sources* 2021; 482(2021): 1–10.
- Luca R., Whiteley M., Neville T., Shearing PR., Brett DJL. Comparative study of energy management systems for a hybrid fuel cell electric vehicle - a novel mutative fuzzy logic controller to prolong fuel cell lifetime. *International Journal of Hydrogen Energy* 2022; 47(57): 24042–24058.
- Mamun KA., Islam FR., Haque R., Chand AA., Prasad KA., Goundar KK., Prakash K., Maharaj S. Systematic modeling and analysis of on-board vehicle integrated novel hybrid renewable energy system with storage for electric vehicles. *Sustainability* 2022; 14(5): 1–33.
- Newely. <https://newely.eu/>. (reached: 20.08.2023).
- Nguyen H., Lindström S. Fuel cell layout for a heavy duty vehicle. Mälardalen university School of Innovation, Design and Engineering, Master of Science Thesis. 2017; 1–84.
- Ogungbemi E., Ijaodola O., Khatib FN., Wilberforce T., Hassan ZE., Thompson J., Ramadan M., Olabi AG. Fuel cell membranes – pros and cons. *Energy* 2019; 172(2019): 155–172.
- Ogungbemi E., Wilberforce T., Ijaodola O., Thompson J., Olabi AG. Review of operating condition, design parameters and material properties for proton exchange membrane fuel cells. *International Journal of Energy Research* 2021; 45(2): 1227–1245.
- Qian X., Liu Y., Holmberg E. A comparative study of fuel cell electric vehicles hybridization with battery or supercapacitor. *SPEEDAM 2018 - Proceedings: International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion* 2018; 389–394.
- Rahmani E., Moradi T., Ghandehariun S., Naterer GF., Ranjbar A. Enhanced mass transfer and water discharge in a proton exchange membrane fuel cell with a raccoon channel flow field. *Energy* 2023; 264(2023): 1–13.
- Sarioglu IL., Czapnik B., Bostanci E., Klein OP., Schröder H., Küçükay F. Optimum design of a fuel-cell powertrain based on multiple design criteria. *Journal of Power Sources* 2014; 266(2014): 7–21.

- Switch-fch. SWITCH. <https://switch-fch.eu/>. (reached: 20.08.2023).
- Shintaro T., Nagumo K., Yamamoto M., Chiba H., Yoshida K., Okano R. Fuel cell system for honda clarity fuel cell. *eTransportation* 2020; 3: 1–10.
- Tolga T. The novel and innovative design with using h2 fuel of pem fuel cell: efficiency of thermodynamic analyze. *Fuel* 2021; 302(2021): 1–11.
- Teng T., Zhang X., Dong H., Xue Q. A comprehensive review of energy management optimization strategies for fuel cell passenger vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy* 2020; 45(39): 20293–20303.
- Siang Fui T., Tan CW. A review of energy sources and energy management system in electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013; 20(2013): 82–102.
- U.S. Department of Energy. (2015). Fuel cell technologies office: comparison of fuel cell. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/comparison-fuel-cell-technologies>. (reached: 20.08.2023).
- Üçgül İ., Şenol R. Yakıt pili teknolojisindeki gelişmeler ve taşıtlara uygulanabilirliğinin incelenmesi. *Mühendis ve Makina: TMMOB makine Mühendisleri Odası* 2006; 563: 37–50.
- Vichard L., Yousfi Steiner N., Zerhouni N., Hissel, D. Hybrid fuel cell system degradation modeling methods: a comprehensive review. *Journal of Power Sources* 2021; 506(05): 1–16.
- Web of Science. Fuel Cell. Web of science results. (<https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/57e56c41-5653-4f80-ba6a-bf1be9c1502325216ca2/relevance/1>). (reached: 20.08.2023).
- Xiong S., Qiujie S., Baosheng G., Encong Z., Zhankuan W. Research and development of on-board hydrogen-producing fuel cell vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy* 2020; 45(35): 17844–17857.
- Yavaş Ö., Savran E., Erol Nalbur B., Karpat. F. Energy and carbon loss management in an electric bus factory for energy sustainability. *Transdisciplinary Journal of Engineering and Science* 2022; 13: 97–110.



## Standart Askeri Yüklerin Askerlerin Görev Performansı Üzerindeki Etkilerini Belirlemek için Kullanılan Biyomekanik Test Yöntemleri

Çağlar BETGÜL<sup>1</sup>, Mustafa ÜNAL<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 70100, Karaman

<sup>2</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, 70100, Karaman

<sup>3</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Bölümü, 70100, Karaman

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3827-8107>

<sup>2,3</sup><https://orcid.org/0000-0002-9518-8952>

\*Sorumlu yazar: mustafaunal@kmu.edu.tr

### Derleme

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 26.01.2023

Kabul tarihi: 07.09.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Biyomekanik  
Askeri yükler  
Performans göstergeleri  
Yük taşıma  
Egzersizler

### ÖZ

Bu derleme makalesinin amacı, askerlerin alt uzuv kuvvetinin ve gücünün belirlenerek görev performansının tahmin edilmesine yönelik kullanılan biyomekanik testleri içeren çalışmaları sistematik olarak değerlendirip paylaşmaktır. Elde edilen veriler, askerlerin alt uzuv kuvvetinin, yük taşıma kapasiteleri ve dayanıklılıklarıyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Mevcut biyomekanik testlerin daha çok statik olarak yapıldığı göz önüne alındığında, gelecekte bu testlerin belirli bir operasyon senaryosu altında dinamik ve gerçek zamanlı olarak daha da geliştirilmesi, askerlerin performansının anlık olarak izlenmesi ve değerlendirilmesi hususunda daha güvenilir ve objektif verilerin elde edilmesi açısından faydalı olacaktır. Ayrıca bu testlerden elde edilen veriler ışığında standart askeri yükler yeniden tasarlanabilir ve askerlerin performansını artıracak daha verimli egzersizler belirlenebilir.

## Biomechanical Testing Methods Used to Determine the Effects of Standard Military Loads on the Mission Performance of Soldiers

### Reviews

#### Article History:

Received: 26.01.2023

Accepted: 07.09.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Biomechanics  
Military loads  
Performance indicators  
Load carriage  
Exercises

### ABSTRACT

The purpose of this review article was to systematically evaluate and share the studies involving biomechanical tests used to predict mission performance by determining the lower-extremity strength and power of soldiers. The data obtained from such biomechanical tests showed that the lower-extremity strength of the soldiers was directly related to their load-bearing capacity and endurance. Considering that the current biomechanical tests are mostly performed statically, in the future, further development of these tests dynamically and simultaneously under a certain operation scenario would be useful in terms of obtaining more reliable and objective data for the instant monitoring and evaluation of the performance of the soldiers. Moreover, in the light of the data obtained from these tests, the standard military loads could be redesigned, and more efficient exercises could be determined that would eventually increase soldier's performance.

**To Cite:** Betgül Ç., Ünal M. Standart Askeri Yüklerin Askerlerin Görev Performansı Üzerindeki Etkilerini Belirlemek için Kullanılan Biyomekanik Test Yöntemleri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 440-462.

## 1. Giriş

Tarihi süreç içerisinde, askerler yapılan operasyonun çeşitliğine göre devamlı çeşitli türde askeri yükler taşımışlardır. Bu yükler bireysel koruyucu donanımlar, savaş alet ve gereçleri ve gıda malzemelerinden meydana gelmektedir. Taşıma işleminin iklim ve doğa şartlarına göre zorluk derecesi değişmekle beraber, taşıma işlemi sırasında taşınan yükten dolayı; askerin yorgunlukla beraber hızının azalması, kas-iskelet ağrıların ortaya çıkması gibi çeşitli sorunlar meydana gelebilmektedir (Knapik ve ark., 2004; Knapik ve ark., 2010; Orr ve ark., 2014). Özellikle bu yüklerden dolayı ortaya çıkan genel sağlık problemleri profiline baktığımızda en fazla etkilenen vücut kısmının alt uzuv, yani bel altı bacak uzuvlarında ortaya çıkan yaralanmalar ve kas-iskelet sorunları olduğu görülmektedir (Knapik ve ark., 2004; Knapik ve ark., 2010; Orr ve ark., 2014). Bunlar başlangıçta yapılan operasyonun başarı durumunu yakından etkilemekle beraber, ilerleyen süreçlerde askerin vücudundaki kas-iskelet sisteminde kalıcı hasarlara sebep verebilir (Orr ve ark., 2014). 18. yüzyıla kadar askerler ortalama 15 kg yük taşıyorlardı (Orr, 2010). Önceki zamanlarda ekstra askeri ekipmanlar yani savaş sırasında kullanılan silahlar (örneğin kılıç, kalkan vb. ekipmanlar), yardımcı taşıyıcılar, atlar/katırlar, el arabaları ve kamp takipçileri gibi farklı şekillerde nakliyesi gerçekleşiyordu (Orr, 2010). Bulduğumuz zaman diliminde ise böyle bir nakliye, operasyon başarısında olumsuz sonuçlar doğurabileceği için 18 yüzyıldan itibaren askerler yüklerini kendileri taşımaya başlamışlardır (Orr, 2010).

Askerlerin zaruri yükleri taşıma işlemi, iklim ve doğa şartlarına göre farklı zorluk derecelerine sebep olur. Askerlerin bu standart yükleri taşınması özellikle bacak kuvveti ve gücüyle yakından ilişkilidir (Orr ve ark., 2019). Taşıma işlemi sırasında, maruz kalınan ekstra yükten dolayı askerlerde ayakların su toplaması, diz ağrıları ve bacak kemiği kırılması gibi çok çeşitli sağlık problemlerine (Knapik ve ark., 2004; Knapik ve ark., 2010; Orr ve ark., 2014; Andersen ve ark., 2016; Orr ve Pope, 2016) ve askeri görevin/operasyonun başarısız olması gibi istenilmeyen sorunlara sebep olabilir (De Maio ve ark., 2009; Brady ve ark., 2011; Carlton ve Orr, 2014; Billing ve ark., 2015). Bu tarz problemlerin önlenmesi için askerlerin belirli standart yük ve donanımlar ile verilen görevi yapabilme performansının özellikle alt uzuv kuvvet ve güç performanslarının biyomekanik açıdan analizi önem arz etmektedir. Bu sistematik derleme makalesinin amacı askerlerin standart olarak taşıdıkları yüklerin görev performansları üzerindeki etkilerini ölçen bilimsel çalışmaları biyomekanik bir bakış açısı ile incelemektir. Bu bağlamda, bu makale üç ana kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda askeri standart yükleri ve bunların kullanım amaçları hakkında özet bilgiler verilmektedir. İkinci kısımda, askerlerin performanslarının biyomekanik açıdan test edilmesi için kullanılan biyomekanik test metodları hakkında bilgilendirme sağlandıktan sonra üçüncü kısımda genel olarak biyomekanik testler sonucunda elde edilen veriler ile askerin görev performansları arasındaki ilişki değerlendirilmektedir. Son kısımda ise genel değerlendirme ve bu alanın geleceği hakkında önerilerde bulunmaktadır.

## 2. Standart Askeri Yükler

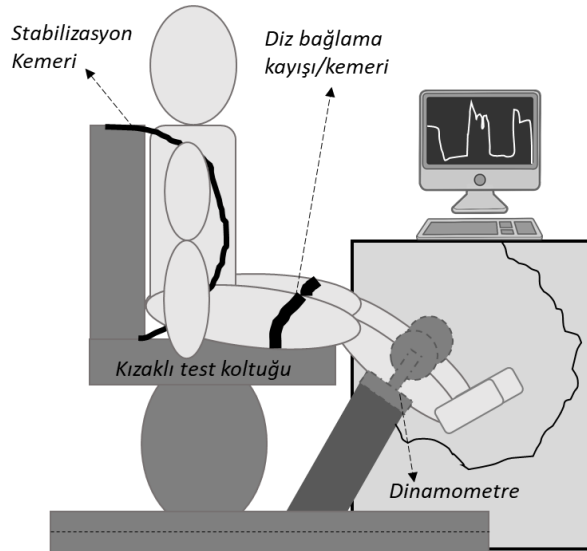
Standart askeri yükler, savaşta ve eğitimde gereken giysi ve taşınan her türlü ekipmanı içerir. Bireysel koruyucu ekipmanlar/donanımlar askeri yüklerin olmazsa olmaz parçalarıdır ve operasyon alanında meydana gelebilecek tehlikelerden en az hasarla kurtulmak için askeri personel bireysel koruyucu donanıma sahip olmak zorundadır. Askerler için bireysel koruyucu donanımlar, eğitim ve savaş ortamında sahip olunması gereken her türlü giysi ve teçhizatlarına hepsini birden içeren genel bir kavramdır. Çok farklı özelliklerde bireysel koruyucu donanım bulunmaktadır. Bu donanımları genel olarak şu şekilde sıralayabiliriz: kamuflaj, yelek, eldiven, kask, dizlik, dirseklik, bot, gözlük ve kulaklık. Koruyucu ekipmanlar askerleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik tehlikelere karşı korumayı amaçlamaktadır. Tarihsel sürece baktığımızda yürütülen askeri operasyonların çeşitliliği ve karmaşıklığı, çoğunlukla askeri operasyona özel ekipmanların taşınmasını ve yürüyerek arazi ve iklim koşullarında uzun zamanlar hareket edilmesini gerektirir (Lewis ve ark., 2017). Askeri yükler hayatta kalmak ve operasyonun başarısı için çok önemlidir. Örneğin, teçhizatın çok fazla ve ağır olması arazide ve operasyon bölgesinde hayatta kalma mücadelesi sırasında bir risk kaynağı oluşturabilmektedir (Orr, 2010; Billing ve ark., 2015). Askeri yükleri ele alırken birkaç hususa dikkat etmek gerekir: Askerler tarafından taşınan yükler kuru yüklerdir. Fakat örneğin askerin giydiği bir palto ıslandığı takdirde kuru ağırlığının üç katına kadar çıkabilir (Orr, 2010). Bu çalışmada standart askeri yüklerin askerlerin görev performansları üzerine etkileri biyomekanik açıdan incelendiğinden, konunun daha iyi anlaşılması için özellikle performans üzerine olumsuz etki ortaya çıkarabilecek askeri yükler hakkında aşağıda kısa bilgiler verilmiştir.

Askerler tarafından kullanılan ekipmanlar hem askeri ne ölçüde koruduğu hem de hareketi ne ölçüde kısıtladığı hususunda önemli bir faktördür (Larsen ve ark., 2011; Brown ve ark., 2017; Hasselquist ve ark., 2018; Giles ve ark., 2019). Kamuflaj, personeli korumak ve düşmana karşı stratejik üstünlük sağlamak amacıyla ortaya çıkmıştır. Kamuflajlar hafif olması hem de yırtılmaya karşı mukavemetinin fazla olması nedeniyle genellikle örme polyester kumaştan üretilir (Risteski ve ark., 2017; Denning, 2018). Zırhlı yeleklerde önceleri zırh olarak çelik plakalar kullanılırken, zamanla çeliğe göre hem daha mukavemetli hem de çok daha hafif olan sentetik liften üretilen plakalar kullanılmaya başlanmıştır. Yelek ağırlıkları üzerindeki zırh türüne göre 1,1-13,6 kg arasında değişmektedir (Carr ve Lewis, 2014). Kask kafa bölgesine zarar verebilecek etkenlere karşı askeri korumak için kullanılmaktadır. Önceleri direkt olarak çelikten üretilen kasklar kullanılırken (Ivins ve ark., 2007; Kulkarni ve ark., 2013), günümüzde kasklar fiber kompozit, polietilen lifler, fenolik reçine gibi hafif ve sağlam malzemelerden üretilmektedir (Kulkarni ve ark., 2013). Askerin kafa hareketlerini kısıtlamaması açısından kask tasarımı önemli bir faktördür (Breeze ve ark., 2011; Kulkarni ve ark., 2013; Zwolińska ve ark., 2014). Botlar muharebe ortamında askerin giymesi için tasarlanmıştır. Günümüz askeri modern savaş botları, bulunulan ortama uygun, sağlam ve rahatlık sağlayacak şekilde üretilmektedir (Hamill ve Bense, 1996). Askerlerin kullandığı botlar, kullanılan malzeme ve mevsim farklılıklarında kullanım amaçlı çift olarak 1 ila 2 kg arasında değişmektedir. Askerin performansını yakından

etkileyen bir diğer unsur ise taşıdığı çanta ve yükleridir. Askerlerin taşıdığı toplam yüklerin mevsim şartları, operasyon süresi vb. etkenlere göre 80 kg'a kadar çıktığı bilinmektedir (Koerhuis ve ark., 2009; van Dijk, 2009). Yukarıda da bahsedildiği gibi, yük artışı askerin yavaşlaması, konforun eksilmesi ve çeşitli fizyolojik rahatsızlıklara sebep olmaktadır (Martin ve ark., 2020). Bu açıdan askerlerin bu standart askeri yükler altındaki görev performanslarını test etmek için çeşitli biyomekanik testler uygulanmaktadır.

### 3. Biyomekanik Test Yöntemleri

Askerlerin belirli yükler altında performanslarının incelenmesi için çeşitli alt uzuv (bacak) kuvvetini ve gücünü ölçmeye yönelik biyomekanik testler mevcuttur. Bu testler genel olarak üç başlık altında toplanabilir: İzometrik kas kuvveti ölçümü testleri, izokinetik kas kuvveti ölçüm testleri ve alt uzuv güç ölçümleri. Bu testlerin sonucunda elde edilen biyomekanik ölçümler genellikle: üretilen kuvvet (Newton), kaldırılan maksimum yük miktarı (kilogram), elde edilen mesafe veya yükseklik (uzunluk ölçümleri) ve gerçekleştirilen toplam iş veya güç (watt)' tür. Bu testler askerlerde genellikle farklı yük taşıma sırasında ya da belirlenen askeri görevler öncesinde ya da sonrasında yapılır. Bu görevler genel olarak yüklü yürüyüşler, bir nesne taşıma ve yük taşıma sırasında görev performans ölçümleri şeklinde üç ana kategoriye ayrılır.



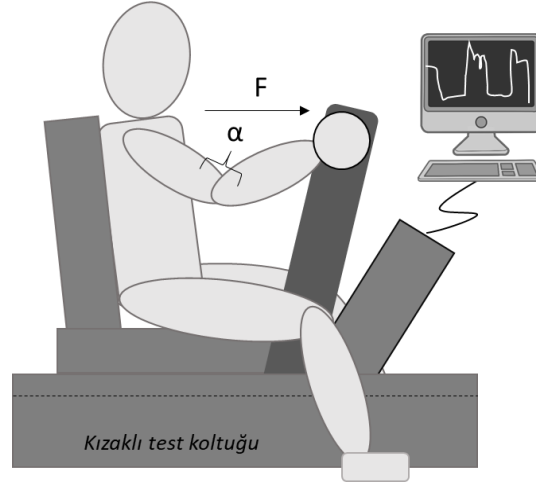
Şekil 1. İzometrik kas kuvveti ölçümü yapmak için kullanılan standart bir biyomekanik test cihazının şematik çizimi.

#### 3.1. İzometrik Kas Kuvveti Ölçüm Testleri

İzometrik test, kas dokusunun statik kuvvetinin maksimum potansiyelini ölçmek için kullanılan bir biyomekanik test türüdür. İzometrik testte, eklem açısında herhangi bir görünür oranda değişim olmaksızın bir kas dokusunun kasılması sonucu ortaya çıkan statik kuvvetin ölçülmesi esastır (Danneskiold Samsøe ve ark., 2009). "İzometrik" terimi, Yunanca "isos" (eşit) ve "metria" (ölçme) kelimelerini birleşmesi sonucu ortaya çıkmıştır, yani bu testlerde kasın uzunluğu ve eklem açısı

değişmez, ancak ölçülmek istenilen kas dokusunun kasılma kuvveti değişebilir. Bu test genel olarak bacak, kol, sırt ve el kavrama kuvvetinin tensiyometre (gerilim ölçer) ve/veya dinamometre (kuvvet ölçer) (Şekil 1) ile ölçülmesi prensibine dayanır (Bäckman ve ark., 1995). Şekil 1’de gösterildiği gibi bu cihaz genellikle bir dinamometre, kızaklı test koltuğu, diz bağlantı kayışı/kemeri ve ayrıca göğüs, bel, uyluk ve kaval kemiği stabilizasyon kemeri/kayışlarını içerir. İzometrik testler, genel olarak askerlerin performansını yakından etkileyebilecek olan bacak kaslarının, çoğunlukla sandalyeye dik oturma pozisyonunda (Şekil 1) ve/veya sırt üstü pozisyonunda dizin ekstansiyon ve fleksiyon ve ayak bileğinin plantar fleksiyon hareketi sırasında ortaya çıkan statik kas kuvvetini ölçmek için kullanılır (Orr ve ark., 2019).

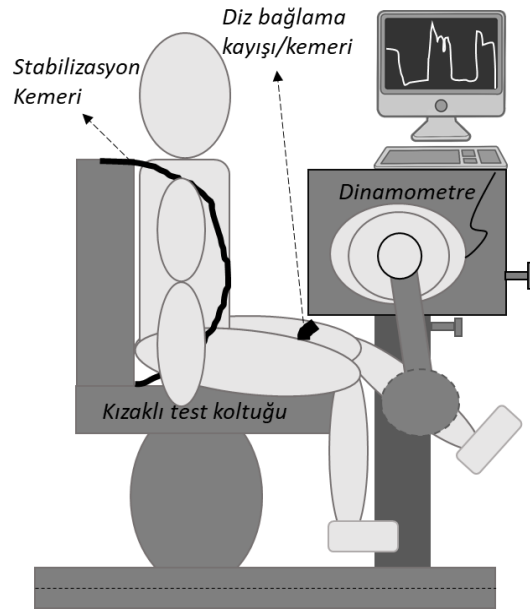
Bu kapsamda önceki yıllarda yapılmış sınırlı sayıdaki çalışmalar göz önüne alındığında, bu ölçümlerin eklemlerin hareket aralığı da göz önüne alınarak, genellikle oturur pozisyonunda (Şekil 1) ya da sırt üstü pozisyonunda ve izin verilebilir farklı eklem açıları ile yapıldığı görülmektedir. Örneğin, geçmişte yapılan çalışmalarda 120° ila 130° diz açıları ile dizin ekstansiyonu sırasında kas dokusunun izometrik kuvveti özel tasarlanmış dinamometre cihazları ile ölçülmüştür (Knapik ve ark., 1990; Koerhuis ve ark., 2009). Yine ayak bileğinin plantar fleksiyon sırasındaki statik kas kuvveti ölçümleri 120 ° eklem açısı (Knapik ve ark., 1990) ve dik oturur pozisyonunda 80 ° diz açısı ve 90° ayak bileği açısı iken ölçülmüştür (Rayson ve ark., 2000). Yine literatürdeki sınırlı sayıdaki çalışmalar göz önüne alındığında, izometrik statik kas kuvveti ölçümü, askerlerde kol ve el kavrama kuvvetinin ölçülmesi içinde kullanılmaktadır. Örneğin, kol ekstansiyonu sırasındaki statik kol kası kuvveti, askerlerin sırtı dikey bir plakaya karşı ve eller gövdenin önünde omuz hizasında ve dirsek açıları 160° iken (Şekil 2), elleri ile vücutlarının önlerinde bulunan bir çubuğa bastırarak, kollarını uzatmaya çalışması sırasında ölçülmüştür (Koerhuis ve ark., 2009). Şekil 2’de gösterildiği gibi bu testte, statik kol kası kuvvet, sırt dikey bir plakaya karşı ve eller gövdenin önünde omuz hizasında ve belli bir dirsek açısında ( $\alpha$ ) iken, eller ile önlerinde bulunan bir çubuğa bastırarak, kolların uzatılmaya çalışması sırasında ölçülür. Kol fleksiyonu sırasındaki kas kuvveti ise, kol gövdeye paralel ve direk açısı 90° olacak şekilde ön tarafa dönük iken, kolu fleksiyona getirmek için maksimum kuvvet çabası olarak ölçülmüştür (Koerhuis ve ark., 2009). Askerlerin el kavrama kuvveti ise, silah kabzası şeklindeki özel dinamometre cihazlarının, komut üzerine olabildiğince sıkı bir şekilde tutulması yardımıyla ölçülmüştür (Knapik ve ark., 1990).



**Şekil 2.** Kol kası kuvvetlerini ölçmek için kullanılan bir biyomekanik test ekipmanı örneğinin şematik çizimi.

### 3.2. İzokinetik Kas Kuvveti Ölçüm Testleri

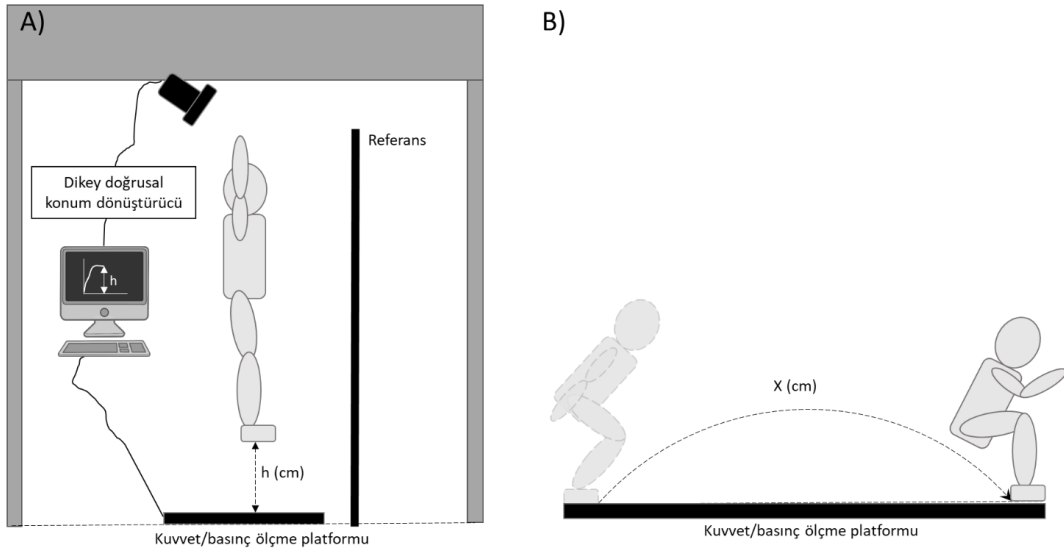
İzokinetik testte, özel bir dinamik dinamometre cihazı ile (Şekil 3) eklemin önceden belirlenen sabit açısal hızla hareketi sırasında uygulanan eklem momentini ölçerek, dinamik kas gücünün ve genel olarak kas fonksiyonunun değerlendirilmesi esastır (Baltzopoulos ve Brodie, 1989). Şekil 3’de gösterildiği gibi bu cihaz genellikle bir dinamik dinamometre, kızaklı test koltuğu, diz bağlantı kayışı/kemer ve ayrıca göğüs, bel, uyluk ve kaval kemiği stabilizasyon kemeri/kayışlarını içerir. İzokinetik testler, genellikle eklemlerin hareket aralığı (EHA) boyunca uygun direnç uygulanarak, sabit hızda bacak, omuz, kol, kalça, diz, ayak bileği gibi insanın farklı vücut bölümlerindeki kaslarının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Sole ve ark., 2007). Bu test sonucunda maksimum tork ve oluşturduğu açı, herhangi bir EHA açısındaki tork ve kasılmanın ortalama gücü gibi kasın performansını ve kuvvetini belirleyen veriler elde edilir (Danneskiold Samsøe ve ark., 2009). Literatürdeki geçmiş yıllarda yapılan araştırmalar göz önüne alındığında; bu biyomekanik testin askerlerin izokinetik olarak diz ekstansiyonu, diz fleksiyonu, plantar fleksiyon, kalça eklemi ekstansiyonu ve kalça eklemi fleksiyonu sırasındaki kas performanslarını ve kuvvetini ölçmek için kullanıldığı görülmüştür. Bu ölçümlerin tam olarak hangi EHA’ da yapıldığı belirtilmemiş olsa da bu biyomekanik testin genellikle 30, 60, 90, 180 ve 300 derece/saniye gibi farklı sabit açısal hızlarda gerçekleştirildiği görülmüştür (Dziados ve ark., 1987; Mello ve ark., 1988; Knapik ve ark., 1990; Simpson ve ark., 2006).



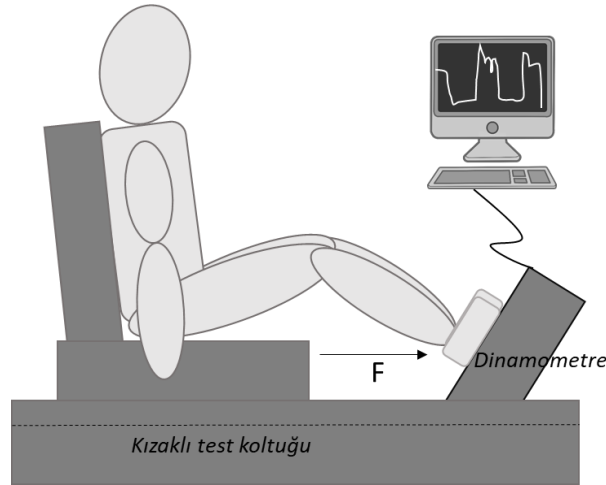
**Şekil 3.** Bacak izokinetik kas kuvvetini ölçmek için kullanılan bir izokinetik dinamik dinamometre test cihazının şematik çizimi.

### 3.3. Diğer Biyomekanik Ölçümler

Askerlerin performansının biyomekanik olarak ölçülmesi sırasında kullanılan diğer testler ise, alt uzuv gücü ölçümü ve izotonik bileşik hareketler (çoklu eklem) veya izole edilmiş tek eklem hareketlerinin değerlendirilmesidir. Şekil 4'te gösterildiği gibi dikey atlama biyomekanik test tasarımında doğrusal bir konum dönüştürücü (LPT) yardımıyla dikey atlama mesafesi ölçülmektedir. Aynı zamanda platformlarla bütünleşik bulunan kuvvet/basınç ölçme platformları ile de dikey ve yatay atlama sırasındaki iş ve güç ölçümleri de yapılabilir. Askerlerde alt uzuv gücünün ölçümü, genellikle dikey (Şekil 4a) ya da yatay ileri (Şekil 4b) sıçramanın bir varyasyonu şeklinde yapılmaktadır (Beckett ve Hodgdon, 1987; Fallowfield ve ark., 2012; Mala ve ark., 2015). Her ne kadar bu sıçramaların teknikleri arasında bazı farklılıklar söz konusu olsa da bu testler sonucunda elde edilen veriler genellikle maksimum dikey veya yatay yer değiştirme miktarlarıdır. Bu testlerde temel olarak yer değiştirme miktarları hesaplanmakla beraber dikey ya da yatay sıçrama sırasında yapılan iş ve güç özel bir kuvvet/basınç ölçme platformu yardımıyla veyahut çeşitli verileri kullanarak (örneğin, vücut kütlesi, atlama yüksekliği, genişliği ve atlama süresi) hesaplanabilmektedir (Şekil 4) (Beckett ve Hodgdon, 1987; Fallowfield ve ark., 2012; Mala ve ark., 2015). Literatürdeki sınırlı sayıda çalışma göz önüne alındığında, dikey ya da yatay ileri sıçramanın (Şekil 4) standart bir şekilde yapılmadığı ve farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, askerlerin bileşik hareketler değerlendirilmesi tek tekrarlı maksimum çömelme ve bacak baskısı/presi ölçümü şeklinde yapılırken (Şekil 5), izole tek eklem hareketi değerlendirilmesinin bacak ekstansiyonu ölçümü şeklinde yapılmıştır (Knapik ve ark., 1996). Şekil 5'te gösterildiği gibi bu testte, statik bacak presi, sırt dikey bir plakaya karşı ve eller yanlarda iken, bacaklar ile önlerinde bulunan pedallara bastırarak, bacakların uzatılmaya çalışması sırasında ölçülür.



Şekil 4. Örnek bir a) dikey atlama ve b) yatay atlama performans test kurulumunun şematik çizimi.



Şekil 5. Örnek bir izometrik bacak presi test düzeneğinin şematik çizimi.

#### 4. Askeri Performans Analizlerin Biyomekanik Veriler ile Sistematik Olarak İncelenmesi

Sistemik derleme makalesi metodolojisine uygun olarak, Web of Knowledge, PubMed, Google Scholar ve SCOPUS gibi veri tabanlarına İngilizce olarak ‘Askeri personel’, ‘Asker’, ‘Yük taşıma’, ‘Askeri operasyon’, ‘Askeri eğitim’, ‘Güç’, ‘Kuvvet’, ‘Dayanım’, ‘Biyomekanik’, ‘Performans’, ‘Test’ gibi anahtar kelimeler tek tek veya farklı kombinasyonlar ile birleşik olarak yazılarak ve herhangi bir zaman kriteri uygulanmayarak başlangıçta bu konu üzerine 700’den fazla potansiyel makale ve başka türde bilimsel yayınlar elde edilmiştir. Bu makale ve yayınlardan sadece aşağıdaki kriterleri sağlayanlar göz önüne alınmıştır: 1- Çalışmalarda mutlaka askeri personelin ya da askeri öğrencinin kullanılması; 2- Bacak gücü ve/veya kuvvetini ölçen herhangi bir biyomekanik testin uygulanmış olması; 3- Biyomekanik ölçümlerin yanı sıra katılımcıların yük taşıyarak önceden belirlenmiş bir görevi yerine getirmesi ve 4- katılımcılardan elde edilen biyomekanik verilerinin onların görev performansları ile ilişkilendirilmiş olmasıdır. Elde edilen 700’den fazla makale bu kriterlere göre incelenip, yinelenen ve kriterlere uygun olmayan makalelerin çıkarılmasından sonra



toplamda 14 adet çalışma bu makalenin amacı doğrultusunda tüm dâhil edilme kriterlerini sağladı. Belirlenen tüm uygun tam metin makaleler daha sonra detaylı bir şekilde okunarak ve gözden geçirilerek bu sistematik derleme makalesi için kullanıldı.

Kapsamlı literatür taraması sonucunda, askerlerin bazı önceden belirlenmiş görevleri yapabilmeye performansları ile yukarıda bahsedilen biyomekanik testler sonucu elde edilmiş kuvvet, güç ve dayanım verilerinin ilişkilendirildiği 1985-2022 yılları arasında yayınlanmış toplamda 14 adet çalışma olduğu belirlenmiş ve bu çalışmalar ile ilgili temel bilgiler Tablo 1’de özetlenmiştir. Bu çalışmalar içerisinde askerlerin yukarıda bahsettiğimiz biyomekanik testler neticesinde elde edilen alt uzuv (bel altı/bacak) dayanımı, kuvveti, gücü veya kaldırılan maksimum yük miktarı, sıçrama sonrası elde edilen mesafe veya yükseklik ve gerçekleştirilen toplam iş veya güç gibi biyomekanik verileri ile önceden belirlenmiş görevleri yerine getirebilme performansları arasında bir ilişki olup olmadığı test edilmiştir.

**Tablo 1.** Askerlerin taşıdığı yüklerin görev performansı üzerine etkilerini araştıran ve biyomekanik test ve analiz verilerini içeren bugüne kadar yayınlanmış bilimsel araştırmaların temel içerikleri.

<b>Çalışmayı Yürütenler ve Yayınlanma Yılı</b>	<b>Katılımcılar</b>	<b>Uygulanan Biyomekanik Testi</b>	<b>Askeri Görev Performans Testi</b>
Martin ve Nelson (1985)	16 erkek ve 14 kadın askeri öğrenci	Dikey sıçrama testi	Farklı ağırlıktaki yükler ile yürüme testi
Beckett ve Hodgdon (1987)	102 donanma personeli: 64 erkek ve 38 kadın	İzometrik biyomekanik testi	Farklı ağırlıktaki yükler ile koşu testi
Dziados ve ark., (1987)	49 piyade askeri	İzokinetik biyomekanik testi	Yüklü yürüyüş testi
Marcinik ve ark., (1987)	72 erkek askeri donanma personeli	İzokinetik biyomekanik testi ve maksimum bacak presi testi	Yük taşıma ve bileşik görev bitirme süresi testi
Mello ve ark., (1988)	28 Askeri personel	İzotonik biyomekanik testi	Farklı ağırlıktaki yükler ile yürüme testi
Knapik ve ark., (1990)	96 piyade askeri personel	İzometrik biyomekanik testi	Yüklü yürüyüş testi
Hackney ve ark., (1991)	62 deniz piyade askeri personel	Wingate/Ergonometre maksimum efor testi	Soğuk (karlı) veya soğuk olmayan bir ortamda yüklü yürüyüş testi
Knapik ve ark., (1991)	89 piyade askeri personel	Dikey sıçrama testi	Yüklü yürüyüş testi
Rayson ve ark., (2000)	304 erkek ve 75 kadın askeri personel	İzometrik biyomekanik testi	Yüklü yürüyüş ve diğer belirlenen görevleri bitirime süresi testi
Simpson ve ark., (2006)	20 erkek asker personel	İzotonik biyomekanik testi	Yüklü yürüyüş testi

Koerhuis ve ark., (2009)	23 erkek muharebe askeri personel	İzometrik biyomekanik testi	Koşu bandı üzerinde yüklü yürüyüş testi
Fallowfield ve ark., (2012)	12 erkek deniz komandosu askeri personel	Dikey sıçrama ve hız testi	Yüklü dikey sıçrama testi
Hunt ve ark., (2013)	104 özel kuvvetler askeri personeli	Aerobik hareket ve dikey atlama testi	Yüklü yürüyüş testi
Mala ve ark., (2015)	18 erkek askeri personel	Dikey sıçrama testi	Yük yaşama, yüklü koşu testi

Literatür taraması sonucunda bu anlamda önümüze çıkan ilk çalışma Martin ve Nelson (1985) tarafından yayınlanmış çalışmadır (Martin ve Nelson, 1985). Bu çalışmada 16 erkek ve 14 kadın olmak üzere toplamda 30 adet askeri okul öğrencisinin taşıdıkları 5 farklı yük miktarı ile farklı performans testleri arasındaki ilişki incelenmiştir (Martin ve Nelson, 1985). Bu performans testleri 25 yard (yaklaşık 22,86 metrelik) kısa mesafe koşusu, çeviklik koşusu (başlangıç çizgisinden ilk olarak 3,05 m uzaklıkta bulunan sonrasında 3,05 m aralıklarla yerleştirilmiş, 20 cm çapında dört dairesel engelden oluşmuştur), durarak uzun atlama, reaksiyon-hareket testi (katılımcıların bir yönlü ışık sinyaline sağa veya sola dönerek ve 4,6 m koşarak tepki verdikleri reaksiyon hareketi testiydi) ve son olarak merdiven tırmanışı testlerinden (katılımcıların ayakları dokuzuncu basamak seviyesine veya 3,05 m seviyesine ulaşana kadar her bir basamağı arasında 30,5 cm mesafe olan dikey bir merdivene tırmanma) oluşmuştu. Bu askeri öğrencilerin ekstra olarak taşıdıkları yükler erkekler için 0,77 kg'dan 36,73 kg'a kadar, kadınlar için ise 0,59 kg'dan, 36,09 kg'a kadar artan şekilde birbirinden ayrı olarak değerlendirilmiştir (Tablo 1). Bu çalışmanın sonucunda, genel olarak yapılan performans testleri sonuçları her yük taşıma durumu için farklı bulunmuştur ve daha önemlisi genellikle yük taşıma miktarı arttıkça performans sonuçlarının doğrusal bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir (Martin ve Nelson, 1985).

Literatürdeki katılımcı sayısı bakımından en kapsamlı ilk araştırma 1987 yılında yayınlanmıştır (Beckett ve Hodgdon, 1987). Bu çalışmaya 64 erkek ve 38 kadın olmak üzere toplam 102 deniz donanmasına bağlı askeri personel katılmıştır. Bu askerlere başlangıçta izometrik 76 kg kaldırma kuvveti tarama testi uygulanmıştır ve bu testi geçen adaylar çalışmaya dâhil edilmiştir. Bu katılımcıların görev performanslarını ölçmek için toplam 51,4 m gidiş-geliş mesafesi boyunca 34 kg ağırlığındaki kutuları 5 dakika boyunca taşıması istenmiştir, ardından 1 dakika dinlendirilen katılımcılara, ikinci kez aynı mesafe içinde kutuyu 5 dakika boyunca taşıması istenmiştir (Tablo 1). Bu iki turdaki sürede kat ettiği toplam mesafe ölçülüp sonrasında güç birimine çevrilmiştir. Diğer alt bacak kuvvetini ve gücünü biyomekanik olarak test etmek için bu katılımcılara durma pozisyonundan dikey ve ileri yatay atlama yaptırılarak elde edilen mesafeler kaydedilip, sonrasında güç birimine çevrilmiştir. Çalışmanın sonucunda katılımcıların kutu taşıma performansları ile onların dikey ve ileri

yatay atlama mesafe ve güçleri arasında pozitif korelasyon olduğu bulunmuştur (Beckett ve Hodgdon, 1987).

Aynı yıl yayınlanan başka bir çalışmada ortalama yaşı 21,8 olan 49 piyade askerinin alt uzuv kuvvet ve gücü ile görev performansı arasındaki ilişki incelenmiştir (Dziados ve ark., 1987). Bu çalışmada askerlerin 10 mil (16 km) genellikle birkaç tepelik dışında düzgün bir asfalt yolda  $18\pm 1$  kg askeri yük ile yürüyüş görev performanslarının alt-bacak kuvveti ile ilişkileri incelenmiştir (Tablo 1). Askerler bu askeri yük ile yaptıkları yürüyüşü ortalama 2,4 saatte (1,72 ila 2,87 saat arasında) tamamlamıştır. Bu kapsamda öncelikle katılımcıların sağ bacaklarından (hamstring ve kuadriseps kaslarından) alt uzuv dinamik kuvveti 3 kez kasılma sırasında  $60^\circ/s$ ,  $180^\circ/s$  ve  $300^\circ/s$  açısal hızlarındaki diz ekstansiyonunun ve diz fleksiyonunun izokinetik kuvveti ortalama tepe torku olarak bir dinamometre ile ölçülmüştür (Dziados ve ark., 1987). Bu çalışmanın sonucunda 16 km'lik yürüyüşü bitirme zamanı ile  $60^\circ/s$ ,  $180^\circ/s$  ve  $300^\circ/s$  açısal hızlarında elde edilen tepe torkları arasında negatif korelasyon olduğu bulunmuştur (Dziados ve ark., 1987). Yani, alt uzuvdan elde edilen tepe torkunun fazla olduğu katılımcıların yürüyüşü daha erken bitirdikleri gözlemlenmiştir.

1987 yılında yayınlanan başka bir çalışmaya yaş ortalaması 19,5 olan deniz donanmasına bağlı 57 erkek askeri personel katılmıştır (Tablo 1) (Marcinik ve ark., 1987). Bunların askeri gemilerde sıklıkla yapılan üç görevi yapma performansları ile kol ve bacak kas kuvvetleri arasındaki ilişkileri incelenmiştir. 8 haftalık bir eğitimin ardından, katılımcıların dinamik kas kuvvetleri ölçülmüştür. Omuz ve kol gibi üst uzuv ölçümlerinin yanı sıra alt uzuvda bir tekrarlı maksimum bacak presi ve diz ekstansiyon kuvveti ölçümü yapılmıştır (Marcinik ve ark., 1987). Daha sonra, katılımcıların 1- çok bağlantılı su geçirmez kapıyı açma/kapama, 2- boya kovası taşıma ve 3- omuz sürüklenme tekniği ile yaralı personeli taşıma görevlerini belirlenen kurallara göre tamamlamaları istenmiştir. Ayrıntılı olarak katılımcılardan, filoda yaygın olarak kullanılan önceden belirlenmiş bir sırayı takip eden 8 bağlantılı bir su geçirmez kapının bağlantı parçalarını önce açmaları sonrada tekrar kapatmaları istenmiştir (Marcinik ve ark., 1987). İkinci görevde ise katılımcıların, eğimli bir merdivenden inip çıkmayı da içeren toplamda 45,7 metrelik bir parkurda 22,7 kg'lık bir kova taşımaları gerekmiştir (Marcinik ve ark., 1987). Üçüncü görevde ise katılımcılardan 75,4 kg'lık bir yapay mankeni su geçirmez bir kapının kenarından 12,8 metre mesafede omuzlarıyla sürüklemeleri istenmiştir (Marcinik ve ark., 1987). Katılımcıların tüm bu görevleri tamamlama süreleri kaydedilmiştir. Aynı zamanda bu üç görevi bitirme sürelerinin toplamı birleşik görev performansı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda yapılan regresyon analizleri ile katılımcıların bacak presi ölçümlerinin boya kovası taşıma, omuz sürüklenme tekniği ile yaralı personeli taşıma ve birleşik görev tamamlama sürelerini tahmin edebildiği gözlemlenmiştir ( $R^2=0,313$  ila  $0,552$  arasında,  $p<0,05$ ) (Marcinik ve ark., 1987).

1988 yılında yapılan başka bir çalışmada ise yaş ortalaması 21,7 olan 28 asker katılmıştır (Tablo 1) (Mello ve ark., 1988). Bu çalışmada katılımcıların dominant bacaklarından diz fleksiyon (hamstring) ve diz ekstansiyon (kuadriseps) alt uzuv dinamik kuvvetleri dinamometre yardımıyla ölçülmüştür (Mello ve ark., 1988). Ölçümler yaklaşık  $90^\circ$  hareket aralığında  $0,30$  ve  $180^\circ/s$  açısal hızlarda 3 ardışık

maksimum kasılma sonrasında elde edilen tepe tork değerlerinin ortalaması şeklinde yapılmıştır. Ayrıca alt uzuv kas dayanıklılığı (hamstringler ve kuadriseps kaslarında) 180°/s açısal hızda 50 ardışık en fazla kasılmanın ortalama torku şeklinde ölçülmüştür (Mello ve ark., 1988). Askerlerin alt uzuv kuvvetleri ve dayanıklılıkları ölçüldükten sonra katılımcılardan her biri toplam 46 kg (28 kg sırtlarında ve 18 kg standart askeri koruyucu donanım yükü) yükü 2, 4, 8 ve 12 km olmak üzere dört farklı mesafede mümkün olan en hızlı şekilde taşınması istenmiştir (Mello ve ark., 1988). Sonuçta askerlerin 2 ve 4 km yük taşıma performansları ile alt uzuv kuvvetleri ve dayanıklılıkları arasında önemli bir korelasyon bulunamamasına rağmen, 8 ve 12 km'deki yük taşıma performansları ile alt- uzuv kuvvetleri ve dayanıklılıkları arasında önemli korelasyonlar gözlemlenmiştir ( $r$  değeri= -0,480 ila -0,608 arasında rapor edildi) (Mello ve ark., 1988). Sonuçlar katılımcıların alt uzuv kuvvetleri ve dayanıklılıkları artıca 8 ve 12 km'deki yük taşıma görevlerini daha kısa zamanda tamamladıklarını göstermiştir.

Literatürde gerek katılımcı sayısı gerekse uygulanan biyomekanik testler bakımından en kapsayıcı çalışmalardan biri Knapik ve ark., (1990) tarafından yayınlanmıştır. Bu çalışmaya askerlik tecrübeleri 3 yıl ve altında, ortalama yaşı 21 olan toplam 96 erkek asker katılmıştır (Tablo 1), katılımcıların %65'e yakınının buldukları birimdeki görev süresi 6 aydan daha az olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada askerlerin ağır yük taşıma performansı ile çeşitli fizyolojik ölçümler (biyomekanik ölçümler de dâhil) arasındaki ilişki incelenmiştir (Knapik ve ark., 1990). Bu kapsamda diğer fizyolojik ölçümlerin (örneğin, kilo, artımlı egzersiz sırasında ölçülen maksimum oksijen tüketimi oranı, duygusal mod durumu gibi) yanı sıra alt uzuv dinamik izometrik, izokinetik kuvvet ve dayanıklılık ölçümlerinde dâhil olmak üzere çeşitli biyomekanik ölçümler gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). Yük taşıma görevi askerlerin toplam 46 kg yükü 20 km'lik bir parkurda olabildiğince hızlı taşınması şeklinde olmuştur (Knapik ve ark., 1990). Bu parkurun, ilk 10 kilometresinde çok az yükseklik değişikliği olduğu ve 2 km dışında parkurun tümü asfalt olduğu rapor edilmiştir (Tablo 1). 10 ila 15 km arasında parkurun asfalt olduğu ancak parkurda 15 metreye kadar yükseklik değişiklikleri olan inişli çıkışlı tepeler olduğu rapor edilmiştir. Parkurun son 5 km'sinin 1,5 km'si toprak yol olmak üzere çoğunlukla düz olduğu belirtilmiştir (Tablo 1). Sağ diz ekstansörünün (DE), diz fleksörünün (DF) ve ayak bileği plantar fleksörünün (PF) izometrik ve izokinetik kuvveti modifiye edilmiş bir dinamometre ile ölçülmüştür (Knapik ve ark., 1990). İzometrik kuvvet ölçümleri tüm hareket aralığında sırasıyla DE, DF ve PF için 120°, 160° ve 120° izometrik açılarında ölçülürken, izokinetik kuvvet ölçümleri 0,52 ve 3,14 radyan (rad) saniye hızlarında ölçülmüştür (Knapik ve ark., 1990). DE ve DF için her bir kasılma tipi için üç maksimum gönüllü çabadaki veriler kaydedilmiştir ve bu ölçümlerin ortalaması kullanılmıştır. PF için ise ilk fleksiyonun/daralmanın sonraki iki tanesinden önemli ölçüde daha düşük olduğu bulunduğu için son iki kasılmanın ortalaması kullanılmıştır (Knapik ve ark., 1990). Toplanan veriler tepe torku ve toplam iş olarak rapor edilmiştir. Bu çalışmada rapor edilen diğer bir biyomekanik ölçüm ise dikey sıçrama mesafesi olmuştur. Dikey sıçrama için denekler ayakları yerde ve vücutları bir ölçüm direğinin yanında durmuşlardır. 3 deneme sonrası en yüksek sıçrama/zıplama

mesafesi kayıt edilmiştir (Knapik ve ark., 1990). Son olarak, anaerobik bacak gücünü ölçmek için katılımcılara Wingate/Ergonometre anaerobik testi yapılmıştır. Bu teste katılımcıların 30 saniye boyunca ağırlıklarına göre (0,075 kg/kg vücut ağırlığı) volana uygulanan bir dirence karşı olabildiğince hızlı pedal çevirmesi istenmiştir (Knapik ve ark., 1990). Test sonucunda maksimum ve ortalama bacak güçleri kayıt altına alınmıştır. Bu çalışma sonucunda, alt uzuv izometrik ve izokinetik kuvveti ve wintage testinden elde edilen bacak gücü ölçümlerinin katılımcıların 46 kg'lık yükü 20 km'lik bir parkurda taşıma performansları ile yakından ilişkili olduğu bulunmuştur ( $r$  değeri=-0,18 ila -0,29 arasında rapor edilmiştir) (Knapik ve ark., 1990). Fakat dikey sıçrama ölçümü ile yük taşıma performansları arasındaki ilişki istatistiksel olarak önemli seviyeye ulaşmadığı rapor edilmiştir ( $r$ =-0,14) (Knapik ve ark., 1990). Yapılan biyomekanik ölçümler sonucu alt uzuv kuvveti (toplam tork ve toplam iş) ve bacak gücü fazla olan katılımcıların parkuru daha kısa sürede bitirdiği gözlemlenmiştir. 1991 yılında 21 yaş ortalamasına sahip 62 erkek donanma askeri ile gerçekleştirilen başka bir çalışmanın amacı toplam 20-25 kg'lık yükler ile gerçekleştirilen yürüyüşler, kaya tırmanışı ve piyade muharebe manevraları gibi askeri saha operasyon görevlerinin soğuk (karlı) veya soğuk olmayan bir ortamda 96-120 saat boyunca yapılması sonucu askerlerin alt uzuv kuvvet ve güç ölçümlerindeki değişimi incelemek olduğu ilgili çalışmada belirtilmiştir (Hackney ve ark., 1991). Askerlerin anaerobik bacak güç ölçümü wingate/ergonometre testi ile hem askeri görev öncesi hem de askeri görev sonrası ölçülmüştür. Bu test katılımcıların önce yaklaşık 30 W'ta 3 dakikalık bir ısınması ile başlayıp sonrasında  $[0,095 \times \text{vücut ağırlığı (kg)}]$  şeklinde ayarlanan bir direnç ayarına karşı maksimum 30 s pedal çevirme şeklinde uygulanmıştır (Hackney ve ark., 1991). Sonrasında test yine ~ 30 W'da 3 ila 4 dakikalık bir soğuma periyodu ile bitirilmiştir. Bu testten elde edilen biyomekanik ölçümler şunlardır: 1- Mutlak 30 saniyelik ortalama güç (W), 2- Bağlı 30 saniyelik ortalama güç (W / kg vücut ağırlığı), 3- Mutlak 5 saniyelik tepe gücü (W), 4- Bağlı 5 saniyelik tepe gücü (W / kg vücut ağırlığı) ve 5- Yorgunluk indeksi (% = son 5 saniye güç çıkışı/ilk 5 saniye güç çıkışı X 100) (Hackney ve ark., 1991). Çalışma sonucunda elde edilen veriler askeri görevi tamamlama sonrası mutlak tepe gücünün hem soğuk hem de soğuk olmayan ortamlarda önemli ölçüde azaldığını gösterilmiştir (yaklaşık %4,5 oranında düşüş,  $p < 0,01$ ) (Hackney ve ark., 1991). Aynı şekilde bağlı tepe gücünün, hem soğuk hem de soğuk olmayan gruplarda askeri görevi tamamlama sonrası önemli ölçüde azaldığı rapor edilmiştir (soğuk ortamda %3,1 ve soğuk olmayan ortamda % 1,6 oranında azalmıştır,  $p < 0,05$ ) (Hackney ve ark., 1991).

Knapik ve ark. (1991) tarafından 1990 yılında yapılan kapsamlı çalışmaya ek olarak 1991 yılında 21 yaş ortalamasına sahip 89 asker üzerinde yaptıkları çalışmanın bir kısmında, 46 kg'lık yükü 20 km taşıma görevinin askerlerinin alt uzuv gücü ile yakından ilişkili olan dikey sıçrama mesafesindeki değişim üzerindeki etkisini incelemişlerdir (Knapik ve ark., 1991). Bu bağlamda askerlerin hem görev hem de görev sonrası dikey sıçrama mesafeleri 3 deneme sonrası elde edilen en yüksek değer şeklinde rapor edilmiştir. Askeri yük taşıma görevi çoğunlukla düz yol içeren bir parkurda sırt çantası, üniforma, silah, kask ve yük taşıma ekipmanı dâhil toplamda yaklaşık 46 kg'lık yük taşımak şeklinde

gerçekleştirilmiştir (Knapik ve ark., 1991). Yürüyüş parkurunun her 5 km'lik kısmındaki kontrol noktalarında su ve yiyecek bulundurulmuştur ve katılımcıların parkuru en kısa sürede bitirmeleri istenmiştir. Araştırma sonucunda askerlerin görev öncesi ve görev sonrası dikey sıçrama mesafeleri arasında istatistiksel olarak bir fark gözlemlenmemiştir (45,7 cm ve 45,0 cm,  $p = 0,307$ ) (Knapik ve ark., 1991).

2000 yılında Rayson ve ark., (2000) tarafından yayınlanan çalışma şu ana kadar literatürde en fazla katılımcıyla yapılmış olan çalışmadır. 23,5 yaş ortalamasına sahip 304 erkek ve 75 kadın askerin katıldığı bu çalışmada, katılımcıların önceden belirlenmiş dört farklı görevi yapma performansları ile çeşitli biyomekanik ölçümler (alt uzuvdan elde edilen ölçümler de dâhil olmak üzere) arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu kapsamda, üst uzuvdan elde edilen biyomekanik ölçümlerin yanı sıra aynı zamanda katılımcıların baskın bacaklarından diz açısı  $80^\circ$  ve ayak bileği açısı  $90^\circ$  olacak şekilde oturur pozisyonda iken izometrik plantar fleksiyon kuvveti ölçülmüştür (Rayson ve ark., 2000). Sonrasında katılımcılardan 1- 30 metrelik bir parkurda 20 kg su dolu bir plastik kabı 1,5 m/sn hızla mümkün olduğu kadar uzun süre taşınması, 2- 10, 22 ve 44 kg'lık kutuları 10 m alıp taşınmasını ve 1,45 m yüksekliğe yerleştirmesini, ardından kutuyu geri almasını ve yere yerleştirmek için başlangıç noktasına 10 m geri götürmesini gerektiren tekrarlı kaldırma ve taşıma görevini 6, 3 ve 1 sefer/dakika hızında yapması ve 3- Sırt çantasında 15, 20 veya 25 kg yük ile mümkün olan en kısa sürede 12,8 km düz bir parkurda yürüyüşü bitirmesi istenmiştir (Rayson ve ark., 2000). Çalışma sonucunda görev performanslarını tahmin etmek için oluşturulan regresyon modellerinde, 44 kg'lık kutu ile yapılan tekrarlı kaldırma ve taşıma görevi için plantar fleksiyon kuvvetinin her ne kadar istatistiksel olarak anlamlı seviyeye ulaşmamış olsa bile ( $p>0,05$ ) en yüksek 5 korelasyon katsayısından (tahmin edici parametreden) biri olduğu bulunmuştur (Rayson ve ark., 2000). Diğer görev performansları için plantar fleksiyon kuvvetinin önemli tahmin edici bir parametre olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

2006 yılında yaş ortalaması 27,5 olan 20 erkek askeri özel kuvvetlerden oluşan katılımcıların bulunduğu başka bir çalışmada, Simpson ve ark., (2006) askerlerin yük taşıma performansları ile alt uzuv kuvvet ölçümleri dâhil olmak üzere çeşitli fizyolojik ölçümler arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu kapsamda katılımcıların hem kalça hem diz fleksörleri ve ekstansörlerinin eş merkezli izokinetik gücü sırası ile 1,57 rad/s ve 1,04 rad/s açısal hızlarında, her bir kasılma tipi için beş maksimum gönüllü çabadaki veriler kaydedilmiş ve bu ölçümlerin ortalaması kullanılmıştır. Sonrasında katılımcılardan 1- 20 kg'lık sırt çantası ile 3,2 km boyunca düz asfalt yolda koşma ve 2- 20 kg'lık sırt çantasıyla tepelerin üzerinden 29 km yürüyüş görevlerini tamamlaması istenmiştir (Simpson ve ark., 2006). İzokinetik kuvvet ölçümlerinin her iki yük taşıma göreviyle de istatistiksel anlamda önemli bir korelasyonu gözlemlenmemiştir.

Koerhuis ve ark., (2009) tarafından yayınlanan ve 23,6 yaş ortalamasına sahip 23 erkek komandonun katıldığı çalışmada, katılımcıların ağır yük taşıma performansları ile alt ve üst-uzuvda yapılan biyomekanik ölçümleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Alt uzuv kuvvet ölçümleri için katılımcıların ayakta durma pozisyonundan başlayarak  $90^\circ$  diz fleksiyonundan tekrar 40 cm/s'de ayakta durmaya

kadar dinamik izokinetik çömelme kuvveti 3 kez tekrarlandıktan sonra ortalama kuvvet ve maksimum kuvvet kayıt edilmiştir (Koerhuis ve ark., 2009). Ayrıca, 50° diz fleksiyonunda ayak plakasına karşı izometrik bacak ekstansiyonunun kas kuvveti ölçümü iki kez tekrarlanıp en iyi performans analizi için kullanılmıştır. Biyomekanik ölçümlerden sonra, katılımcılar 20 kg'lık bir sırt çantasını 3 km/saat hızında ve %5 eğimde bir koşu bandında taşınması istenmiştir (Koerhuis ve ark., 2009). Sonrasında katılımcıların son taşıma kapasitesine ulaşana kadar her 4 dakikada bir, sırt çantalarına ekstra 7,5 kg ağırlık eklenmiştir. Eğer katılımcılar son eklenen yükü sadece 4 dakikanın 2 dakikası için taşıdıysa, yük taşıma kapasiteleri bir önceki en ağır yüke 3,75 kg eklenerek tanımlanmıştır (Koerhuis ve ark., 2009). Böylelikle ağır yük taşıma kapasiteleri (AYTK) test edilmiştir. Ayrıca, katılımcıların ağır yük taşıma dayanıklılıkları, mümkün olduğu kadar uzun süre en yakın 7,5 kg'a yuvarlanmış AYTK'nin %70, %80 veya %90 ile 3 km/s hızda ve %5 eğimde bir koşu bandı üzerinde yürüyerek test edilmiştir (Koerhuis ve ark., 2009). Çalışma sonucunda, izometrik bacak ekstansiyonunun kas kuvveti ve hem ortalama hem de maksimum izokinetik çömelme kuvveti istatistiksel olarak anlamlı şekilde askerlerin ağır yük taşıma kapasiteleri ile korelasyonu gözlemlenmiştir ( $r$  değeri=0,53 ila 0,64 arasında rapor edildi) (Koerhuis ve ark., 2009). Bu sonuç, askerlerden alt uzuv kas kuvvetlerinin daha fazla olanlarının daha iyi bir ağır yük taşıma performansı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, izometrik bacak ekstansiyonunun kas kuvvetinin yağsız vücut kütlesi ile birlikte bir regresyon modelinde ağır yük taşıma dayanıklılığını en iyi tahmin eden parametreler olduğu bulunmuştur ( $R^2=0,23$ ,  $p<0,05$ ).

2012 yılında Fallowfield ve ark., (2012) tarafından yayınlanan çalışmaya 22 yaş ortalamasına sahip 12 erkek donanma askeri katılmıştır. Bu çalışmada araştırmacılar katılımcıların dikey sıçrama/zıplama miktarı ve gücü gibi biyomekanik ölçümlerinin toplamda 270 dakika süren 31 kg'lık askeri teçhizatla 19,3 km yük taşıma görevi sonrasındaki değişimini incelemişlerdir. Katılımcıların dikey sıçrama yükseklikleri basınca duyarlı bir atlama minderi üzerinde askeri yükler olmadan (sadece askeri bot ve kıyafetler ile) üç kez maksimum çaba ile zıpladıktan sonra, bu üç zıplamanın ortalaması şeklinde kaydedilmiştir (Fallowfield ve ark., 2012). Dikey atlama gücü askerlerin kiloları ve zıplama yükseklikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Askerlerin yük taşıma öncesi ve sonrası dikey zıplama yükseklikleri (yük taşıma öncesine göre yaklaşık yüzde 8 daha az) ve gücü (yük taşıma öncesine göre yaklaşık yüzde 5 daha az) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu gözlemlenmiştir.

2013 yılında 26 yaş ortalamasına sahip 104 erkek asker üzerinde yapılan başka bir çalışmada (Hunt ve ark., 2013) askerlerin alt uzuv güçlerinin basit bir ölçümü olan dikey sıçrama karşı hareket atlama (a counter-movement vertical jump) mesafeleri ile 20 km'lik bir parkurda toplamda 28 kg'lık bir yükü 3 saat 15 dakika içinde tempolu şekilde yürüyerek tamamlama performansları arasındaki ilişki incelenmiştir (Hunt ve ark., 2013). Bunun için araştırmacılar, katılımcılardan dikey üç defa baskın ellerini mümkün olduğunca yükseğe kaldırarak dikey sıçrama (karşı hareket atlama) hareketi yapmalarını istemişlerdir ve ulaşılan en yüksek noktayı işaretletmişlerdir. Katılımcıların bu üç denemedeki en iyi performansları kaydedilmiştir. Araştırma sonucu, katılımcıların dikey sıçrama

mesafelerinin 20 km yürüyüş performansının tahmin etmek için oluşturulan regresyon modeline önemli ölçüde katkıda bulunduğu bulunmuştur ( $R^2 = 0,269$ ,  $p = 0,004$ ).

Literatürde bu konuda yapılan en yeni çalışma Mala ve ark., (2015) tarafından yayınlanmış olan çalışmadır. Bu çalışmanın amacı, ağır yük taşıma altında yüksek yoğunluklu muharebe görevleri ile askerlerin hem alt uzuv hem de üst-uzuv kuvvet ve gücünün ilişkisini incelemek şeklinde belirtilmiştir. Bu çalışma 21,8 yaş ortalamasına sahip 18 erkek asker katılımcı üzerinde gerçekleştirilmiştir (Mala ve ark., 2015). Bu bağlamda, tek tekrarlı maksimum (1RM) çömelme ve yatarak halter kaldırma (bench-press) protokolü kullanılarak alt uzuv ve üst uzuv gücü ölçülmüştür ve ayrıca alt uzuv gücü bir güç plakası üzerinde dikey sıçrama karşı hareket atlama (.) yöntemi ile değerlendirilmiştir (Mala ve ark., 2015). Her 1RM testi için katılımcılar tahmini olarak 1RM'nin yaklaşık %50'sinde 8-10 tekrar gerçekleştirmişlerdir ve ardından 1RM'nin %85'inde 3-5 tekrarlı başka bir deneme gerçekleştirmişlerdir. Sonrasında çömelme ve yatarak halter kaldırma egzersizi için bireysel 1RM'leri belirlemek için 2-3 dakikalık dinlenme ile birbirinden ayrılmış en fazla 4 maksimum deneme sonucu elde edilen veriler kullanılmıştır (Mala ve ark., 2015). Dikey sıçrama ölçümünde ise üç deneme sonrasında elde edilen maksimum değer rapor edilmiştir. Katılımcıların askeri performanslarının değerlendirilmesi için savaş alanında rutin olarak karşılaşılan patlama altında saldırı ve savunma manevralarını simüle etmek için askerlerden üç görevi (30 m kısa mesafe koşusu, 27 m zikzak koşu, 10 m yerde 79,5 kiloluk kazazede sürüklenme) en kısa sürede yerine getirmesi istenmiştir. Askerler kıyafet ve askeri koruyucu ekipmanlardan oluşan toplam 42 kg'lık askeri yükü taşıırken bu görevleri yerine getirmişlerdir (Mala ve ark., 2015). Çalışmanın sonucunda dikey sıçrama maksimum gücünün tamamlanmış görev bitirme zamanı, kısa mesafe koşu zamanı ve kazazede sürüklenme süresiyle önemli ölçüde ilişkili olduğu bulunmuştur ( $r = -0,60$  ila  $-0,67$  arasında rapor edilmiştir,  $p < 0,05$ ) (Mala ve ark., 2015). 1RM çömelme kuvvetinin de tamamlanmış görev bitirme zamanı, kısa mesafe koşu zamanı, zikzak koşu zamanı ve kazazede sürüklenme süresiyle önemli ölçüde ilişkili olduğu bulunmuştur ( $r = -0,48$  ila  $-0,62$  arasında rapor edilmiştir,  $p < 0,05$ ) (Mala ve ark., 2015). Bu çalışmada elde edilen negatif korelasyonlar yüksek alt uzuv kuvvet veya gücüne sahip olan askerlerin görevlerini daha kısa sürede tamamlama performanslarına sahip olduğunu göstermiştir.

## 5. Değerlendirme ve Sonuçlar

Şimdiye kadar yapılan sınırlı sayıdaki tüm çalışmalar göz önüne alındığında, çalışmalarda kullanılan yüklü yürüyüş görevlerinin gerçekleştiği koşullar, parkur alanları, mesafeler ve taşınan yüklerin ciddi anlamda farklılıklar gösterdiği ve standart bir test prosedürünün bulunmadığı sonucuna ulaşıldı. Bu da çalışmaların birbiri ile kıyaslanmasının önündeki en büyük engellerden biri olarak karşımıza çıkıyor. Diğer taraftan, standart bir ölçüm protokolünün oluşturulması gerekliliğini de gözler önüne seriyor. Genel olarak bu çalışmalar göz önüne alındığında, yüklü yürüyüşlerin gerçekleştirildiği parkurların düz zeminler olduğu ve parkurların sadece bazı bölümlerinde tepeler bulunduğu gözlemlendi. Genellikle bu yüklü yürüyüşler 2 ila 29 km arasında değişen uzaklıklara sahipti. Çalışmalarda verilen



bilgilere dayanarak, bu yüklü yürüyüşlerde askerlerin taşıdıkları yüklerin ortalama 18 ila 46 kg arasında olduğu sonucuna ulaşıldı. Bu çalışmaların sonuçlarına göre genellikle alt uzuv kuvveti ve gücünün artışının daha fazla yük taşıma kapasitesi ile doğru orantılı olduğu bulundu. Benzer şekilde, izometrik ve izometrik güç ölçümü yük taşıma performansı ve yük taşıma süresi ile doğru orantılı bulundu. Diğer taraftan, farklı dikey sıçrama testleri sonuçlarına göre hem yükün artması hem de bir yük taşıma görevinin tamamlanmasının başlangıca kıyasla bacak gücünü önemli ölçüde azalttığını gösterdi. Yine bu çalışmalarda biyomekanik ölçüm olarak sıklıkla alt uzuv kas gücü ve kuvveti ölçümlerinin yapıldığı tespit edildi. Yapılan çalışmalar görev öncesi ve sonrası statik konumda yapılan biyomekanik ölçümlere odaklandığı sonucuna ulaşıldı.

Literatürdeki bugüne kadar yayınlamış tüm veriler ışığında, askerlerin görev performansları taşımış oldukları yükler ile yakından ilişkilidir. Özellikle alt uzuv/bacak kuvveti ve gücü askeri personelin performansının ölçülmesinde önemli bir faktör olarak önümüze çıkıyor. Bu da özellikle özel görevde bulunacak askerlerin seçiminde alt uzuv biyomekanik ölçümlerinin bir seçim kriteri olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, askerlerin özellikle alt uzuv kuvvet ve güçlerinin artırılmasına yönelik egzersizlerin çoğaltılması gerekliliğini vurgulamaktadır. Ayrıca bu durum alt uzuvun gelişen teknolojiyle birlikte yapay dış iskelet sistemi (Zoss ve ark., 2005; Gopura ve Kiguchi, 2009) gibi yeni nesil destekleyici ortez ve mekanizmalar ile güçlendirilmesinin askerlerin görev performanslarında bir artış ortaya çıkarabileceği potansiyeline de işaret etmektedir.

Yapılan araştırmalar sonucunda özellikle bireysel koruyucu ekipmanların standart toplam yükten bağımsız bir faktör olarak askerlerin belirlenmiş görevlerini yaparken performanslarını nasıl etkilediğine yönelik kapsamlı çalışmaların eksikliği görülmüştür ve gelecekte bu konu hakkında yapılacak çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut biyomekanik testler ile görev öncesi ya da sonrası ayrı iki zamanda statik konumda genellikle kas kuvvet ve gücü ölçümleri yapılmaktadır. Özellikle son yıllarda paralel olarak farklı teknoloji alanlarındaki gelişim ile birlikte insanın hareketi sırasında fizyolojik ölçümlerin yanı sıra hareket ve kuvvet ile ilgili çeşitli biyomekanik ölçümleri yapabilecek giyilebilir sensör, internet, GPS ve akıllı telefon teknolojisi tabanlı yeni ölçüm ekipman prototipleri ortaya çıkmaya başlamıştır (Adesida ve ark., 2019; Aroganam ve ark., 2019; De Pasquale ve Ruggeri, 2019; Kiely ve ark., 2019; Dian ve ark., 2020; Lutz ve ark., 2020). Özellikle son teknoloji ile donatılmış "giyilebilir sensör tabanlı ekipmanlar", insanların günlük hayat aktiviteleri ya da görev aktiviteleri sırasında gerçek zamanlı fizyolojik ve hareket ile ilgili verilerin toplanmasını sağlayarak, öznel, zaman alıcı ve niteliksel yöntemlerin yerine dinamik gerçek zamanlı nesnel veriler sağlayarak daha karmaşık ve bütüncül bir biyomekanik analizi sağlayabilme potansiyeline sahiptirler (De Pasquale ve Ruggeri, 2019). Örneğin, klasik yürüme analizi, kuvvet ve basınç ölçme platformlarının yerine, ayakkabı tabanına ya da vücuda yerleştirilen/giyilebilen mikro elektromekanik sistemler/sensörler (MEMS) (Brunetti ve ark., 2006; Abdul Razak ve ark., 2012; Varkey ve ark., 2012; Boyd ve ark., 2013; De Pasquale ve Ruggeri, 2019) ile insanın laboratuvar ortamı dışında günlük yaşam ve/veya görev aktiviteleri sırasında gerçek zamanlı kablosuz hareket, basınç ve kuvvet

ölçümleri yapılabilir (Barrett ve ark., 2014; Cormack ve ark., 2014; De Pasquale ve Ruggeri, 2019; Macadam ve ark., 2019). Özellikle biyomekanik alanında, atalet ve manyeto-atalet ölçümü yapan atalet hareket sensörleri günden güne yaygınlaşmaya başlayan giyilebilir sensör teknolojilerindedir (Fong ve Chan, 2010). Bu kablosuz sensörler atalet/eylemsizlik prensibine dayalı, üç boyutlu doğrusal ivmeölçerler, jiroskoplar ve manyetometrelerden oluşur ve sıklıkla hareket dinamiği ölçümleri yapabilmektedir. Asker görev performansının incelenmesinde klasik olarak uygulanan biyomekanik ölçümlerden olan kas kuvveti ve gücünü ölçmenin ötesinde, belirlenen bir görev ya da senaryo sırasında yeni nesil giyilebilir MEMS tabanlı ekipmanlar ile gerçek zamanlı kapsamlı dinamik biyomekanik ölçümlerin askerlerin görev performansları ve onları geliştirme hususunda daha nesnel ve detaylı bilgiler verebileceğini düşünüyoruz. Bu tarz yeni nesil bütünleşik giyilebilir teknoloji tabanlı biyomekanik testlerden elde edilebilecek yeni bilgiler eşliğinde askerlerin gerek standart yüklerinin gerekse bireysel koruyucu ekipmanlarının tasarımı yeniden ele alınabilir ve askerin görev performansını artıran ve vücut yapısıyla uyumlu daha ergonomik ekipmanların imalatı da sağlanabilir. Bu bakımdan farklı yeni nesil biyomekanik test ekipmanlarının yakın gelecekte sıklıkla askerlerin görev performansının değerlendirilmesi için kullanılma potansiyelinin yüksek olduğunu düşünüyoruz. Diğer taraftan ülkemize bakan yönüyle, bugüne kadar askerlerin performansları ve onlardan alınan biyomekanik ölçümler arasındaki ilişki üzerine herhangi bir bilimsel çalışma yapılmamıştır ve/veya yapılmışsa bile akademik literatürde bulunmamaktadır. Ülkemiz genelinde bulunan seçkin askeri birliklerin seçiminde ve sonrasındaki performans değerlendirmelerinde, bu tarz biyomekanik tabanlı testlerin yaygın olarak kullanılması bu anlamda bu birliklerin seçiminde ve performanslarının değerlendirilmesinde daha objektif standart bir değerlendirme prosedürünün ortaya çıkmasını sağlayabilir. Ülkemizde seçkin özel kuvvet adı altında çeşitli ağır askeri eğitime tabi tutulan askeri personelin görev performanslarının ölçülmesi ve mevcut tasarlanan bu ağır eğitimlerin etkinliği özellikle yeni nesil biyomekanik testler ve ölçüm platformları ile değerlendirilebilir. Alt uzuv kuvveti ve gücünün daha ön plana çıktığı su akıntısına karşı yürüme, dereden geçme veya komando dansı vb. gibi eğitim türlerinin etkinliklerinin ölçümleri yine farklı biyomekanik testlerin uygulanması ile objektif olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, daha önce bu tarz bir disiplinlerarası bilimsel araştırma alanından Türkiye adresli hiçbir bilimsel yayının ortaya çıkmadığını göz önüne alırsak, bu alanın ülkemizde keşfedilmeyi beklediği ve gelişmeye açık olduğunu düşünüyoruz.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Sorumlu yazar %70, birinci yazar %30 oranında makaleye katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

## **Kaynakça**

- Abdul Razak AH., Zayegh A., Begg RK., Wahab Y. Foot plantar pressure measurement system: A review. *Sensors* 2012; 12(7): 9884-9912.
- Adesida Y., Papi E., McGregor AH. Exploring the role of wearable technology in sport kinematics and kinetics: A systematic review. *Sensors* 2019; 19(7): 1597-1623.
- Andersen KA., Grimshaw PN., Kelso RM., Bentley DJ. Musculoskeletal lower limb injury risk in army populations. *Sports Medicine-open* 2016; 2(1): 1-9.
- Aroganam G., Manivannan N., Harrison D. Review on wearable technology sensors used in consumer sport applications. *Sensors* 2019; 19(9): 1983.
- Bäckman E., Johansson V., Häger B., Sjöblom P., Henriksson K. Isometric muscle strength and muscular endurance in normal persons aged between 17 and 70 years. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine* 1995; 27(2): 109-117.
- Baltzopoulos V., Brodie D. Isokinetic dynamometry. *Sports Medicine-open* 1989; 8(2): 101-116.
- Barrett S., Midgley A., Lovell R. Playerload™: Reliability, convergent validity, and influence of unit position during treadmill running. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2014; 9(6): 945-952.
- Beckett MB., Hodgdon JA. Lifting and carrying capacities relative to physical fitness measures. Naval Health Research Center 1987.
- Billing DC., Silk AJ., Tofari PJ., Hunt AP. Effects of military load carriage on susceptibility to enemy fire during tactical combat movements. *The Journal of Strength Conditioning Research* 2015; 29: S134-S138.
- Boyd LJ., Ball K., Aughey RJ. Quantifying external load in australian football matches and training using accelerometers. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2013; 8(1): 44-51.
- Brady C., Lush D., Chapman T. A review of the soldier's equipment burden. Defense Technical Information Center 2011; 15(169): 1-54.
- Breeze MJ., Watson CH., Horsfall I., Clasper CJ. Comparing the comfort and potential military performance restriction of neck collars from the body armor of six different countries. *Military Medicine* 2011; 176(11): 1274-1277.
- Brown SA., McNamara JA., Blake Mitchell K. Dynamic marksmanship: A novel methodology to evaluate the effects of clothing and individual equipment on mission performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 2017.
- Brunetti F., Moreno JC., Ruiz A., Rocon E., Pons JL. A new platform based on iieee802. 15.4 wireless inertial sensors for motion caption and assessment. *International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2006.

- Carlton SD., Orr RM. The impact of occupational load carriage on carrier mobility: A critical review of the literature. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 2014; 20(1): 33-41.
- Carr D., Lewis E. Ballistic-protective clothing and body armour. *Protective Clothing* 2014; 146-170.
- Cormack SJ., Smith RL., Mooney MM., Young WB., O'Brien BJ. Accelerometer load as a measure of activity profile in different standards of netball match play. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2014; 9(2): 283-291.
- Danneskiold SB., Bartels E., Bülow P., Lund H., Stockmarr A., Holm C., Wätjen I., Appleyard M., Bliddal H. Isokinetic and isometric muscle strength in a healthy population with special reference to age and gender. *Acta Physiologica* 2009; 197: 1-68.
- De Maio M., Onate J., Swain D., Morrison S., Ringleb S., Naiak D. Physical performance decrements in military personnel wearing personal protective equipment. *Naval Medical Center* 2009; 181: 1-7.
- De Pasquale G., Ruggeri V. Sensing strategies in wearable bio-mechanical systems for medicine and sport: A review. *Journal of Micromechanics and Microengineering* 2019; 29(10): 103001.
- Denning R. Camouflage fabrics. *Engineering of High-performance Textiles* 2018; 349-375.
- Dian FJ., Vahidnia R., Rahmati A. Wearables and the internet of things (iot), applications, opportunities, and challenges: A survey. *IEEE Access* 2020; 8: 69200-69211.
- Dziados JE., Damokosh AI., Mello RP., Vogel JA., Farmer Jr KL. Physiological determinants of load bearing capacity. *Army Research Inst of Environmental Medicine* 1987.
- Fallowfield JL., Blacker SD., Willems ME., Davey T., Layden J. Neuromuscular and cardiovascular responses of royal marine recruits to load carriage in the field. *Applied Ergonomics* 2012; 43(6): 1131-1137.
- Fong DTP., Chan YY. The use of wearable inertial motion sensors in human lower limb biomechanics studies: A systematic review. *Sensors* 2010; 10(12): 11556-11565.
- Giles GE., Hancock CL., Eddy MD., Hasselquist L., Mitchell KB., Brown SA., Villa J., Hennessy E., Caruso C. Assessing the impact of clothing and individual equipment (cie) on soldier physical, biomechanical, and cognitive performance. Part 2: Data analysis. *Soldier Center* 2019; 20(2): 1-167.
- Gopura R., Kiguchi K. Mechanical designs of active upper-limb exoskeleton robots: State-of-the-art and design difficulties. *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, 2009.
- Hackney A., Shaw J., Hodgdon J., Coyne J., Kelleher D. Cold exposure during military operations: Effects on anaerobic performance. *Journal of Applied Physiology* 1991; 71(1): 125-130.
- Hamill J., Bensel CK. Biomechanical analysis of military boots. Phase 3. Recommendations for the design of future military boots. *Soldier Center* 1996; 96(13): 1-42.
- Hasselquist L., Eddy MD., Mitchell KB., Brown SA., McNamara J., Hancock CL., Caruso C. Assessing the impact of clothing and individual equipment (cie) on soldier physical,

- biomechanical, and cognitive performance part 1: Test methodology. Army Natick Soldier Research Development and Engineering Center 2018; 18(4): 1-98.
- Hunt AP., Orr RM., Billing DC. Developing physical capability standards that are predictive of success on special forces selection courses. *Military Medicine* 2013; 178(6): 619-624.
- Ivins BJ., Schwab KA., Crowley JS., McEntire BJ., Trumble CC., Brown Jr FH., Warden DL. How satisfied are soldiers with their ballistic helmets? A comparison of soldiers' opinions about the advanced combat helmet and the personal armor system for ground troops helmet. *Military Medicine* 2007; 172(6): 586-591.
- Kiely M., Warrington G., McGoldrick A., Cullen S. Physiological and performance monitoring in competitive sporting environments: A review for elite individual sports. *Strength and Conditioning Journal* 2019; 41(6): 62-74.
- Knapik J., Harman E., Reynolds K. Load carriage using packs: A review of physiological, biomechanical and medical aspects. *Applied Ergonomics* 1996; 27(3): 207-216.
- Knapik J., Reynolds K., Harman E. Soldier load carriage: Historical, physiological, biomechanical, and medical aspects. *Military Medicine* 2004; 169(1): 45-56.
- Knapik J., Reynolds K., Santee WR., Friedl KE. Load carriage in military operations a review of historical, physiological, biomechanical, and medical aspects. Defense Technical Information Center 2010; 1014(55): 1-44.
- Knapik J., Staab J., Bahrke M., O'Connor J., Sharp M., Frykman P., Meilo R., Reynolds K., Vogel J. Relationship of soldier load carriage to physiological factors, military experience and mood states. *Army Research Inst of Environmental Medicine* 1990.
- Knapik J., Staab J., Michael B., Reynolds K., Vogel J., O'Connor J. Soldier performance and mood states following a strenuous road march. *Military Medicine* 1991; 156(4): 197-200.
- Koerhuis CL., Veenstra BJ., Van Dijk JJ., Delleman NJ. Predicting marching capacity while carrying extremely heavy loads. *Military Medicine* 2009; 174(12): 1300-1307.
- Kulkarni SG., Gao XL., Horner S., Zheng JQ., David N. Ballistic helmets—their design, materials, and performance against traumatic brain injury. *Composite Structures* 2013; 101: 313-331.
- Larsen B., Netto K., Aisbett B. The effect of body armor on performance, thermal stress, and exertion: A critical review. *Military Medicine* 2011; 176(11): 1265-1273.
- Lewis EA., Breeze J., Malbon C., Carr DJ. Personal armour used by uk armed forces and uk police forces. *Ballistic Trauma* 2017; 47-62.
- Lutz J., Memmert D., Raabe D., Dornberger R., Donath L. Wearables for integrative performance and tactic analyses: Opportunities, challenges, and future directions. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020; 17(1): 59.
- Macadam P., Cronin J., Neville J., Diewald S. Quantification of the validity and reliability of sprint performance metrics computed using inertial sensors: A systematic review. *Gait & Posture* 2019; 73: 26-38.

- Mala J., Szivak TK., Flanagan SD., Comstock BA., Laferrier JZ., Maresh CM., Kraemer WJ. The role of strength and power during performance of high intensity military tasks under heavy load carriage. *US Army Medical Department Journal* 2015; 3-12.
- Marcinik E., Hodgdon J., Englund C., O'Brien J. Changes in fitness and shipboard task performance following circuit weight training programs featuring continuous or interval running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 1987; 56(2): 132-137.
- Martin K., Périard J., Rattray B., Pyne DB. Physiological factors which influence cognitive performance in military personnel. *Human Factors* 2020; 62(1): 93-123.
- Martin PE., Nelson RC. The effect of carried loads on the combative movement performance of men and women. *Military Medicine* 1985; 150(7): 357-362.
- Mello RP., Damokosh AI., Reynolds KL., Witt CE., Vogel JA. The physiological determinants of load bearing performance at different march distances. *Army Research Inst of Environmental Medicine* 1988.
- Orr R. The history of the soldier's load. *Australian Army Journal* 2010; 7(2): 67-88.
- Orr RM., Dawes JJ., Lockie RG., Godeassi DP. The relationship between lower-body strength and power, and load carriage tasks: A critical review. *International Journal of Exercise Science* 2019; 12(6): 1001.
- Orr RM., Pope R. Gender differences in load carriage injuries of australian army soldiers. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2016; 17(1): 1-8.
- Orr RM., Pope R., Johnston V., Coyle J. Soldier occupational load carriage: A narrative review of associated injuries. *International Journal of Injury Control Safety Promotion* 2014; 21(4): 388-396.
- Rayson M., Holliman D., Belyavin A. Development of physical selection procedures for the british army. Phase 2: Relationship between physical performance tests and criterion tasks. *Ergonomics* 2000; 43(1): 73-105.
- Risteski S., Zhezhova S., Srebrenkoska V. Textile materials used in military protective clothes design. V International Congress "Engineering, Environment and Materials in Processing Industry", 2017.
- Simpson RJ., Gray SC., Florida-James GD. Physiological variables and performance markers of serving soldiers from two "elite" units of the british army. *Journal of Sports Sciences* 2006; 24(06): 597-604.
- Sole G., Hamrén J., Milosavljevic S., Nicholson H., Sullivan SJ. Test-retest reliability of isokinetic knee extension and flexion. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation* 2007; 88(5): 626-631.
- van Dijk J. Common military task: Marching. *Optimizing Operational Physical Fitness* 2009; 80: 1-46.

- Varkey JP., Pompili D., Walls TA. Human motion recognition using a wireless sensor-based wearable system. *Personal and Ubiquitous Computing* 2012; 16(7): 897-910.
- Zoss A., Kazerooni H., Chu A. On the mechanical design of the berkeley lower extremity exoskeleton (bleex). *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2005.
- Zwolińska M., Bogdan A., Fejdyś M. Influence of different types of the internal system of the ballistic helmet shell on the thermal insulation measured by a manikin headform. *International Journal of Industrial Ergonomics* 2014; 44(3): 421-427.

## Yüksek Hidrostatik Basınç Teknolojisinin Besin Maddelerinin Biyo-yararlılığı ve Biyo-Erişilebilirliği Üzerine Etkileri

İrem DEMİR<sup>1</sup>, Gulsun AKDEMİR EVRENDİLEK<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 14030, Bolu

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-2521-4251>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-5064-4195>

\*Sorumlu yazar: [gevrendilek@yahoo.com](mailto:gevrendilek@yahoo.com)

### Derleme

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 15.03.2023

Kabul tarihi: 18.07.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Yüksek hidrostatik basınç

Biyo-yararlılık

Biyo-erişilebilirlik

Biyoaktif bileşenler

### ÖZ

Gıda işlemede alternatif teknolojilerden biri olarak kullanılan yüksek hidrostatik basınç (YHB) işlemi mikrobiyel ve enzim inaktivasyonu vasıtasıyla gıdaların pastörizasyonunu sağlamaktadır. YHB aynı zamanda protein denatürasyonu, donma ve erime noktalarının modifikasyonu, tekstürel özelliklerin değişimi, tat-koku ve renk gibi duyuşal özelliklerin korunması amacıyla gıda endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Genel olarak hidrojen ve iyonik bağlar üzerinde etkili olan YHB gıda bileşenlerinin yapısında ve dolayısıyla fonksiyonunda değişikliklere neden olabileceğinden gıda bileşenlerinin vücuttaki biyo-yararlanımlarını da değiştirebilmektedir. Gıdaların biyo-yararlanımları vücutta kullanımlarını etkilediği için bu durum sindirim yoluyla alınan gıdaların vücuttaki verimliliklerinin artabileceği ve/veya azalabileceği anlamına gelmektedir. Bu bağlamda YHB prosesinin çeşitli gıda bileşenleri (karbonhidratlar, yağlar, proteinler, vitamin ve mineraller) üzerindeki etkisi baz alınarak vücuttaki yararlanımlarının ne şekilde değişeceği önemli bir husus olup incelenmesi gerekmektedir. Genel olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde olumlu sonuçlarla karşılaşılma birlikte biyoaktif bileşen ve uygulanan proses parametrelerine bağlı olarak sonuçlarda farklılık olabileceği görülmektedir. Bu nedenle, çalışma kapsamında YHB'nin gıdaların biyo-yararlanımları ve biyo-erişilebilirliği konusunda etkilerinin incelenmesi hedeflenmektedir.

## Effects of High Hydrostatic Pressure on Bioavailability and Bioaccessibility of Food Components

### Reviews

#### Article History:

Received: 15.03.2023

Accepted: 18.07.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

High hydrostatic pressure

Bioavailability

Bioaccessibility

Bioactive compounds

### ABSTRACT

High hydrostatic pressure (HHP) process, as one of the alternative technologies in food processing, utilized for pasteurization of foods by providing microbial and enzyme inactivation. Moreover, it is also widely used in the food industry for protein denaturation, modification of freezing and melting points, alteration of textural properties, preservation of sensory properties such as taste, smell and color. HHP-generally acts on hydrogen and ionic bonds- can cause changes in the structure, and thus, function of food components, it can also change the bioavailability of food components in the body. Since the bioavailability of foods affects their utilization in the body, this means that the efficiency of digested foods in the body may increase and/or decrease. In this context, it is important to examine how the bioavailability of various food components (carbohydrates, fats, proteins, vitamins and minerals) in the body will change based on the effect of the HHP process. In general, when the studies are examined, it is seen that although positive results are encountered, there may be differences in the results depending on the bioactive components and the process parameters applied. Therefore, effects of HHP on the bioavailability and bioaccessibility of foods are prompted in the study.

**To Cite:** Demir İ., Akdemir Evrendilek G. Yüksek Hidrostatik Basınç Teknolojisinin Besin Maddelerinin Biyo-yararlılığı ve Biyo-Erişilebilirliği Üzerine Etkileri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 463-484.

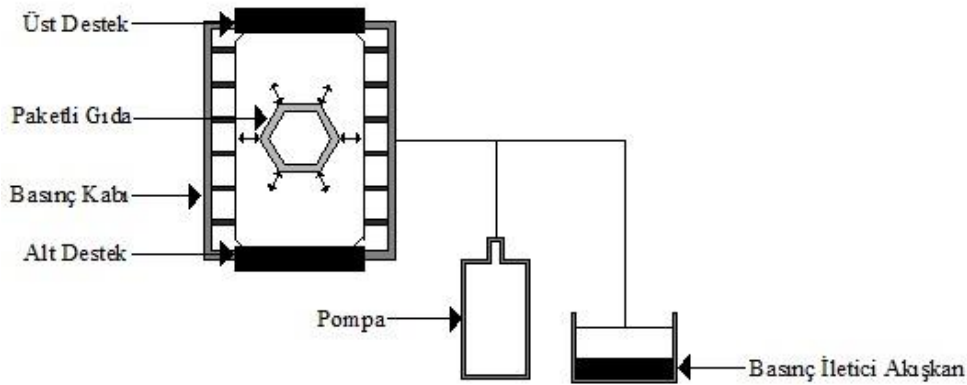


## 1. Giriş

Günümüzde tüketiciler taze, besleyici özelliği fazla olan, olabildiğince az işlem uygulanmış ve aynı zamanda mikrobiyel anlamda güvenli gıdaları tercih etmektedirler (Norton ve Sun, 2008; Evrendilek, 2022; Farahnaky ve ark., 2022; Wang ve ark., 2022). Bu nedenle, tüketicilerin bu taleplerini karşılamak amacıyla gıda endüstrisinde yeni muhafaza tekniklerinin araştırılması elzem hale gelmiştir (Norton ve Sun, 2008; Aganovic ve ark., 2021). Güvenli gıdaların üretimi için kullanılan en etkili yöntem geleneksel ısı işlemidir. Ancak, geleneksel ısı işlem uygulamaları esnasında gıdanın maruz kaldığı yüksek sıcaklık sebebiyle, gıdalarda meydana gelen karsinojenik bileşikler, duyuşal özelliklerde meydana gelen olumsuz değişimler ve besinsel kayıplar sonucu yenilikçi gıda muhafaza teknikleri üzerinde ve özellikle yüksek basınç veya yüksek hidrostatik basınç (YHB) teknolojisi üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır (San Martin ve ark., 2002; Rastogi ve ark., 2007; George ve Rastogi, 2016; Mollakhalili-Meybodi ve ark., 2022; Rathod ve ark., 2022; Wang et al., 2022).

## 2. Yüksek Hidrostatik Basınç Teknolojisi

Son zamanlarda oldukça dikkat çeken ve çalışmaların yoğunlaştığı YHB uygulamalarının öncülüğü Japonya'ya aittir ve bu yöntemle işlenen ilk ürünler Japonya'da piyasaya arz edilmiştir (Thakur ve Nelson, 1998; Rastogi ve ark., 2007; Yordanov ve Angelova, 2010). YHB teknolojisi günümüzde çeşitli gıda maddelerinde soğuk pastörizasyonu sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Galazka ve ark., 1995; Rastogi ve ark., 2007). YHB uygulaması katı veya sıvı gıdaların, ambalajlı veya ambalajsız olarak, oda sıcaklığında 100-600 MPa arasında basınca maruz bırakılması işlemidir (Mertens ve Deplace, 1993; Rastogi ve ark., 1994; Torres ve Velazquez, 2005) (Şekil 1).



Şekil 1. Yüksek hidrostatik basınç sisteminin şematik gösterimi

YHB teknolojisi özellikle;

- i) Gıda muhafaza kalitesinin artırılması (Farkas ve Hoover, 2000; Yuste ve ark., 2001; Heinz ve Buckow, 2010),
- ii) Gıda sistemlerinin fiziksel ve işlevsel özelliklerinin değiştirilmesi (Cheftel ve Culioli, 1997; Smelt, 1998),

- iii) Aşırı basınçlar altında suyun anormal faz geçişlerinden faydalanılması, örneğin artan basınçlarla donma noktasının düşmesi (Kalichevsky ve ark., 1995) gibi nedenlerle gıda endüstrisi tarafından büyük talep görmektedir.

Yüksek basınç teknolojisinin temel avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- i) Ortam sıcaklığında ve hatta daha düşük sıcaklıklarda gıda işleme olanağı sağlar;
- ii) Boyut ve geometriden bağımsız olarak basınç uygulaması sırasında basıncın ürün üzerine hızlı bir şekilde yeknesak olarak iletilmesi sağlamaktadır, bu durum proses edilen ürünlerin boyutların küçülmesine neden olmakta ve bu nedenle basınçla proses edilen ürünlerde ürünlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak hacim küçülmesi görülür.
- iv) Mikrobiyal inaktivasyonu sağlarken ısı hasarını ve kimyasal koruyucu/katkı maddelerinin kullanımını neredeyse tamamen ortadan kaldırarak gıdaların genel kalitesinde iyileşmelere yol açar;
- v) Yeni fonksiyonel özelliklere sahip bileşenler oluşturmak için kullanılabilir (Rastogi ve ark., 2007).

Yukarda sayılan avantajlar yanında YHB ile işlenen gıdalarda tekstürel özelliklerde istenmeyen bazı değişimler (taze tüketime sunulacak etlerde sertleşme), taze meyve ve sebzelerde dokunun parçalanması ve püre haline gelme, bazı ürünlerde ağızda kumluluk hissinin oluşması ve hacimsel değişimlerin oluşması gibi dezavantajlar da görülmektedir (Wang et al., 2022).

Basınç uygulamasıyla gıdanın hacmi azalır ve artan basınçla numune hacminde yaklaşık %15-20 azalma görülmektedir. Basıncın serbest bırakılmasından sonra, hem gıdanın hacmi hem de basıncı ileten sıvının sıcaklığı orijinal durumuna geri döner (Grauwet ve ark., 2012; Sevenich ve ark., 2016). Ayrıca, proses homojenliğini etkileyen artan termal iletkenlik de basınç uygulamasından etkilenmektedir (Cai ve ark., 2019).

Uygulanan basınç hidrojen bağlarını bozabilir, ancak kovalent bağları kıramaz, bu da mikrobiyal inaktivasyona neden olan enzimlerin ve proteinlerin membran aktivitesinin ortadan kaldırılabilceğini, lezzet, pigmentler ve besleyici değer için önemli bileşiklerin korunacağını gösterir (Barba ve ark., 2015; Sevenich ve ark., 2016; Pham ve ark., 2020; Galanakis, 2021). Kovalent bağların basınç altındaki kararlılığı, homojenizasyon ve dondurmaya benzer şekilde davranmasını sağlar (Roobab ve ark., 2021). Basınç uygulaması ile mikroorganizma ve enzimlerin inaktivasyonu birlikte protein denatürasyonu sağlanır, hidrojen bağları güçlenerek kovalent olmayan bağların yapısı bozulur (Barba ve ark., 2015). YHB'nin makromoleküller ve mikrobiyal hücreler üzerindeki moleküler düzenlemeler, denatürasyon, spesifik moleküllerin fonksiyonlarındaki değişiklikler ve mikroorganizmaların inaktivasyonu üzerindeki etkisi dört teoride özetlenmiştir.

### 2.1. İzostatik Prensiptir

Belirli bir basınç veya kuvvet seviyesi altında, akışkanın dengesi genellikle hidrostatik olarak adlandırılır. Akışkan, kendisine yöneltilen bu tür kuvvetleri sürtünme olmaksızın taşıyabilir. Bir akışkana uygulanan tüm kuvvetler akışkan yüzeyine eşit olarak taşınır. Uygulanan basınç, boyutu ve şekli ne olursa olsun işlenmekte olan gıda numunelerine homojen bir şekilde iletilir. Basınç uygulaması altında gıda içerisindeki su ve havanın sıkışması farklıdır; bu nedenle gıda tam elastik davranıyorsa ve havayı içinde tutan kapalı hücreli köpükten oluşuyorsa, hava cebi veya düzensiz hava dağılımı olan gıdanın şekli ve yapısı basınç altında değişebilir (Martinez-Monteagudo ve Saldaña, 2014).

Moleküller arasındaki mesafe uygulanan basınçla değiştiğinden, malzemenin hacmi -şeklini değiştirmeden- azalır. Van der Waals bağlarının optimum mesafesini korumak için itici ve çekici kuvvetler arasındaki optimum denge, uygulanan basınçla değiştirilir. Elektrostatik, hidrojen bağı ve hidrofobik etkileşimler gibi diğer etkileşimler de basınç tarafından değiştirilir (Martinez-Monteagudo ve Saldaña, 2014). Bağ enerjilerinin yıkıma uğraması için gerekli olan enerji düzeyinin nispeten yüksek (30-100 kcal/mol) olmasından dolayı kovalent bağların basınçtan etkilenmesi pek olası değildir. Birincil yapılarında kovalent bağ bakımından zengin olan proteinler 1500 MPa basınç uygulamasına kadar etkilenmezler (Mozhaev ve ark., 1994). Basıncın kovalent bağ üzerindeki etkisizliği, bileşiklerin fonksiyonel gruplarının aktivitesinin önlenmesi için ana odak noktasıdır. Basınç uygulamasının bu özelliği, yüksek neme sahip gözeneksiz gıdaların uygulanan basınçtan makroskopik olarak nasıl zarar görmediğini açıklamakta ve ticari ölçekte YHB sistemlerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır.

### 2.2. Le Chatelier Prensiptir

Termodinamiğin ikinci yasasından kaynaklanan ve tersinir süreçler için geçerli olan Le Chatelier ilkesi, basıncın tetiklenen değişimle yeni dengeye kısmi kaymaya neden olduğunu gösterir. Biyolojik, kimyasal ve fiziksel olaylar üzerinde verilen büyüklük ve işlem sıcaklığındaki basınç etkisi Le Chatelier prensibi ile açıklanmaktadır. Termodinamik eşlenik çiftleri açıklamak için geniş ve yoğun değişkenler, entropi ve sıcaklığın yanı sıra hacim, basınç, kimyasal potansiyel ve molların termodinamik eşlenik değişkenleri ile affinite terimini açıklamak için geliştirilmiştir. Sabit entropi ve hacimdeki sistem, değişen basınç ve sıcaklık nedeniyle dengeye yaklaşmıştır. Bu prensip YHB uygulandığında basınçtaki değişim dengede kaymaya neden olarak hacmi azaltır. Basınç, kimyasal reaksiyon, moleküler konfigürasyondaki değişim ve faz geçişi ile birlikte hacimdeki azalmayı artırır (Martinez-Monteagudo ve Saldaña, 2014).

### 2.3. Geçiş Durumu Teorisi

Geçiş durumu teorisine göre ara hal molar hacmi reaksiyona giren bileşenlerinden farklı olabilir ve reaksiyonun hızı, ara halin daha yüksek veya daha düşük hacme sahip olmasına bakılmaksızın basınçla

birlikte artarak veya azalarak dalgalanmalar gösterebilir. Bu temel prensip, basıncın fiziksel süreçlerin yanı sıra kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlar üzerindeki etkinliğini açıklamak için de uygulanır. Basınç, hacimler üzerinde negatif yönlü reaksiyonları ve ayrıca hacimlerde rol oynayan negatif aktivasyon reaksiyonları yolunu desteklemektedir (Martinez-Monteağudo ve Saldaña, 2014).

#### 2.4. Mikroskobik Düzen İlkesi

Basıncın iletimini sağlayan mikroskobik düzen ilkesinde sabit sıcaklıkta artan basınç, maddelerin moleküllerinin düzenlenme derecesinde bir artışa neden olur. Basınç; titreşim, dönme ve öteleme hareketini kısıtlayarak moleküler düzeni artırır. Molekülün kimyasal reaksiyonları üzerinde etkili olan antagonistik kuvvetler sıcaklık ve basınç tarafından kullanılır (Balny ve Masson, 1993).

Tipik yüksek basınç sistemleri basıncın adyabatik olarak uygulandığı basınç haznesi ve basınç iletici akışkanın basınç haznesine taşınmasını sağlayan pompa sistemlerinden oluşmaktadır (Şekil 1). YHB işleminde gıdalar yüksek basınçlara maruz bırakılarak mikroorganizmaların inaktivasyonu sağlanır. Yüksek basıncın mikroorganizmalar üzerindeki ilk etkisi zarın bozulması üzerinedir. YHB işleminde mikrobiyel hücrenin inaktivasyonu için gereken basınç miktarı, mikroorganizma ve gıda içeren ürüne bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bakteri inaktivasyonu amacıyla uygulanan basınç miktarı 500 ile 600 MPa arasında değişirken; genel olarak, mayalar ve küfler 200-400 MPa'da etkisiz hale getirilebilir, ancak spor veya askospor halinde olduklarında bu durum değişiklik gösterebilmektedir (Balasubramaniam ve ark., 2015). YHB teknolojisi geleneksel ısıl işlemlerde olduğu gibi moleküler bozunma yoluyla yeni bileşikler oluşturmadığı için gıda komponentleri üzerinde ısıl işlemde daha az zararlıdır. Uygulanan basınç gıdaların beslenme ve duyu kalite gibi özelliklerini değiştirmeden mikroorganizma inaktivasyonunu sağlamaktadır (Balasubramaniam ve ark., 2015).

YHB genel olarak mikrobiyel faaliyeti indirgemeye yönelik olarak kullanılmakla beraber, gıdalarda yapı ve tekstür modifikasyonu, aroma ve besin maddelerinde en az değişikliğe sebep olması nedeniyle farkı amaçlarla kullanılmaktadır. Geleneksel ısıl işlemlere kıyasla YHB uygulamaları; vitaminler, aroma bileşenleri ve pigmentler gibi düşük molekül ağırlıklı bileşikler üzerinde minimum etkiye sahiptir. Bu nedenle, YHB ile işlenmiş bir gıdanın kalitesi, taze gıda ürünlerinin kalitesiyle çok benzerdir (San Martín ve ark., 2002; Yamamoto, 2017). YHB uygulamasında amaç; gıdaların yüksek kalitede ve güvenilir olması, raf ömrünün uzun olması, tazeliğinin korunması, duyu özelliklerinin korunarak ve gıdalardaki faydalı bileşenlerin kayıplarının en aza indirgenerek işlenmesidir (Mújica-Paz ve ark., 2011; Aganovic ve ark., 2021; Wang ve ark., 2022). Gıda işleme teknolojileri, denatürasyona veya gıdanın yapısında birtakım değişikliklere neden olarak belirli bir bileşiğin biyo-erişilebilirliğini değiştirebilir veya azaltabilir. Son yıllarda ısısız olmayan (non-thermal) proseslerle işlenen gıdaların kalitesini ve güvenilirliğini artırmak ve raf ömrünü uzatmanın yanı sıra gıda bileşenlerinin besleyici ve fonksiyonel özelliklerinin korunmasıyla birlikte besinsel öğelerinin vücuda ne derece yarar sağladığı da incelenen konular arasında yer almaya ve bu sayede biyo-yararlılık ve biyo-erişilebilirlik kavramları ön plana çıkmaya başlamıştır (Cilla ve ark., 2019; Santos ve ark., 2019).

Bazı bileşenlerin örneğin karotenoidler ve polifenollerin biyo-erişilebilirlik, biyo-yararlılık ve özütlenebilirlikleri YHB tarafından artırılabilir de besinlerin ekstrakte edilebilirliği ve biyo-yararlanımı ile proses kaynaklı matris bozulması arasındaki ilişki doğrudan birbirlerine bağlı değildir (María ve ark., 2019; Santos ve ark., 2019).

YHB prosesinin biyo-erişilebilirlik üzerindeki etkisi; uygulanan basıncın büyüklüğü, işleme süresi ve işlem sıcaklığı parametrelerine bağlı olarak aynı veya farklı gıda bileşenlerinde değişiklik göstermektedir (María ve ark., 2019; Santos ve ark., 2019). YHB teknolojisini kullanmanın birçok avantajı arasında, boyut, şekil ve bileşimden bağımsız olarak uygulanan basıncın gıda matrisi boyunca anında ve eşit olarak hareket ederek, ortam sıcaklığında veya daha düşük sıcaklıklarda gıda işlemini mümkün kılması yer almaktadır (Rastogi ve ark., 2007, 1994; Balasubramaniam ve ark., 2015).

Literatürdeki farklı çalışmalara bakılarak YHB uygulamalarının gıdaların biyo-erişilebilirliği üzerinde genel olarak olumlu bir etkiye sahip olduğu söylenebilmektedir, ancak kesin bir kanıya varılabilmesi için bu alanda yapılacak çalışmaların çoğaltılması gerekmektedir (Cilla ve ark., 2019; Santos ve ark., 2019).

### **3. Biyo-yararlılık ve Biyo-erişilebilirlik**

Fonksiyonel bileşikler ve takviye edici gıdaların insan vücudunda sindirimi ve emilimi hususunda yapılan çalışmalar genel olarak biyoaktif bileşenlerin ayrılması, tanımlanması ve geri kazanım tekniklerinin uygulanması, toksikolojik değerlendirmelerinin yapılması, stabilite testleri ve biyo-erişilebilirlik ölçümleri gibi bir takım farklı yöntemleri gerekli kılmaktadır. Bu nedenle, sindirilebilirlik, biyo-yararlılık, biyo-erişilebilirlik ve biyoaktivite kavramlarının tanımlarını bilmek önemli hale gelmektedir (Stahl ve ark., 2002; Toutain ve Bousquet-Mélou, 2004).

Gıdada bulunan biyoaktif veya fonksiyonel besin maddesinin miktarının yanında bu besin maddesinin ne kadarının vücut tarafından kullanılabilir olduğu, yani biyo-yararlılık ve biyo-erişilebilirliği de oldukça önemlidir. Bu durum gıdalarda bulunan biyoaktif besin maddesi miktarıyla vücudun kullanabileceği biyoaktif besin maddesi miktarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır (Santos ve ark., 2019; Verghese ve ark., 2021). Biyoaktif bileşikler gıdalarda bulunan, metabolik süreçlerde aktif rol alan ve sağlığa olumlu etkileri olan fitokimyasal maddelerdir. Her biyoaktif bileşiğin biyo-erişilebilirliği ve biyo-yararlanımı farklılık göstermektedir. Sindirilen gıdada en bol bulunan bileşikler, hedef dokularda en yüksek aktif metabolit konsantrasyonlarına yol açmayabilirler ve bu olay tamamıyla gıdanın biyo-yararlanımıyla alakalıdır (Galanakis, 2021).

Sindirilebilirlik, gıda bileşenlerinin sindirim yoluyla sindirim kanalında gerçekleşen tüm fiziksel ve/veya kimyasal işlemler sonucunda potansiyel olarak erişilebilir maddeye dönüştürülmesi olarak tanımlanmaktadır (Galanakis, 2021; Evrendilek, 2022). Sindirilebilirlik özellikle gıda bileşenlerinin sindirim yoluyla potansiyel olarak erişilebilir maddeye dönüşen kısmı için geçerlidir (Galanakis, 2021).

Biyoaktivite, bir maddeye maruz kalındığında ortaya çıkan spesifik etki olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda biyoaktif bileşiklerin nasıl taşındığı ve hedef dokuya nasıl ulaştığı, çeşitli moleküllerle nasıl etkileşime girdiği ve metabolizma üzerindeki fizyolojik etkileri hakkında da bilgi vermektedir. Biyoaktivite maddenin doku içerisine alımını ve bunun sonucunda ortaya çıkan fizyolojik yanıtı (antioksidan, anti-inflamatuar vb) içerir ve *in vivo*, *ex vivo* ve *in vitro* olarak değerlendirilebilir.

Sindirilebilirlik, özellikle bağırsakta gerçekleşen tüm fiziksel ve kimyasal süreçler yoluyla erişilebilir madde haline geçen gıda bileşenleri için önemli bir olaydır ve bu nedenle sindirilebilirlikle birlikte biyo-yararlılık ve biyo-erişilebilirlik kavramlarının önemi ortaya çıkmaktadır. Asimilasyon ise biyolojik olarak erişilebilir materyalin epitel yoluyla bazı transepitelyal emilim mekanizmalarıyla alınmasını ifade eder (Galanakis, 2021).

Biyo-yararlılık, vücuda alınan gıdanın sindirildikten sonra biyoaktif maddenin metabolizma için uygun hale dönüştürülerek emilmesi, hücrelere ulaşarak vücuttaki metabolik olaylar için kullanılması veya depolanması şeklinde tanımlanabilir. Başka bir deyişle biyo-yararlılık, gıdada bulunan bileşikten emilen besin oranıdır ve dolayısıyla belirli bir bileşiğin gastrointestinal sindirimini, emilimini, metabolizmasını, doku dağılımını ve biyoaktivitesini içerir (McClements ve Peng, 2020; Evrendilek, 2022). Biyoaktif bileşiklerin tamamı organizma tarafından etkin bir şekilde kullanılmadığı için biyoyararlanım ifadesi önem kazanmaktadır (Galanakis, 2021). Farklı olarak, biyoyararlanım terimi bir besinin kullanım oranını da içerir ve bu nedenle tüketilen besinin veya bileşiğin sistemik dolaşıma giren kısmı olarak ta tanımlanabilir. Biyo-yararlılık sindirim, taşınım, emilim gibi birçok faktöre dolayısıyla;

- Gıda bileşenleri,
- Sindirim sistemi koşulları,
- Gıdanın konsantrasyonu ve alınan doz,
- Diğer bileşiklerle etkileşim,
- Bağırsak mikroflorası,
- Bireysel sindirim kapasitesi gibi etmenlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Lorenzo ve ark., 2019; María ve ark., 2019; McClements ve Peng, 2020).

Farklı gıdalar ağız veya sindirim sistemi ile temas ettiğinde, fitokimyasal biyo-yararlanımı etkileyen çeşitli etkileşimler meydana gelebilir (Galanakis, 2021). Biyoaktif bileşiklerin biyo-yararlanımı gıdalardaki lif içeriği, işlenmiş gıdalarda bulunan polisakkarit ve protein kombinasyonları nedeniyle de değişebilmektedir. Her maddenin biyo-yararlanımı farklı olmakla birlikte gıdalarda bulunan miktar ile emilim miktarı birbirinden bağımsızdır. Çünkü biyo-yararlanım sindirim stabilitesine ve biyo-erişilebilirliğe bağlı olarak değişmektedir (Stahl ve ark., 2002; Englyst ve Englyst, 2005; Lorenzo ve ark., 2019).

Sonuç olarak biyo-yararlanım; biyo-erişilebilirlik, absorpsiyon, metabolizma ve biyoaktivite olmak üzere dört farklı prosesle iç içedir (Englyst ve Englyst, 2005; Galanakis, 2021). Biyolojik olarak kullanılır hale dönüşmeden önce biyoaktif bileşikler gıda matriksinden salınır ve gastrointestinal

kanalda değişime uğrarlar. Bundan dolayı biyo-yararlanım kavramı biyo-erişilebilirlik kavramıyla iç içedir (Galanakis, 2021).

Biyo-erişilebilirlik, vücuda alınan gıdanın içerisindeki besin maddelerinin gıda matriksinden çıkabilen ve ince bağırsakta emilimi gerçekleştirilebilen kısmının gıda içerisinde bulunan toplam madde miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır. Biyo-erişilebilirlik alınan gıdadaki biyoaktif bileşenlerin ince bağırsaktaki emiliminden sonra vücudumuzda kalan kısmı şeklinde ifade edilebilir. Farklı bileşiklerin biyolojik erişilebilirlikleri hem *in vivo* hem *in vitro* çalışmalarla ölçülmesinin yanı sıra genellikle *in vitro* sindirim prosedürleriyle değerlendirilir, mide ve bağırsak sindirimini ifade eder (Medina-Meza ve ark., 2014). Çalışmalara bakıldığı zaman, aynı bileşiklerin biyo-erişilebilirliği için *in vivo* ve *in vitro* deneyler arasında farklı sonuçlar elde edildiği görülmektedir (Galanakis, 2021; Evrendilek, 2022). Biyoaktif bileşenlerin etkileri sindirim sürecine bağlıdır, çünkü bu süreç bileşenlerin stabilitesini dolayısıyla biyo-erişilebilirliğini etkilemektedir (Santos ve ark., 2019).

Biyo-erişilebilirlik;

- Alınan doz,
- Partikül büyüklüğü,
- Isıl işlem,
- Gıda matriksi gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Englyst ve Englyst, 2005; McClements ve Peng, 2020).

Biyo-yararlanım, biyo-erişilebilirlik terimini içerir ve her iki terim de gıdaların sindirim dönüşümlerinin ilk olarak gerçekleşmesiyle ilişkilidir (Barba ve ark., 2019).

#### **4. Biyoaktif Bileşenlerin Biyo-erişilebilirliğini ve Biyo-kullanılabilirliğini Etkileyen Faktörler**

Bir gıdayı tükettikten sonra gıdadaki bileşenler salınır, kana karışarak hedef dokulara taşınır. Farklı besinlerin biyo-yararlanımları farklıdır. Gıda matriksinden besinin salınması, sindirim enzimlerinin etkileri, metabolik ve fonksiyonel kullanım gibi çeşitli olaylar besin biyo-yararlanımını etkilemektedir. Karbonhidrat, lipid ve protein gibi makro besinlerin biyo-yararlanımları oldukça yüksektir ve alınan gıdanın % 90'dan fazlası vücut tarafından kullanılır (Galanakis, 2021).

Biyoaktif bileşenlerin vücutta kullanımını konusunda önemli olan hususlardan birtanesi de biyoaktif bileşiklerin kullanılabilirlik oranının gıda ürünlerinde bulunan biyoaktif bileşiklerin miktarından daha önemli olduğudur. Belirli bir bileşiğin biyoyararlanımı, işleme teknolojisi, depolama koşulları veya gıda matrisi gibi farklı faktörlerden etkilenir ve en önemlisi, belirli bir bileşiğin biyoyararlanımını değiştirebilen işleme ile meydana gelen bozulma, ayrışma veya yapısal değişikliklerdir. Biyo-erişilebilirlik ve biyo-yararlılık, alınan miktar ve gıdalarda bulunan formların yanı sıra bileşenler arası oluşan sinerjik ve antagonistik etkiye de bağlıdır. İlave olarak uygulanan gıda işleme yöntemleri biyoaktif bileşenlerin kullanım oranını önemli ölçüde etkilemektedir (Galanakis, 2021). Geleneksel işlemlerle işlenen gıdalarda ve özellikle ısıl işlem uygulamalarında biyoaktif bileşenlerde kayıplar ve mikro mineral içeriğinde azalmalar meydana gelmektedir. Bu nedenle, ısıl olmayan işleme

teknolojilerine yönelim olmuştur ve bu kapsamda YHB öne çıkan yenilikçi teknolojilerden bir tanesi olarak dikkat çekmektedir.

## **5. Yüksek Hidrostatik Basıncın Gıda Bileşenlerinin Biyo-yararlılığı Üzerine Etkisi**

### *5.1. Proteinlerin Biyo-yararlılık ve Biyo-erişilebilirlikleri Üzerine Etkisi*

Bilindiği gibi proteinler ve bunların alt birimleri olan peptidler besin bileşenlerinin ana gruplarından biridir ve hem bitkisel hem hayvansal organizmaların yapıtaşını oluşturmaktadır. YHB uygulamalarında gıda ürünü ambalajlı veya ambalajsız olarak basınç haznesine yerleştirilir ve 7000 atmosfere kadar basınca tabi tutulur. YHB uygulamasına maruz kalan gıdalarda dokusal değişimler meydana gelmektedir. Soya, et, balık, yumurta gibi gıdalarda bulunan albümin proteinlerinde jel oluşumu gözlenmektedir. YHB uygulaması, proteinlerin kovalent olmayan bağlarını (iyonik, hidrofobik ve hidrojen köprüleri) etkiler; bu nedenle birincil yapı değişmeden kalır, ancak ikincil, üçüncül ve dördüncül yapılar açılabilir veya ayrılabilir. Dolayısıyla YHB'nin mikrobiyolojik stabilite elde etmenin yanında aynı zamanda proteinleri stabilize etmek için de kullanılabileceği söylenebilir (Galazka ve ark., 1995; Galanakis, 2021).

### *5.2. Karbonhidratların Biyo-yararlılık ve Biyo-erişilebilirlikleri Üzerine Etkisi*

Karbonhidratlar, insan vücudundaki çeşitli metabolik süreçleri desteklemek için ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlamak adına günlük diyetinde tüketilen makro besin grubudur (Barba ve ark., 2019). Meyve, sebze ve tam tahıllı ürünler şeklindeki karbonhidratlı yiyecekler sağlığa oldukça faydalıdır. Glikoz ve nişasta gibi hızlı sindirilebilirlik özelliği gösteren karbonhidratlar metabolizma tarafından kolaylıkla kullanılırken; bitki hücre çeperi nişasta olmayan polisakkaritler, dirençli nişasta ve bazı oligosakkaritler gibi sindirilemeyen karbonhidratlar, ince bağırsakta sindirime ve emilmeye tabi tutulduktan sonra kalın bağırsakta fermente edilerek vücut tarafından kullanılırlar. Karbonhidratlar biyolojik olarak kullanılabilir hale gelmeden önce gıda matrisinden salınarak gastrointestinal kanalda parçalanırlar. Bu işlem sonucunda kullanılabilir karbonhidratların oranı artmakta ve vücut için biyo-yararlı hale geçmektedir. Karbonhidratlar gibi makro besinlerin biyo-yararlanımları çok yüksektir; bu da alınan miktarın %90'ından fazlasının vücut tarafından emildiği anlamına gelmektedir (Englyst ve Englyst, 2005; Galanakis, 2021).

Vücut tarafından kullanılabilme ve/veya sindirilebilme durumu çeşitli yöntemlerle değiştirilebilir. YHB uygulaması gibi gıda işleme yöntemleri, karbonhidratların bileşimini ve sindirim sırasında hidrolize olma şeklini etkiler. İşlenmiş veya işlenmemiş gıdalardan alınan karbonhidratların sindirilebilirlik özellikleri biyo-erişilebilirliklerini ve biyo-yararlanımlarını etkileyebilmektedir (Barba ve ark., 2019).

Uygulanan basınç, sıcaklık ve zaman parametrelerine bağlı olarak basınç etkisi altında bir karbonhidrat türeviden oluşan nişasta kristallikliğini kaybedebilir ve jelatinleşme geleneksel yöntemle meydana gelenden daha farklı şekilde gerçekleşir. Bu durumda *in vitro* sindirilebilirlik azalmaktadır.



Düşük *in vitro* sindirilebilirlik sonuçları doğrultusunda, YHB belirli hedef kitleler (örneğin diyabetik hastalar) için uygun nişasta içeriğine sahip, yavaş sindirilebilir ve düşük glikemik indekse sahip gıdaların hazırlanmasında yararlı olabileceğine dair görüşlerde bulunmaktadır (Barba ve ark., 2019). Karbonhidrat gruplarına uygulanan YHB gibi işlemler sonucunda bu yapılarda bozulma meydana gelir ve basit şekere indirgenmesi daha kolay bir hal alır. Dolayısıyla sindirim enzimleri tarafından çok çabuk hidrolize edilen karbonhidratların biyo-yararlanımlarında artış söz konusu olmaktadır (Barba ve ark., 2019).

### 5.3. *Lipitlerin Biyo-yararlılık ve Biyo-erişilebilirlikleri Üzerine Etkisi*

Lipitler apolar çözücüler tarafından dokulardan ekstrakte edilebilen ve suda çözünmeyen organik maddelerdir. Lipitlerin % 95'inden fazlasını trigliseritler oluşturmaktadır (McClements ve Peng, 2020). Lipitler katı ve sıvı yağları kapsamaktadır. Yağlar ortam sıcaklığında katı veya sıvı halde bulunabilmektedir (Galanakis, 2021). Lipidler vücut için önemli bir enerji kaynağı ve nutrosötik olmanın yanında birçok ürünün lezzet ve aromasını oluşturmada başrol olarak görev almaktadır. Bu lipitlere örnek olarak başlıca A, D, E ve K vitaminleriyle birlikte  $\omega$ -3 yağ asitleri, fitosteroller ve karotenoidler verilebilir (Barba ve ark., 2015; McClements ve Peng, 2020). Bununla birlikte kolesterol, trans yağ asitleri ve doymuş yağlar gibi bazı lipitlerin aşırı tüketimi sonucunda insanlarda kardiyovasküler rahatsızlıklar ve obezite gibi hastalıklar meydana gelmektedir. Gıda endüstrisinde bu rahatsızlıklar göz önüne alındığında belli başlı bazı lipitlerin biyo-yararlanımları, içlerinde bulunduğu gıdaların fizikokimyasal özellikleri değiştirilerek artırılabilir veya azaltılabilmektedir (McClements ve ark., 2008).

Lipitler yani trigliseritler oldukça büyük moleküllerdir ve karbonhidratla proteinin aksine suda çözünmezler. Yağ damlacıkları sulu bir ortamdayken kümeleşerek büyük bir yapı haline gelir, safra sıvısı sayesinde meydana gelen büyük yapı emülsiyon haline getirilerek yağların sindirimi için uygun bir ortam oluşturulur. Ardından lipaz adı verilen enzimlerle enzimatik olarak sindirim süreci başlar (Zimmerman ve Snow, 2012). Lipazlar suda çözünürdürler ancak sadece yağ globüllerinin yüzeyinde çalışabilirler. Ağız ve midedeki yağ sindirimi ince bağırsakta gerçekleşen yağ sindirimine kıyasla daha küçük bir yer kaplamaktadır (Zimmerman ve Snow, 2012; Galanakis, 2021). Lipit sindirimi ve emilimi, tüketilen lipitlerin yaklaşık %95'inin emildiği yüksek verimli biyolojik süreçlerdir. Lipitlerden bazıları sindirim sisteminden geçerken hidroliz veya oksidasyon yoluyla kimyasal olarak modifikasyon gerçekleşir (McClements ve ark., 2008).

İnsanlardaki sindirim sırasında meydana gelen fizikokimyasal ve fizyolojik süreç sırasında sağlık durumları göz önünde bulundurularak lipit sindirim ve emilimini artıran ve/veya geciktiren gıdalar tasarlanması mümkündür (McClements ve ark., 2008). Ayrıca lipidlerin besinsel özellikleri sindirim ve absorpsiyonu kontrol etmek ve aynı zamanda hidrofobik biyoaktiflerin biyo-erişilebilirliklerini etkileyerek fonksiyonel gıda tasarlama konusunda büyük öneme sahiptir (Galanakis, 2021). Farklı türdeki yağların sindirilebilirlikleri bileşimlerindeki farklılıklara yani yağ asitlerinin zincir uzunluğuna

ve doymamışlık seviyelerine bağlı olarak değişmektedir. Bunun yanında yağ sindirimini veya emilimini olumsuz olarak etkileyen kistik fibröz, kısa bağırsak veya pankreas eksikliği gibi hastalıklar vardır. Bu nedenle belirli lipofilik fonksiyonel bileşenlerin (A, D, E ve K vitaminleri,  $\omega$ -3 yağ asitleri, karotenoidler ve fitosteroller) biyo-yararlanımı arttırılmak istenebilir. Bu durumlarda, biyo-yararlanımları arttırmak için lipit sindiriminin ve/veya absorpsiyonunun etkinliğini arttırmak çözüm olabilir (McClements ve ark., 2008; Galanakis, 2021) ve bunun için uygulanan yenilikçi yöntemlerden biri YHB teknolojisidir. Ancak lipid oksidasyonunun gıda ürünlerinin işlevsellik, besin değeri ve kalitesinden organoleptik özelliklerine kadar birçok özelliği değiştirdiği ve yağlarda kötü tat ve aromayla birlikte toksik bileşenlerin oluşumuna sebebiyet verebileceği unutulmamalıdır. YHB teknolojisi gibi teknolojilerle çalışılırken yağların oksidatif stabilitesini sağlayacak olan tokoferol, C vitamini ve antioksidanlar gibi yardımcı bileşiklerden yararlanılır (Galanakis, 2021).

#### *5.4. Vitaminlerin Biyo-yararlılık ve Biyo-erişilebilirlik Üzerine Etkisi*

Vitaminler, hayvanlarda normal metabolizma için gerekli olan organik moleküllerdir, fakat vitaminler ya vücutta sentezlenmezler ya da yetersiz miktarlarda sentezlenirler ve bu nedenle diyetle alınmaları gerekir (Said, 2011). Vitaminler suda ve yağda çözünenler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Vitaminler, birçok metabolik olayda rol aldıkları ve vücut için elzem oldukları için yeterli düzeyde emilimi ve vücuttaki biyo-yararlılığı önemlidir.

Esasen tüm vitamin emilimi ince bağırsakta gerçekleşir. Vitaminlerin bağırsaktan yeterli düzeyde ve doğru bir şekilde emilmemesi bağırsak hastalıklarından, genetik faktörlerden, aşırı alkol veya ilaç tüketiminden kaynaklanabilmektedir (Said, 2011). Gıda takviyelerinin vitamin eksikliğinin ve/veya yetersiz emilimin üstesinden gelmek için oldukça etkili olduğu saptanmıştır. Vitaminlerin biyo-erişilebilirlikleri çoğunlukla vitaminin yapısına ve türüne bağlıdır; bundan dolayı vitaminlerin biyo-erişilebilirlikleri incelenirken suda ve yağda çözünen vitaminler olarak ayrı ayrı incelenmesi daha doğru bilgi aktarımı sağlayacaktır (Galanakis, 2021).

Suda çözünen vitaminler diyet yoluyla alınarak veya bağırsaktaki yararlı bakteriler tarafından sentezlenerek emilime katılırlar. Diyet kaynaklı olarak alınan vitaminlerin genellikle ince bağırsakta emilimi gerçekleşirken; yararlı bakteriler tarafından sentezlenen vitaminlerin emilimi genellikle kalın bağırsakta gerçekleşmektedir (Said, 2011; Zimmerman ve Snow, 2012). Farklı bazı içeriklerle vitaminlerin emilimini dolayısıyla biyo-yararlanımlarını arttırmak mümkündür. Yağda çözünen A, D, E ve K vitaminlerinin emilimi ise bağırsak lümeninde gerçekleşir. Bu vitaminler için de emilim mekanizması suda çözünen vitaminlerde olduğu gibidir.

#### *5.5. Minerallerin Biyo-yararlılık ve Biyo-erişilebilirlik Üzerine Etkisi*

Mineraller, vitaminlerde olduğu gibi organizmanın temel metabolizması, büyümesi ve gelişmesi için elzem maddelerdir. Mineraller makro ve mikro mineraller olarak ikiye ayrılmaktadır. Makro mineraller vücudun yüksek miktarda ihtiyaç duyduğu minerallerken; mikro elementler daha az

miktarda ihtiyaç duyulanlardır. Gıdalarda bulunan birtakım mineraller insanlar, hayvanlar ve/veya bitkiler için gerekli besinlerdir. Bu minerallerin yeterli miktarda diyetle dahil edilmemesi durumunda beslenme durumu bozulur ve çeşitli sağlık sorunları ortaya çıkabilir. Çoğu vitamin çok iyi emilirken; temel minerallerin çoğu emilmez. Minerallerin olağan emilimi %1'den az veya %90'ın üzerindedir. Diyetteki mineral miktarının çok az veya çok fazla olup olmadığı belirlenirken diyet minerallerinin biyo-yararlanımı dikkate alınmalıdır (Turnlund, 1991).

Vitamin ve mineral gibi mikro besinlerin eksiklikleri sadece düşük alımla değil, aynı zamanda emilim için gereken miktar ve belirli gıdaların veya diyetlerin kullanımı ile de belirlenir (Turnlund, 1991; Galanakis, 2021). Minerallerin biyo-yararlılığı, genellikle normal vct fonksiyonları için kullanılan bir gıda, yemek veya diyetteki toplam oranının bir ls olarak tanımlanır (Harvey, 2001). Mineral biyo-erişilebilirliği ise beslenme açısından iyileştirilmiş bir gıdayı gclendirirken veya geliştirirken dikkate alınması gereken diyetteki destekleyicilere ve inhibitörlere bağlıdır (Galanakis, 2021).

Temel minerallerin biyo-yararlanımının bilinmesi, önerilen diyet alımını belirlemek, belirlenen alım miktarlarının yeterliliğini değerlendirmek, en etkili olabilecek takviye bileşenlerini seçmek ve gıda veya formüle edilmiş gıdaların restorasyonu, gclendirilmesi veya zenginleştirilmesi için reçete oluşturmak adına önemlidir. Çoğu mineral için gastrointestinal sistemden emilen miktar biyo-yararlanımın ana parametresidir, ancak emilim miktarı mineraller arasında farklılıklar göstermektedir (Harvey, 2001; Galanakis, 2021).

Minerallerin düşük biyo-yararlanımları demir, çinko ve kalsiyum eksikliklerine sebep olmaktadır. Gıdalardaki demir içeriği hem kimyasal form hem de bulunan miktar açısından farklılık gösterir. Çinkonun kaynağı hayvansal gıdalardır ve tahıllarda bulunan çinko içeriği öğütme ile birlikte azalır. Sebzelerdeki inko içeriği toprağın yapısıyla ilgili olarak değişkenlik göstermektedir. Kalsiyum ise genelde diyetlerde çok fazla bulunan bir mineral değildir. Ana kaynağı süt ve süt ürünleridir. Süt rnlerinde örneğin peynir, tereyağı ve kremada bulunabilen kalsiyum miktarı işleme tür ve miktarına bağlı olarak değişmektedir (Galanakis, 2021). Geleneksel gıda işleme teknolojileri mikromineraler üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır; bu nedenle YHB gibi ısıl olmayan yenilikçi işleme teknolojilerine yönelim olmuştur. YHB prosesinin mineraller üzerindeki etkisiyle ilgili çok az çalışma bulunmaktadır. Bu tür fiziksel değişikliklerin mineral biyoyararlanımı üzerindeki etkisi henüz tam olarak açıklanmamıştır (Galanakis, 2021).

Farklı gıdaların YHB ile prosesi sonrasında proses parametrelerinin gıda bileşenleri üzerinde etkilerinin yer aldığı çalışmalarda genel olarak YHB uygulamasının gıdalarda sindirilebilirliği artırdığı tespit edilmiştir (Tablo 1).

#### *5.6. Biyoaktif Komponentlerin Biyo-yararlılık ve Biyo-erişilebilirlik zerine Etkisi*

Antioksidan, gıdalarda doğal olarak bulunan biyoaktif bileşiklerden biri olarak sınıflandırılır. Gıdaların antioksidan kapasitesi proteinlerden, fenolik bileşiklerden ve diğer bileşenlerden kaynaklanabilmektedir (Ali ve ark., 2021). Uygulanan basıncın seviyesi ve uygulama süresi bu

makromoleküller üzerinde doğrudan etkilidir. Artan basınç seviyesi enzimleri aktive etme eğilimi göstermiştir ve protein yapılarını açarak çözünabilir protein miktarında artışa neden olur (Hemker ve ark., 2020). Omega-3 PUFA'lar balıkta bulunan biyoaktif bileşiklerden biridir ve basınç uygulaması ile bu balık yan ürünlerinden omega-3 PUFA'ların ekstraksiyonu gerçekleştirilmektedir. Ekstraksiyon verimliliği basınç dahil olmak üzere, uygulama süresi, dekompresyon süresi, işlem sıcaklığı ve ilk ürün sıcaklığı gibi proses parametrelerine bağlıdır. Ayrıca bu parametrelere ilave olarak uygulama sırasında ürünün pH değeri de önemlidir (Marciniak ve ark., 2018).

## **6. Sonuç**

YHB teknolojisi gıda bileşenlerinin biyo-yararlanımını ve dolayısıyla gıdalardan alınan verimi artıracak alternatif bir teknolojidir. Genel olarak YHB teknolojisinin gıda bileşenlerinin muhafazasını sağlayarak proses edilen bileşenlerin biyo-yararlanımı ve/veya biyo-erişilebilirliği üzerinde olumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. YHB teknolojisinin gıda endüstrisi açısından avantajlar sağladığı görülmekle beraber bu teknolojinin farklı biyokomponentler üzerindeki etkilerine yönelik çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Bu bağlamda özellikle başta lipitler olmak üzere YHB'nin gıda bileşenlerinin biyo-yararlanımı üzerine olan etkilerini konu alan çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

**Tablo 1.** Yüksek hidrostatik basıncın çeşitli gıda bileşenlerine etkisi üzerine yapılmış çalışmalar

Gıda	Basıncı Koşulları	Uygulama	Deney İçeriği	Bulgular	Kaynak
<b>Kırmızı abalon kası (Deniz kulağı kası)</b>	200, 300, 400 ve 500 MPa'da 5 d		Deniz kulağı kasına YHB uygulanmış olup sindirilebilirliğinin araştırılması	Bu çalışmanın <i>in vitro</i> bağırsak sindirimi sonuçları incelendiğinde basınç uygulanan ve uygulanmayan abalon kası numuneleri arasında bariz farklar gözlenmiştir. Beş dakika boyunca 200 ve 400 MPa basınca maruz kalan numunelerde protein sindirilebilirliğinin arttığı görülmüştür.	(Udenigwe, 2021)
<b>Bebek maması</b>	200, 300, 400 ve 500 MPa'da 15 d		Bebek maması için YHB uygulamasının soya proteini izolatının (SPI) bazı fonksiyonel ve besleyici özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması	YHB uygulanan SPI örneklerinin kontrol örneklerinden daha iyi yutma özellikleri ve <i>in vitro</i> sindirilebilirlik sağladığı gözlenmiştir. YHB uygulanan bebek mamasındaki proteinlerin gelişmiş bir proteolitik sindirilebilirlik kazandığı sonucuna ulaşılmıştır.	(Li ve ark., 2011)
<b>Peynir altı suyu</b>	20°C'de 550 MPa		YHB işlemi uygulanmış peynir altı suyu (PAS) proteinlerinin <i>in vitro</i> koşullarda sindirilebilirliklerinin araştırılması	45 dakikalık sindirimin sonunda basınç uygulanan örneğin hidroliz derecesi %95'e kadar ulaşırken, kontrolün %83'te kaldığı görülmüş ve YHB uygulamasının PAS proteinleri üzerindeki <i>in vitro</i> sindirilebilirliğini arttırdığını göstermektedir.	(Iskvear ve ark., 2015)
<b>Taze mango püresi</b>	592 MPa'da 3 d		Taze mango püresi üzerine YHB işlemi uygulayarak glisemik indeksin düşürülebildiğini dolayısıyla tip 2 diyabet hastaları için alternatif bir gıda kaynağı olarak kullanılabilmesinin araştırılması	YHB ile işlenen taze mango püresi tüketicileri için ortalama glisemik indeks, işlenmemiş mango püresi tüketen deneklerden önemli ölçüde daha düşük bulunmuştur. Sonuçlar, YHB teknolojisinin meyvelerin glisemik kontrolü için uygun olduğunu göstermektedir.	(Elizondo-Montemayor ve ark., 2015)
<b>Havuç suyu</b>	20 MPa, 60 MPa, 100 MPa, 150 MPa ve 180 MPa		YHB homojenizasyon işlemi uygulanarak havuç suyunun karotenoid biyo-erişilebilirliğinin suda	Uygulanan işlemde sonra havuç suyuna <i>in vitro</i> sindirim modeli uygulanarak karotenoid biyo-erişilebilirliğine bakılmış ve biyo-erişilebilirlik oranının YHB uygulamasından sonra anlamlı	(Liu ve ark., 2019)

			çözünmeyen pektin özelliğine bağlı olarak artışının izlenmesi	şekilde arttığı belirlenmiştir. YHB uygulaması ile artan sıcaklığın etkisiyle pektin bağlarının zayıfladığı; bunun da karotenoid biyoyararlılığını olumlu şekilde etkilediği gözlemlenmiştir.	
<b>Granny elması</b>	<b>Smith</b>	500 MPa'da 2, 4, 8 ve 10 d	YHB prosesinin Granny Smith elmasında bulunan nişastanın biyoyerişilebilirliği üzerindeki etkisinin incelenmesi	YHB uygulanan elmalarda nişasta sindirilebilirliği incelendiği zaman işlem uygulanmamış elmaya göre daha yüksek sindirilebilirliğe sahip oldukları görülmüştür.	(Briones-Labarca ve ark., 2011b)
<b>Havuç suyu</b>		20 MPa, 60 MPa ve 180 MPa	YHB homojenizasyon prosesinin etkisiyle yağ ilavesinin havuç suyundaki karotenoid biyoyerişilebilirliği üzerine etkisinin araştırılması	Basınç işleminden sonra numunelere <i>in vitro</i> sindirim uygulanmıştır. Havuç suyundaki az miktarda lipid de karotenoidlerin çözünmelerini sağlayarak biyoyerişilebilirliğin artmasını sağlamıştır. Artan yağ konsantrasyonu ile birlikte karotenoid biyoyerişilebilirliğinin önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar da lipidlerin çeşitli içeriklerin biyoyerişilebilirliği üzerinde olumlu etkiye sahip olduğunu göstermektedir.	(Liu ve ark., 2019)
<b>Domates püresi</b>		117°C 600 MPa	Zeytinyağı içeren (%5) domates püresinin <i>in vitro</i> koşullarda biyoyerişilebilirliğine YHB sterilizasyon işleminin etkisinin gözlemlenmesi	En düşük biyoyerişilebilir likopen miktarı, YHB ile homojenize edilmemiş domates pürelerinde bulunmuştur. % 5 zeytinyağlı olan püreler için YHB ile homojenizasyon için biyolojik olarak erişilebilir en yüksek miktarda likopen miktarı bulunmuştur. Pürenin içindeki yağın püre üzerindeki oksidasyonun olumsuz etkisini dengelediği; bunun da yağ ile püre kombinasyonunun biyoyerişilebilirliğindeki artışta olumlu etkisinin olduğu gözlemlenmiştir	(Knockaert ve ark., 2012)
<b>Çilek püresi ve Yumurta sarısı</b>		20°C sıcaklık, 200, 400 ve 600 MPa'da 30 d	YHB işleminin B1, B6 ve C vitaminleri üzerine etkisinin incelenmesi	B6 ve B1 vitaminleri için hesaplanan azalış ve artış miktarları sırasıyla % 99.57 ve %101.84 olmuştur. C vitamininde ilk değer için hesaplanan azalış miktarı % 87.83 olurken ikinci için % 88.58 olmuştur. B ve C vitaminlerindeki azalış miktarı önemli bulunmazken; B1'deki artış miktarı önemli	(Sancho ve ark., 1999)

<b>Portakal suyu-süt karışımı ve sebze suyu</b>	100, 200, 300 ve 400 MPa'da 9 d	Ürünler YHB uygulamasına maruz bırakılarak prosesin D2, D3 ve E vitamini etkinliği üzerindeki etkisinin incelenmesi	İşlenmemiş sebze suyu ve portakal suyu-süt karışımındaki D2 vitamini değerleriyle basınca maruz bırakılan karışımlardaki değerler arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. E vitamini oranındaki artışlar ise her iki numune için önemli bulunmuştur. Bu sonuçlar YHB'nin E vitamini üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermektedir.	(Barba ve ark., 2012)
<b>Pırasa, karnabahar ve yeşil fasulye</b>	200 MPa'da 5 d	Gıdalarda B9 vitamini (folat) etkinliğini artırmak amacıyla pırasa, karnabahar ve yeşil fasulye üzerine YHB uygulanmış ve insanlar üzerindeki biyo-yararlanımının incelenmesi	Folat miktarı basınç uygulamasından sonra pırasa, karnabahar ve fasulyede sırasıyla %74, %12 ve %82'ye yükselmiştir. Sebzeler ısı ve suya ne kadar çok maruz kalırsa folat tutma miktarı o kadar düşmektedir dolayısıyla YHB gibi kapalı sistemlerde işlendikleri zaman folat tutma miktarlarının arttığı görülmüştür.	(Melse-Boonstra ve ark., 2002)
<b>Granny Smith elması</b>	500 MPa'da 2, 4, 8 ve 10 d	YHB prosesinin kalsiyum, demir ve çinko minerallerinin biyo-erişilebilirliğine etkisinin incelenmesi	YHB mineral içeriğinin kullanılabilirliğini kalsiyum, demir ve çinko için belli oranlarda artırmıştır.	(Briones-Labarca ve ark., 2011b)
<b>Algarrobo tohumu</b>	500 MPa'da 2, 4, 8 ve 10 d	Algarrobo tohumlarına uygulanan yüksek basıncın kalsiyum ve demir minerallerinin biyo-yararlanımına etkisinin incelenmesi	Kalsiyum çözünürlüğü incelendiğinde 8 dakikalık YHB uygulamasının kontrol örneklerine kıyasla daha fazla çözünürlüğe sahip olduğu bulunmuştur. Diğer işlem görmüş numunelere kıyasla 10 dakika yüksek basınca maruz kalan numunedeki demir çözünürlüğü önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur.	(Briones-Labarca ve ark., 2011a)
<b>Portakal suyu, papaya suyu, kavun suyu, havuç püresi ve yağsız süt veya soya sütünün karıştırılmasıyla elde edilen smoothie</b>	Sütlü smoothieler 20 °C'de 450 ve 600 MPa'da ve soya sütlü smoothieler ise 20 °C'de 550 ve 650 MPa'da 3 d	YHB uygulayarak çinko, kurşun ve potasyum gibi minerallerin varlığı üzerindeki etkisinin araştırılması	Çinko elementi, yağsız süt ve soya sütlü smoothielerde en baskın mikro element olmuştur. Soya sütünden yapılan smoothielerin, yağsız sütle yapılanlardan daha yüksek demir içeriğine sahip olduğu gözlenmiştir. Potasyum elementi hem yağsız sütle hem de soya sütüyle hazırlanan smoothielerde ana makro element olarak göze çarpmaktadır. Bu sonuçlar göz önüne alınarak YHB işleminin smoothielerdeki mineral içeriğini önemli ölçüde etkilemediği söylenebilir.	(Verés ve ark., 2016)

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağladıklarını beyan eder.

## Kaynakça

- Aganovic K., Hertel C., Vogel Rudi F., Johne R., Schlüter O., Schwarzenbolz U. Aspects of high hydrostatic pressure food processing: Perspectives on technology and food safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2021; 20(4):3225–66. doi:10.1111/1541-4337.12763.
- Ali F., Tian K., Wang Z-X. Modern techniques efficacy on tofu processing: A review. *Trends in Food Science and Technology* 2021; 116:766–85. doi:10.1016/j.tifs.2021.07.023.
- Balasubramaniam VM (Bala)., Martínez-Monteagudo SI., Gupta R. Principles and application of high pressure-based technologies in the food industry. *Annual Reviews in Food Science and Technology* 2015; 6(1):435–62. doi:10.1146/annurev-food-022814-015539.
- Balny C., Masson P. Effects of high pressure on proteins. *Food Reviews International* 1993; 9(4):611–28. doi:10.1080/87559129309540980.
- Barba FJ., Esteve MJ., Frigola A. Impact of high-pressure processing on vitamin E ( $\alpha$ -,  $\gamma$ -, ve  $\delta$ -Tocopherol), Vitamin D (Cholecalciferol and Ergocalciferol), and fatty acid profiles in liquid foods. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 2012; 60(14):3763–8. doi:10.1021/jf205355h.
- Barba FJ., Saraiva JMA., Cravotto G., Lorenzo JM. Innovative thermal and non-thermal processing, bioaccessibility and bioavailability of nutrients and bioactive compounds. Woodhead Publishing; 2019.
- Barba FJ., Terefe NS., Buckow R., Knorr D., Orlie V. New opportunities and perspectives of high pressure treatment to improve health and safety attributes of foods. A review. *Food Research International* 2015; 77:725–42. doi:10.1016/j.foodres.2015.05.015.
- Briones-Labarca V., Muñoz C., Maureira H. Effect of high hydrostatic pressure on antioxidant capacity, mineral and starch bioaccessibility of a non conventional food: *Prosopis chilensis* seed. *Food Reserach International* 2011a; 44(4):875–83. doi:10.1016/j.foodres.2011.01.013.
- Briones-Labarca V., Venegas-Cubillos G., Ortiz-Portilla S., Chacana-Ojeda M., Maureira H. Effects of high hydrostatic pressure (HHP) on bioaccessibility, as well as antioxidant activity, mineral and starch contents in Granny Smith apple. *Food Chemistry* 2011b; 128(2):520–9. doi:10.1016/j.foodchem.2011.03.074.
- Cai L., Cao M., Regenstein J., Cao A. Recent advances in food thawing technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2019; 18(4):953–70. doi:10.1111/1541-4337.12458.
- Cheftel JC., Culioli J. Effects of high pressure on meat: A review. *Meat Science* 1997; 46(3):211–36. doi:10.1016/S0309-1740(97)00017-X.



- Cilla A., Barberá R., López-García G., Blanco-Morales V., Alegría A., Garcia-Llatas G. Impact of processing on mineral bioaccessibility/bioavailability. In: Barba FJ, Saraiva JMA, Cravotto G., Lorenzo JM. (eds) Innovative thermal and non-thermal processing, bioaccessibility and bioavailability of nutrients and bioactive compounds. Woodhead Publishing 2019; 209–239. doi:10.1016/B978-0-12-814174-8.00007-X.
- Elizondo-Montemayor L., Hernández-Brenes C., Ramos-Parra PA., Moreno-Sánchez D., Nieblas B., Rosas-Pérez AM. High hydrostatic pressure processing reduces the glycemic index of fresh mango puree in healthy subjects. *Food and Function* 2015; 6(4):1352–60. doi:10.1039/C4FO01005A.
- Englyst KN., Englyst HN. Carbohydrate bioavailability. *British Journal of Nutrition* 2005;94(1):1–11. doi:10.1079/BJN20051457.
- Evrendilek GA. Influence of high pressure processing on food bioactives. In: Jafari SM., Capanoglu E. (eds.) Retention of Bioactives in Food Processes. Springer International Publishing 2022; 467–85. doi:10.1007/978-3-030-96885-4\_15.
- Farahnaky A., Majzoobi M., Gavahian M. Emerging non-thermal food processing technologies: Editorial overview. *Foods* 2022; 11(7):1003. doi:10.3390/foods11071003.
- Farkas DF., Hoover DG. High pressure processing. *Journal of Food Science* 2000; 65(s8):47–64. doi:10.1111/j.1750-3841.2000.tb00618.x.
- Galanakis CM. Functionality of food components and emerging technologies. *Foods* 2021;10(1):128. doi:10.3390/foods10010128.
- Galazka VB., Ledward DA., Dickinson E., Langley KR. High pressure effects on emulsifying behavior of whey protein concentrate. *Journal of Food Science* 1995; 60(6):1341–3. doi:10.1111/j.1365-2621.1995.tb04587.x.
- George JM., Rastogi NK. High pressure processing for food fermentation. In: Ojha KS, Tiwari BK. (eds.) Novel Food Fermentation Technologies. Springer International Publishing 2016; 57–83. doi:10.1007/978-3-319-42457-6\_4.
- Grauwet T., Rauh C., Van der Plancken I., Vervoort L., Hendrickx M., Delgado A. Potential and limitations of methods for temperature uniformity mapping in high pressure thermal processing. *Trends in Food Science ve Technology* 2012; 23(2):97–110. doi:10.1016/j.tifs.2011.09.002.
- Harvey L. Mineral bioavailability. *Nutrition in Food Science* 2001; 31(4):179–82. doi:10.1108/00346650110392253.
- Heinz V., Buckow R. Food preservation by high pressure. *J Für Verbraucherschutz Leb* 2010; 5(1):73–81. doi:10.1007/s00003-009-0311-x.
- Hemker AK., Nguyen LT., Karwe M., Salvi D. Effects of pressure-assisted enzymatic hydrolysis on functional ve bioactive properties of tilapia (*Oreochromis niloticus*) by-product protein hydrolysates. *LWT* 2020; 122:109003. doi:10.1016/j.lwt.2019.109003.
- Iskvear MM., Lves LC., Sabally K., Azadi B., Meehan B., Mawji N. High hydrostatic pressure pretreatment of whey protein isolates improves their digestibility and antioxidant capacity. *Foods* 2015; 4(2):184–207. doi:10.3390/foods4020184.

- Kalichevsky MT., Knorr D., Lillford PJ. Potential food applications of high-pressure effects on ice-water transitions. *Trends Food Science and Technology* 1995; 6(8):253–9. doi:10.1016/S0924-2244(00)89109-8.
- Knockaert G., Pulissey SK., Colle I., Van Buggenhout S., Hendrickx M., Loey AV. Lycopene degradation, isomerization and in vitro bioaccessibility in high pressure homogenized tomato puree containing oil: Effect of additional thermal and high pressure processing. *Food Chemistry* 2012; 135(3):1290–7. doi:10.1016/j.foodchem.2012.05.065.
- Li H., Zhu K., Zhou H., Peng W. Effects of high hydrostatic pressure on some functional and nutritional properties of soy protein isolate for infant formula. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 2011;59(22):12028–36. doi:10.1021/jf203390e.
- Liu J., Bi J., Liu X., Zhang B., Wu X., Deepali Wellala CK. Effects of high pressure homogenization and addition of oil on the carotenoid bioaccessibility of carrot juice. *Food and Function* 2019; 10(1):458–68. doi:10.1039/C8FO01925H.
- Liu X., Liu J., Bi J., Yi J., Peng J., Ning C. Effects of high pressure homogenization on pectin structural characteristics and carotenoid bioaccessibility of carrot juice. *Carbohydrate Polymers* 2019; 203:176–84. doi:10.1016/j.carbpol.2018.09.055.
- Lorenzo JM., Estévez M., Barba FJ., Thirumdas R., Franco D., Munekata PES. Polyphenols: Bioaccessibility and bioavailability of bioactive components. In: Barba FJ., Saraiva JMA., Cravotto G., Lorenzo JM. (eds). *Innovation in Thermal and Non-Thermal Processes in Bioaccessibility Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds*. Woodhead Publishing 2019; 309–32. doi:10.1016/B978-0-12-814174-8.00011-1.
- Marciniak A., Suwal S., Naderi N., Pouliot Y., Doyen A. Enhancing enzymatic hydrolysis of food proteins and production of bioactive peptides using high hydrostatic pressure technology. *Trends Food Science and Technology* 2018; 80:187–98. doi:10.1016/j.tifs.2018.08.013.
- María L-P., Diaz-Reinoso B., José ML., Giancarlo C., Barba FJ. Green technologies for food processing: Principal considerations. In: Barba FJ., Saraiva JMA., Cravotto G., Lorenzo JM. (eds). *Innovation in Thermal and Non-Thermal Processes in Bioaccessibility Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds*. Woodhead Publishing 2019; 55–103. doi:10.1016/B978-0-12-814174-8.00003-2.
- Martinez-Montegudo SI., Saldaña MDA. Chemical reactions in food systems at high hydrostatic pressure. *Food Engineering Reviews* 2014;6(4):105–27. doi:10.1007/s12393-014-9087-6.
- McClements DJ., Decker EA., Park Y. Controlling lipid bioavailability through physicochemical and structural approaches. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2008; 49(1):48–67. doi:10.1080/10408390701764245.
- McClements DJ., Peng S-F. Current status in our understanding of physicochemical basis of bioaccessibility. *Current Opinion in Food Science* 2020; 31:57–62. doi:10.1016/j.cofs.2019.11.005.
- Medina-Meza IG., Barnaba C., Barbosa-Cánovas GV. Effects of high pressure processing on lipid oxidation: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 2014; 22:1–10. doi:10.1016/j.ifset.2013.10.012.

- Melse-Boonstra A., Verhoef P., Konings EJM., van Dusseldorp M., Matser A., Hollman PCH. Influence of processing on total, monoglutamate and polyglutamate folate contents of leeks, cauliflower, and green beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2002; 50(12):3473–8. doi:10.1021/jf0112318.
- Mertens B., Deplace G. Engineering aspects of high-pressure technology in the food industry. *Food Technology USA* 1993.
- Mollakhalili-Meybodi N., Nejati R., Sayadi M., Nematollahi A. Novel nonthermal food processing practices: Their influences on nutritional and technological characteristics of cereal proteins. *Food Science and Nutrition* 2022; 10(6):1725–44. doi:10.1002/fsn3.2792.
- Mozhaev VV., Heremans K., Frank J., Masson P., Balny C. Exploiting the effects of high hydrostatic pressure in biotechnological applications. *Trends in Biotechnology* 1994; 12(12):493–501. doi:10.1016/0167-7799(94)90057-4.
- Mújica-Paz H., Valdez-Fragoso A., Samson CT., Welti-Chanes J., Torres JA. High-pressure processing technologies for the pasteurization and sterilization of foods. *Food Bioprocessing Technologies* 2011; 4(6):969–85. doi:10.1007/s11947-011-0543-5.
- Norton T., Sun D-W. Recent advances in the use of high pressure as an effective processing technique in the food industry. *Food Bioprocessing Technologies* 2008; 1(1):2–34. doi:10.1007/s11947-007-0007-0.
- Pham HTT., Kityo P., Buvé C., Hendrickx ME., Van Loey AM. Influence of pH and composition on nonenzymatic browning of shelf-stable orange juice during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2020; 68(19):5402–11. doi:10.1021/acs.jafc.9b07630.
- Rathod NB., Kulawik P., Ozogul Y., Ozogul F., Bekhit AEDA. 2022. Recent developments in non-thermal processing for seafood and seafood products: cold plasma, pulsed electric field and high hydrostatic pressure. *International Journal of Food Science & Technology* 57(2): 774-790.
- Rastogi NK., Raghavarao KSMS, Balasubramaniam VM, Niranjana K, Knorr D. Opportunities and challenges in high pressure processing of foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2007; 47(1):69–112. doi:10.1080/10408390600626420.
- Rastogi NK., Subramanian R., Raghavarao KSMS. Application of high pressure technology in food industry. *Indian Food Industry* 1994; 13(1):30–4, 17.
- Roobab U., Shabbir MA., Khan AW., Arshad RN., Bekhit AE-D., Zeng X-A. High-pressure treatments for better quality clean-label juices and beverages: Overview and advances. *LWT* 2021; 149:111828. doi:10.1016/j.lwt.2021.111828.
- Said HM. Intestinal absorption of water-soluble vitamins in health and disease. *Biochemistry Journal* 2011; 437(3):357–72. doi:10.1042/BJ20110326.
- San Martín MF., Barbosa-Cánovas GV., Swanson BG. Food processing by high hydrostatic pressure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2002; 42(6):627–45. doi:10.1080/20024091054274.
- Sancho F., Lambert Y., Demazeau G., Largeteau A., Bouvier J-M., Narbonne J-F. Effect of ultra-high hydrostatic pressure on hydrosoluble vitamins. *Journal of Food Engineering* 1999; 39(3):247–53. doi:10.1016/S0260-8774(98)00143-5.

- San Martin MF., Barbosa-Cánovas GV., Swanson BG. Food processing by high hydrostatic pressure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2002; 42(6):627-645. doi.org/10.1080/20024091054274
- Santos DI., Saraiva JMA., Vicente AA., Moldão-Martins M. Methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds and nutrients. In: Barba FJ., Saraiva JMA., Cravotto G., Lorenzo JM. (eds). *Innovation in Thermal ve Non-Thermal Processes in Bioaccessibility Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds*. Woodhead Publishing 2019; 23–54. doi:10.1016/B978-0-12-814174-8.00002-0.
- Sevenich R., Rauh C., Knorr D. A scientific and interdisciplinary approach for high pressure processing as a future toolbox for safe and high quality products: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 2016; 38:65–75. doi:10.1016/j.ifset.2016.09.013.
- Smelt JPPM. Recent advances in the microbiology of high pressure processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 1998; 9(4):152–8. doi:10.1016/S0924-2244(98)00030-2.
- Stahl W., van den Berg H., Arthur J., Bast A., Dainty J., Faulks RM. Bioavailability and metabolism. *Molecular Aspects of Medicine* 2002; 23(1–3):39–100. doi:10.1016/s0098-2997(02)00016-x.
- Thakur BR., Nelson PE. High-pressure processing and preservation of food. *Food Reviews International* 1998; 14(4):427–47. doi:10.1080/87559129809541171.
- Torres JA., Velazquez G. Commercial opportunities and research challenges in the high pressure processing of foods. *Journal of Food Engineering* 2005; 67(1):95–112. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.05.066.
- Toutain PL., Bousquet-Mélou A. Bioavailability and its assessment. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics* 2004; 27(6):455–66. doi:10.1111/j.1365-2885.2004.00604.x.
- Turnlund JR. Bioavailability of dietary minerals to humans: The stable isotope approach. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 1991; 30(4):387–96. doi:10.1080/10408399109527549.
- Udenigwe CC. *Food proteins and peptides: Emerging biofunctions, food and biomaterial applications*. Royal Society of Chemistry; 2021.
- Verés V., Villanueva M-J., Tenorio M-D. Influence of high pressure processing on microbial shelf life, sensory profile, soluble sugars, organic acids, and mineral content of milk- and soy-smoothies. *LWT - Food Science and Technology* 2016; 65:98–105. doi:10.1016/j.lwt.2015.07.066.
- Verghese M., Willis S., Boateng J., Gomaa A., Kaur R. Effect of food processing on antioxidant potential, availability and bioavailability. *Annual Reviews in Food Science and Technology* 2021; 12(1):307–29. doi:10.1146/annurev-food-062420-105140.
- Wang W., Yang P., Rao L., Zhao L., Wu X., Wang Y. Effect of high hydrostatic pressure processing on the structure, functionality, and nutritional properties of food proteins: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2022;21(6):4640–4682. doi:10.1111/1541-4337.13033.
- Yamamoto K. Food processing by high hydrostatic pressure. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry* 2017; 81(4):672–9. doi:10.1080/09168451.2017.1281723.
- Yordanov DG., Angelova GV. High pressure processing for foods preserving. *Biotechnology and Biotechnology Equipments* 2010; 24(3):1940–5. doi:10.2478/V10133-010-0057-8.

Yuste J., Capellas M., Pla R., Fung DYC., Mor-Mur M. High pressure processing for food safety and preservation: A review. *Journal of Rapid Methods and Automation in Microbiology* 2001; 9(1):1–10. doi:10.1111/j.1745-4581.2001.tb00223.x.

Zimmerman M., Snow B. *An introduction to nutrition*. Independent;2012.